

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

DEPARTAMENTO DE ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS



Propuesta de Marco y Metodología para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro/ Distribución basado en Programación Matemática. Aplicación a Empresas del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

D. DAVID PÉREZ PERALES

DIRIGIDA POR:

DR. D. FRANCISCO-CRUZ LARIO ESTEBAN

DRA. D^o. MARIA DEL MAR ALEMANY DÍAZ

VALENCIA, JUNIO DE 2013

Esta tesis se ha desarrollado con el apoyo del Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP) de la Universidad Politécnica de Valencia.

A mis padres y hermanos

Quisiera aprovechar estas líneas para recordar a todos los que han hecho posible que este trabajo se haya podido realizar.

En primer lugar quisiera dar las gracias a la mi familia. A mis padres por proporcionarme el entorno y la confianza para poder cerrar esta Tesis después de varios años embarcado en la misma. También a mis hermanos Marcos y Teresa, los cuales me ayudaron en momentos en los cuales quizá me cundió el desánimo y no lo veía claro. Además dar las gracias en particular a mi hermana Teresa, por "mecnografiarme" algunas de las hojas de la Tesis Doctoral.

En segundo lugar, y ya en el terreno profesional, quisiera agradecer a todos mis compañeros del Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción su apoyo en todo lo que he necesitado para el desarrollo de mi trabajo. Asimismo, quisiera hacer extensivo mi agradecimiento al resto de compañeros del Departamento de Organización de Empresas, por su colaboración en momentos puntuales.

Además, quisiera agradecer el apoyo brindado en las dos estancias investigadoras de 3 meses cada una realizadas durante el transcurso de esta Tesis, primero en la University of Liverpool Management School (Inglaterra), y más concretamente por parte de Dr. Andrew Lyons, y posteriormente en la Wroclaw University of Technology (Polonia), por parte de Dra. Dorota Kuchta.

En tercer lugar, quisiera expresar mi máximo agradecimiento a las personas que de forma directa han contribuido a este trabajo, que no son otros que mis directores, Dr. Francisco Cruz Lario y Dra. Maria del Mar Alemany, quienes han sabido guiarme y dar consistencia al trabajo con sus comentarios y recomendaciones. Ambos han aportado con generosidad su experiencia y han contribuido realmente en la mejora del mismo.

Finalmente, quisiera también agradecer a los revisores y miembros del Tribunal su esfuerzo y dedicación, así como sus comentarios.

Gracias a todos.

Valencia, a 19 de junio de 2013

RESUMEN

PROPUESTA DE MARCO Y METODOLOGÍA PARA EL MODELADO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA EN REDES DE SUMINISTRO/ DISTRIBUCIÓN BASADO EN PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA. APLICACIÓN A EMPRESAS DEL SECTOR DE PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS CERÁMICOS.

En la actualidad, cada vez más son necesarias Herramientas de ayuda a la Toma de Decisiones para la Planificación de Operaciones Colaborativa en contextos de Cadenas de Suministro, o más ampliamente, lo que se denomina Redes de Suministro/Distribución (RdS/D). Entre dichas Herramientas son de especial relevancia las de optimización, y entre estas últimas, aquellas basadas en Modelos de Programación Matemática.

Una extensa revisión de la literatura depara que dichos Modelos se han utilizado mayoritariamente considerando una Toma de Decisiones centralizada de la RdS/D. Sin embargo, la realidad muestra como las diferentes “Entidades” que forman parte de la RdS/D, no siempre comparten los mismos objetivos y en muchas ocasiones, son reáceas a compartir cierto tipo de información. Por esa razón, la situación más común es la toma de Decisiones descentralizada, en la que diferentes “Entidades” deben coordinarse para obtener un buen rendimiento individual y de la RdS/D en su conjunto.

Por otra parte, los Modelos que sí se han aplicado al caso descentralizado han simplificado enormemente la realidad, sin considerar RdS/D con el suficiente grado de complejidad (productos, recursos...) u omitiendo algunos aspectos importantes del propio proceso de Planificación Colaborativa, y particularmente la aplicación simultánea de aspectos ligados a la integración espacial (entre diferentes “decisores” perteneciente a un mismo Nivel Decisional) o la integración vertical (entre diferentes Niveles Decisionales). Además, en muchas de las ocasiones dichos Modelos no son fácilmente extrapolables a otras situaciones y se obvia la manera en que se han elaborado.

Por todo ello, la presente Tesis propone un Marco, y posteriormente una Metodología basada en el mismo, que indique de forma estructurada, en primer lugar, los pasos para el Modelado del proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en contextos de RdS/D, y en segundo lugar, para el Modelado Analítico (basado en Programación Matemática) del mismo y su posterior Resolución/Evaluación.

Más concretamente, el Marco propuesto integra cuatro visiones diferentes de modelado, como son las visiones Física, Organizacional, Decisional e Informacional y sus interrelaciones, lo cual favorece la construcción de modelos integrados (unión de varias visiones) del proceso de Planificación Colaborativa. Si bien el Modelado de Procesos atiende fundamentalmente a la Visión Funcional, en este caso, por el tipo específico de Proceso que se desea modelar, ligado a la Toma de Decisiones, se utilizará la Visión Decisional como la visión base para modelar el Proceso, estando la Visión Funcional embebida en esta última. La inclusión del resto de Visiones es importante puesto que en la Toma de Decisiones en contextos de Planificación se actúa sobre unos Recursos/Ítems (Visión Física) y según una determinada Organización, en la que las diferentes “entidades” estarán más o menos integradas (Visión Organizacional). Por otra parte la propia actividad de la RdS/D generará y necesitará cierta Información (Visión Informacional), necesaria para tomar decisiones.

Además dicho Marco contempla todo tipo de escenarios decisionales en los que se puede enmarcarse el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, desde los más Centralizados a aquellos que tienen lugar en Entornos Distribuidos/Descentralizados, para lo cual se identifican diferentes Centros de Decisión, tanto en el Nivel Decisional Táctico como en el Operativo, considerando al mismo tiempo tanto su Integración Temporal como su Integración Espacial.

Una vez aplicada la primera parte de la Metodología se obtendrá (nivel Macro) un Modelo integrado del Proceso, en el que se conocerá, entre otros aspectos, de qué Actividades Decisionales consta el Proceso, cuál es su orden de ejecución y qué tipo de Información “por interdependencias” es intercambiada entre las mismas.

El modelo del Proceso anterior y todos los aspectos/conceptos analíticos descritos también en el Marco, serán especialmente relevantes para que en una segunda parte de la Metodología (nivel micro) se detalle como realizar el Modelado analítico del Proceso y cómo proceder a su Resolución/Evaluación integrada.

Para el Modelado analítico se supondrá que cada uno de los Centros de Decisión (asociados a las Actividades Decisionales del Proceso), tomará las decisiones de planificación táctica/operativa en base a Modelos basados en Programación Matemática (Programación Lineal Entera Mixta). Además se particularizará para escenarios doblemente jerárquicos (desde el punto de vista Temporal y Espacial), de un ciclo Instrucción-Reacción y en contextos organizacionales (de “búsqueda de un objetivo conjunto”) en los que puede existir cualquier “status de información” (asimetría), pero en la que ésta nunca se podrá utilizar con fines oportunistas.

En cuanto a la resolución/evaluación, se irán ejecutando los diferentes Modelos teniendo en cuenta la secuencia e información “por interdependencias” (propia de escenarios colaborativos) definidas anteriormente en el Modelado del Proceso. Una vez ejecutados todos, se describe cómo evaluar cuantitativamente el “desempeño” conjunto de la RdS/D (o grado de Planificación Colaborativa actual) a partir de la definición de tres parámetros, denominados “Criterio Total”, “Tiempo de Resolución Total” y “Consistencia Total”. Además, la propia metodología facilita y guía en la “simulación” de diferentes escenarios de Planificación Colaborativa (TO-BE) de manera que puedan conocerse “a priori” los beneficios/costes que ello supone. El análisis de dichos escenarios podrá afectar indistintamente (con mayor o menor profundidad) a cualquiera de las Visiones Física, Organizacional o Decisional, y por ende a la Informacional.

Por último, dicha Metodología, aunque aplicable/extrapolable a cualquier Sector Industrial, se ha implementado en una RdS/D concreta perteneciente al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. En primer lugar a través del Modelado de su Proceso de Planificación Colaborativa y la identificación de las diferentes Actividades Decisionales (Centros de Decisión) que lo conforman, así como su orden de ejecución e información compartida entre las mismas. En segundo lugar a través del Modelado basado en Programación Matemática de cada uno de los anteriores Centros de Decisión, en la que cabe resaltar, también como aportación, la complejidad de los diferentes Modelos, interrelacionados entre sí, y que incluyen todas las características intrínsecas a la Planificación táctica/operativa en dicho Sector. En tercer y último lugar a través de la resolución integrada de los anteriores Modelos, lo que ha permitido evaluar cuantitativamente, a través de los parámetros antes mencionados, el grado de Planificación colaborativa actual (AS-IS) de dicha RdS/D.

ABSTRACT

FRAMEWORK AND METHODOLOGY PROPOSAL FOR THE MODELING OF THE SUPPLY CHAIN COLLABORATIVE PLANNING PROCESS BASED ON MATHEMATICAL PROGRAMMING. APPLICATION TO THE CERAMIC SECTOR.

Nowadays, decision-making tools for supply chain (SC) collaborative planning (CP) are becoming more important. Among these decision-making tools are of special relevance the optimization ones, and particularly, those based on Mathematical Programming.

An extensive literature review shows that most of mathematical programming-based models have been mainly used from a centralised perspective. However the SC members not always agree on the alignment of individual decisions to SC-wide objectives and are usually reluctant to share all the required SC-wide information. For these reasons, SC decentralised decision making, in which different decisional units have to be coordinated to achieve a certain level of SC performance, is the most usual situation.

However, the Models applied to the decentralised scenario simplify the reality in many cases, without considering SC with complex configurations (products, resources...) or just omitting important aspects of the CP process, as the necessity of simultaneously including the spatial integration (among decision entities belonging to the same decision level) and temporal integration (among decision entities belonging to different decision levels). Moreover, in most of the cases, they are just shown and therefore are not easily extrapolated to other similar situations.

This Thesis proposes a Framework and a related Methodology to support the definition and the integrated modeling of the SC CP process in a structured manner and to establish the steps for the analytical modeling (based on mathematical programming) of each of the decision centres' decisional activities identified in such process and their integrated resolution and evaluation.

More specifically, the Framework integrates four different Modeling Views: Physical, Organisation, Decision and Information, and the relationships between them. This facilitates the development of integrated models of the SC CP process, leading to more realistic and versatile models that can be applied to any complex SC. Although the Functional View has traditionally been the Process Modeling View, in this case, due to the specific Decision-Making Process modeled, it has been embedded in the Decision View, regarded as the principal View. The inclusion of the rest of the Views is also very important because the decisions are made over some resources/items (physical view), but taken into account how they are organised, more or less integrated (Organisation View). Finally, the Information View, which may be considered as the "integrated View" as it collects and represents the necessary information from the other Views to support the SC CP process.

Moreover, such a Framework addresses all type of decision scenarios of the SC CP process since it enables the simultaneous spatial and temporal integration for any type of SC physical configuration. The SC decision-making context allows the definition of different temporal decision levels and decision centres (DCs). At each level, the decision-

making may be centralised (one DC) or distributed (several DCs). These DCs are subject to two interdependence relationship types, temporal (between DCs belonging to different decision levels) and spatial (between DCs belonging to the same decision level), characterised by a set of parameters/attributes.

Once applied the first part of the Methodology it is obtained an integrated model of the SC CP process, that is, the decisional activities and their execution order. One of its main outputs is the exchanged information (at a macro level) due to their interdependence relationships.

This integrated model of the SC CP process jointly with all the conceptual and analytical aspects also described in the Framework are the main inputs to, in the second part of the Methodology, analytically model the process and finally proceed to its integrated resolution and evaluation.

Some premises about this analytical modeling are assumed: each of the DCs make their decisions based on mathematical programming-base models (mix and integer linear programming - MILP), there are considered hierarchical relationships (temporal and spatial) in an organizational (team) context, in which just one cycle instruction-reaction is permitted. Besides, some information is disclosed between the DCs although keeping some private information, never used opportunistically.

Regarding the integrated resolution and evaluation of the SC CP process, the different DCs MILP models are executed taking into consideration the sequence of the process decisional activities and the exchange information between them previously identified. Once executed, it is described how to quantitatively evaluate the current collaborative planning performance by the definition of the performance measures: total criterion, total resolution and total consistency.

It is important to remark that the Methodology facilitates and guides the final user to simulate different future collaborative planning scenarios so that the benefits or costs may be known "a priori". This scenarios analysis could affect in more or less profoundness to each of the views: physical, organisation, decision or informational.

Finally, the Methodology, although it may be applied\extrapolated to any industrial sector, is implemented (integrated modeling, resolution and performance evaluation) in a SC belonging to the ceramic sector. It is important to stress as a contribution not only the Methodology application itself, but also the proposed MILP models in each of the identified DCs, which may be used as a benchmarking for future tactical and operational MILP models in the ceramic sector. Either individually or interrelated, they represent the reality complexity, and clearly address the temporal and spatial integration arising in this specific sector.

RESUM

PROPOSTA DE MARC I METODOLOGIA PER AL MODELATGE DEL PROCÉS DE PLANIFICACIÓ COL.LABORATIVA EN XARXES DE SUBMINISTRAMENT/DISTRIBUCIÓ BASAT EN PROGRAMACIÓ MATEMÀTICA. APLICACIÓ A EMPRESES DEL SECTOR DE PAVIMENTS I REVESTIMENTS CERÀMICS.

Actualment, cada vegada més són necessàries Eines d'ajuda a la Presa de Decisions per a la Planificació d'Operacions Col.laborativa en contextos de Cadenes de Subministrament, o més àmpliament, el que s'anomena Xarxes de Subministrament/Distribució (XdS/D). Entre aquestes Eines són d'especial rellevància les d'optimització, i entre aquestes últimes, aquelles basades en Models de Programació Matemàtica.

Una extensa revisió de la literatura depara que aquests Models s'han utilitzat majoritàriament considerant una presa de decisions centralitzada de la XdS/D. No obstant això, la realitat mostra com les diferents "Entitats" que formen part de la RdS/D, no sempre comparteixen els mateixos objectius i en moltes ocasions, són reticents a compartir cert tipus d'informació. Per aquesta raó, la situació més comú és la presa de decisions descentralitzada, en la qual diferents "Entitats" s'han de coordinar per obtenir un bon rendiment individual i de la XdS/D en el seu conjunt.

D'altra banda, els Models que sí que s'han aplicat al cas descentralitzat han simplificat enormement la realitat, sense considerar XdS/D amb el suficient grau de complexitat (productes, recursos ...) o omitint alguns aspectes importants del procés de Planificació Col.laborativa, i particularment l'aplicació simultània d'aspectes lligats a la integració espacial (entre diferents "decisors" pertanyent a un mateix nivell decisional) o la integració vertical (entre diferents nivells decisionals). A més, en moltes de les ocasions aquests Models no són fàcilment extrapolables a altres situacions i s'obvia la manera en que s'han elaborat.

Per tot allò, la present Tesi proposa un Marc, i posteriorment una Metodologia basada en el mateix, que indiqui de forma estructurada, en primer lloc, els passos per al Modelat del procés de Planificació d'Operacions (Col.laboratiu) en contextos de XdS/D, y en segon lloc, per al Modelat Analític (basat en Programació Matemàtica) del mateix i la seua posterior resolució/avaluació.

Més concretament, el Marc proposat integra quatre visions diferents de modelat, com són les visions Física, Organitzacional, Decisional i Informacional i les seues inter-relacions, cosa que afavoreix la construcció de models integrats (unió de diverses visions) del procés de Planificació Col.laborativa. Si bé el Modelat de Processos atén fonamentalment a la Visió Funcional, en aquest cas, pel tipus específic de Procés el qual es vol modelar, lligat a la Presa de Decisions, s'utilitzarà la Visió decisional com la visió base per modelar el Procés, estant la Visió Funcional embeguda en aquesta última. La inclusió de la resta de Visions és important ja que en la Presa de Decisions en contextos de Planificació s'actua sobre uns Recursos / Ítems (Visió Física) i segons una determinada organització, en la qual les diferents "entitats" estaran més o menys integrades (Visió Organitzacional). D'altra banda, la pròpia activitat de la XdS/D generarà i necessitarà certa Informació (Visió informacional), necessària per prendre decisions.

A més, aquest Marc contempla tot tipus d'escenaris decisionals en els quals es pot emmarcar el Procés de Planificació Col·laborativa en una XdS/D, des dels més centralitzats a aquells que tenen lloc en Entorns Distribuïts/Descentralizados, per a la qual s'identifiquen diferents Centres de Decisió , tant en el Nivell decisional Tàctic com a l'Operatiu, considerant al mateix temps tant la seua integració Temporal com la seua Integració Espacial.

Una vegada aplicada la primera part de la Metodologia s'obtindrà (nivell Macro) un Model integrat del Procés, en el qual es coneixerà, entre altres aspectes, de quines Activitats decisionals consta el Procés, quin és el seu ordre d'execució i quin tipus d'informació "per interdependències" és intercanviada entre les mateixes.

El model del Procés anterior i tots els aspectes/conceptes analítics descrits també en el Marc, seran especialment rellevants perquè en una segona part de la Metodologia (nivell Micro) es detalli com realitzar el Modelat analític del Procés i com procedir a la seua resolució/avaluació integrada.

Per al Modelat analític es suposarà que cadascun dels centres de decisió (associats a les Activitats decisionals del Procés), prendrà les decisions de planificació tàctica/operativa sobre la base de Models basats en Programació Matemàtica (Programació Lineal Sencera Mixta). A més, es farà particular per a escenaris doblement jeràrquics (des del punt de vista temporal i espacial), d'un cicle Instrucció-Reacció i en contextos organitzacionals (de "recerca d'un objectiu conjunt") en els que pot existir qualsevol "estatus d'informació" (asimetria), però en la qual aquesta mai es podrà utilitzar amb finalitats oportunistes.

En quant a la resolució/avaluació, s'aniran executant els diferents Models tenint en compte la seqüència i informació "per interdependències" (pròpia d'escenaris col·laboratius) definides anteriorment al Modelat del Procés. Una vegada executats tots, es descriu com avaluar quantitativament el "acompliment" conjunt de la XdS/D (o grau de Planificació Col·laborativa actual) a partir de la definició de tres paràmetres, anomenats "Criteri Total", "Temps de Resolució Total" i "Consistència Total".

A més, la mateixa metodologia facilita i guia en la "simulació" de diferents escenaris de Planificació Col·laborativa (TO-BE) de manera que puguen conèixer-se "a priori" els beneficis/costos que això suposa. L'anàlisi d'aquests escenaris pot afectar indistintament (amb més o menys profunditat) a qualsevol de les Visions Física, Organitzacional o Decisional, i per tant a la Informacional.

Finalment, aquesta metodologia, encara que aplicable/extrapolable a qualsevol sector industrial, s'ha implementat en una XdS/D concreta pertanyent al Sector de Paviments i Revestiments Ceràmics. En primer lloc a través del Modelat del seu Procés de Planificació Col·laborativa i la identificació de les diferents activitats decisionals (Centres de Decisió) que ho conformen, així com el seu ordre d'execució i informació compartida entre les mateixes. En segon lloc a través del Modelat basat en Programació Matemàtica de cadascun dels anteriors centres de Decisió, en la qual cal destacar, també com a aportació, la complexitat dels diferents Models, interrelacionats entre si, i que inclouen totes les característiques intrínseques a la Planificació tàctica/operativa en l'anomenat Sector. En tercer i últim lloc a través de la resolució integrada dels anteriors Models, el que ha permès avaluar quantitativament, a través dels paràmetres abans anomenats, el grau de Planificació col·laborativa actual (AS-IS) de la XdS/D.

INDICE GENERAL

MEMORIA

1. Introducción

PARTE 1: ESTADO DEL ARTE

2. Estado del Arte de los Marcos Conceptuales para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro – Distribución (RdS/D).
3. Estado del Arte de los Modelos Analíticos deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D.

PARTE 2: PROPUESTA

4. Marco para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D y su Modelado Analítico.
5. Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D.
6. Metodología (II) para el modelado determinista basado en Programación Matemática y la Resolución/Evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D.

PARTE 3: APLICACIÓN

7. El Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. Análisis del proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D concreta.
8. Aplicación de la Metodología propuesta en una RdS/D concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

PARTE 4: CONCLUSIONES

9. Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación.

ANEXOS

1 .Introducción

1.1	Presentación.....	5
1.2	Objetivo de la Tesis	7
1.3	Esquema general de la Tesis. Metodología de Investigación.	10
1.4	Bibliografía	15

Índice de Figuras

Figura 1-1. Esquema general de la Tesis (elaboración propia) 14

1.1 Presentación

En los últimos años, multitud de trabajos están haciendo especial énfasis en la Gestión de las Cadenas y/o Redes de Suministro/Distribución en el panorama industrial: Lambert y Cooper, 2000; Croom y otros, 2000; Min y Zhou, 2002; Schiegg y otros, 2003; Lejeune y Yakova, 2005; Stadtler, 2005.

En este contexto, los procesos, que tradicionalmente se han desarrollado a nivel uni-empresa, deben adaptarse para ser diseñados y ejecutados por diferentes empresas, separadas y de diferentes características, pero que forman parte de una misma **Cadena o Red de Suministro/Distribución (C ó RdS/D)**. En este sentido, los procesos están siendo cada vez más colaborativos.

Entre los procesos anteriores tiene especial relevancia el Proceso de Planificación de Operaciones, que en contextos colaborativos, propios de RdS/D, es comúnmente conocido como **Proceso de Planificación Colaborativa (PC)**.

Por otra parte, cada vez están siendo mayores las necesidades de diseño, análisis, comprensión, adaptación, seguimiento, control y mejora de dicho proceso de PC, lo cual ha hecho que hayan aparecido en los últimos años muchos trabajos que tengan como objetivo su **Modelado** (Pontrandolfo y Okogbaa 1999; Fleischmann y Meyr, 2002; Lario y otros, 2003; Stadtler, 2009; Hernández y otros, 2010).

Además, este Proceso de Negocio de Planificación Colaborativa de una RdS/D será **doblemente jerárquico**, ya que por una parte se desarrollará en el ámbito jerárquico tradicional de los niveles (estratégico, táctico y operativo) y por otra parte se efectuará mediante un conjunto de toma de decisiones sobre los distintas operaciones que conforman la RdS/D (Aprovisionamiento-Producción-Distribución-Ventas), de las cuales serán “propietarias” las diferentes empresas integrantes de la misma.

Aunque los temas relacionados con la Planificación Jerárquica han estado vigentes desde hace varias décadas, la mayoría de los trabajos/aplicaciones se centran exclusivamente en las operaciones de Producción de la RdS/D, esto es, la tradicional “Planificación Jerárquica de la Producción” (Nagi, 1991; Vicens y otros, 2001).

Sin embargo, y debido fundamentalmente al progreso que se ha llevado a cabo en la Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), se puede apreciar cada vez más un interés/necesidad en evolucionar desde la “Planificación Jerárquica de la Producción” de una Empresa a la “Planificación Jerárquica de Operaciones” en la RdS/D. Esta extensión se puede ver claramente en Stadtler y Kilger (2002).

No obstante, esta extensión a todas las “empresas” de la RdS/D implica normalmente otro tipo de jerarquías, además de las **jerarquías temporales** propias entre los Niveles de Decisión (Estratégico-

Táctico-Operativo), ya contempladas en la “Planificación Jerárquica de la Producción”. Son las denominadas **jerarquías espaciales** (Schneeweiss y Zimmer, 2004).

Dentro de este **contexto de Interdependencias “Jerárquicas” (Temporal y Espacial)**, cada vez existen más trabajos que intentan **modelar el proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D**, desde el punto de vista de “Procesos de Negocio”, considerando las denominadas Vistas de Modelado como puedan ser la Funcional, Física, Organizacional, Decisional, etc. No obstante, el Modelado de dicho Proceso se ha hecho muchas veces desde un punto de vista miópico y por tanto poco realista, al considerar únicamente la Visión Decisional, que si bien, es sin duda, la más influyente, también se puede ver influenciada por otras Vistas de Modelado. Por tanto, se hace necesario la **integración de las diferentes Vistas de Modelado** para modelar el Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D en un contexto que no sólo considera las jerarquías de tipo temporal sino además las de tipo espacial.

Además, el tipo específico de Proceso que se aborda, es decir, el de la Planificación Colaborativa, en el que la **mayor parte de sus Actividades son de tipo Decisional**, justifica el desarrollo de **Herramientas que ayuden a la Toma de Decisiones**, de forma que éstas puedan optimizarse (en su caso) tanto de forma individual como teniendo en cuenta el resto de Actividades Decisionales que conforman el Proceso, ya que las Herramientas existentes, que optimizan de forma individual/local las diferentes partes/empresas, no resultan útiles ante este nuevo escenario de múltiples interdependencias.

En la actualidad, muchas empresas estarían interesadas en conocer “a priori” cuáles serían los **beneficios** que les reportaría **pasar de su situación de Planificación Colaborativa actual (AS-IS) a nuevos escenarios de Colaboración (TO-BE)**, por lo que dichas **Herramientas** serían de gran utilidad para poder “**cuantificar**” dicha emigración.

Finalmente, hacer constar que esta Tesis se enmarca dentro de una de las líneas de investigación del Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), donde se integran un importante número de profesores del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Politécnica de Valencia, al cual pertenece el doctorando.

El CIGIP tiene una fuerte vinculación tanto a nivel de investigación como de desarrollo y transferencia con un Fabricante de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos y otras Empresas pertenecientes a su Cadena de Suministro. Cabe destacar entre los acuerdos de colaboración conjunta la pertenencia de ambas partes al Proyecto titulado “Metodología Jerárquica en contexto de incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena-Red de Suministro / Distribución. Aplicación al sector cerámico” (DPI2004-06916-C02-01), subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia, así como al Piloto industrial del SubProyecto SP-3 del Proyecto Singular y Estratégico “Potenciación de la Competitividad del Tejido Empresarial español a través de la Logística como factor estratégico en un

Entorno Global” (PSE-370000-2008-8). Además, la presente Tesis ha sido parcialmente desarrollada en el marco del Proyecto titulado “Métodos y modelos para la planificación de operaciones y gestión de pedidos en cadenas de suministro caracterizadas por la incertidumbre en la producción debido a la falta de homogeneidad en el producto” (DPI2011-23597), subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad español y por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Politécnica de Valencia (PAID-06-11/1840).

Durante la Tesis se ha tenido oportunidad de conocer la realidad industrial a Nivel de Planificación en una Cadena de Suministro de dicho Sector, ya sea a través de entrevistas periódicas, dirección de Proyectos Fin de Carrera, etc., lo cual ha permitido al doctorando tener una visión mucho más cercana a las necesidades concretas de las plantas estudiadas, y generalizando, a las de otras plantas.

Es por ello por lo que todo el desarrollo, aunque aplicable/extrapolable cualquier Sector Industrial, **se ha aplicado finalmente de manera práctica a una RdS/D perteneciente al de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos**, formada por algunas Empresas que forman parte del mismo.

1.2 Justificación y Objetivo de la Tesis

A continuación se enumeran de manera simplificada las distintas razones que **justifican** la realización de esta Tesis Doctoral:

1. La necesidad cada vez mayor de que los procesos de **Planificación de Producción/Operaciones**, que tradicionalmente se han desarrollado a nivel uni-empresa, se adapten para ser diseñados y ejecutados por diferentes empresas, separadas y de diferentes características, pero que, en la mayoría de los casos, forman parte de una misma Red de Suministro/Distribución (RdS/D). La realidad muestra como muchas Empresas están apostando por la adaptación o rediseño de dichos procesos, de manera que estos se realicen en **contextos colaborativos**.
2. La ausencia en la literatura de **Modelos que integren todos los elementos** que afecten el proceso de **Planificación Colaborativa en RdS/D**. El desarrollo de los Modelos se ha focalizado fundamentalmente en aspectos puramente decisionales (Vista Decisional) directamente ligados a aspectos físicos (Visión Física), dejando de lado otras igualmente importantes como son las Vistas Organizacional e Informativa y la típica de Procesos o Visión Funcional.
3. La escasez de trabajos en la literatura que consideren **simultáneamente las Relaciones de Interdependencia de tipo temporal y espacial en cualquier escenario decisional** que pueda establecerse en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, ya sean escenarios **centralizados o descentralizados/distribuidos**. La mayoría de los trabajos consultados sólo son

válidos para situaciones muy específicas o sólo consideran un tipo de Interdependencia al mismo tiempo (Fleischmann y Meyr, 2003; Rhode y otros, 2000; Schneeweiss, 2003).

4. La necesidad de desarrollar **Herramientas Analíticas de Ayuda a la Toma de Decisiones** en un contexto de Planificación Colaborativa en RdS/D, que consideren el entorno decisional de cada uno de los **Decisores** implicados en el Proceso y sean capaces de considerar las **Relaciones de Interdependencia** entre ellos (Temporal y Espacial) de la manera más eficiente. Entre dichas Herramientas son de especial relevancia las de optimización, y entre estas últimas, aquellas basadas en **Modelos de Programación Matemática**.
5. La ausencia de **Modelos de Programación Matemática** que sean fácilmente transferibles a otras situaciones (que no sean únicamente válidos para situaciones concretas), y que “contengan” toda la complejidad que subyace en la realidad. Además, **se suele obviar la manera en la que se han elaborado dichos Modelos**, por lo que se hace difícil su modificación ante los distintos “cambios” que puedan surgir.
6. La constatación de que existen muchas empresas que son **reáceas a Planificar Colaborativamente** porque **no conocen “a priori” que beneficios** les reportará dicha colaboración y cómo se repartirán, lo cuál crea un clima de desconfianza y de poca pro-actividad.

En este contexto surge la presente Tesis, que pretende los siguientes **objetivos**:

Por una parte, desarrollar un **Marco** que:

1. Ayude, facilite y guíe a los responsables del diseño del proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D), en la tarea de modelado de dicho proceso para situaciones concretas (Pérez y otros, 2007; Alarcón y otros, 2007). Dicho Marco debe proporcionar, de manera organizada, la información pertinente para que, en el procedimiento de modelado, se tengan en cuenta todos los aspectos importantes y que influyan en el proceso de Planificación, sea de una forma o de otra.
2. Integre cuatro visiones diferentes de modelado, como son las visiones Física, Organizacional, Decisional e Informacional y sus inter-relaciones (Pérez y otros, 2012a). Ello favorecerá la construcción de modelos integrados (unión de varias visiones) del proceso de Planificación Colaborativa, dando lugar a modelos mucho más próximos a la realidad, y aplicados a cualquier tipo de RdS/D, por muy compleja que ésta sea.
 - a. se utilizará la Visión Decisional como la visión base para modelar el Proceso, pero enriquecida mediante la inclusión en el mismo modelo de otras visiones, puesto que en la Toma de Decisiones en contextos de Planificación se actúa sobre unos Recursos/Ítems

(Visión Física) y según una determinada Organización en la que las diferentes partes estarán más o menos integradas (Visión Organizacional). Por otra parte la propia actividad de la RdS/D generará y necesitará cierta Información (Visión Informacional), necesaria para poder planificar o tomar decisiones.

3. Contemple todo tipo de escenarios decisionales en los que se puede enmarcarse el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, desde los más Centralizados a aquellos que tienen lugar en Entornos Distribuidos/Descentralizados (Schneweiss, 2003), considerando al mismo tiempo la Interdependencia de tipo Temporal (en el que se considera la coordinación de decisiones entre los Niveles Decisionales Táctico y Operativo), y la Interdependencia de tipo Espacial (en el que se considera la coordinación de decisiones entre diferentes “decisiones” pertenecientes a un mismo Nivel Decisional, tanto a Nivel Intra-Empresa como Inter-Empresas).
4. Incluya tanto aspectos/elementos puramente conceptuales (Nivel Macro), que faciliten el Modelado integrado del Proceso, como aspectos/elementos analíticos (Nivel Micro), que faciliten el Modelado Analítico del mismo, proponiéndose en último lugar, un Modelo de Referencia Analítico (Alemany y otros, 2006).

Por otra parte, desarrollar una **Metodología** que (basada en el Marco anterior) :

5. Detalle los pasos, así como tipos de representación (gráficos y tabulares) para el modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D (Lario y otros, 2007; Pérez y otros, 2012b). El objetivo final es la obtención de un Modelo del Proceso, entendiendo por éste la identificación/orden de ejecución de cada una de sus Actividades Decisionales (de las cuales serán “propietarios” los Centros de Decisión que se hayan identificado previamente), así como la Información (a un nivel macro) intercambiada entre las mismas.
6. Detalle todos los pasos para el Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales (Centros de Decisión) y por ende de todo el Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (Pérez y otros, 2008a, 2008b). Dicho Modelado Analítico se particularizará para el desarrollo de Modelos Deterministas basados en Programación Matemática (Programación Lineal Entera Mixta), en escenarios doblemente jerárquicos (desde el punto de vista Temporal y Espacial) de un ciclo Instrucción-Reacción y en contextos organizacionales (de “búsqueda de un objetivo conjunto”) en los que puede existir cualquier “status de información” (asimetría), pero en la que ésta nunca se podrá utilizar con fines oportunistas (Pérez y otros, 2009, 2010).
7. Indique cómo resolver/evaluar todos los Modelos Analíticos (basados en programación lineal entera-mixta / PLEM) individuales asociados a cada una de las Actividades Decisionales (Centros de Decisión), y por ende, como proceder en la resolución/evaluación integrada del Proceso

globalmente. Asimismo, se incluirán tres parámetros, denominados “Criterio Total”, “Tiempo de Resolución Total” y “Consistencia Total”, que puedan medir “cuantitativamente”, desde diferentes puntos de vista, cuál es el grado de Colaboración actual (AS-IS).

8. Sirva de soporte para la implementación en el sistema físico de las decisiones obtenidas a partir de la resolución de los Modelos PLEM de los Centros de Decisión asociados a las Actividades Decisionales.
9. Facilite y guíe en la “simulación” de diferentes escenarios de Planificación Colaborativa (TO-BE) de manera que puedan conocerse “a priori” los beneficios/costes que ello supone (Pérez y Alemany, 2012). El análisis de dichos escenarios podrá afectar indistintamente (con mayor o menor profundidad) a cualquiera de las Visiones Física, Organizacional o Decisional, y por ende a la Informacional.

Por último, y basado en el **Marco & Metodología** anteriores :

10. Realizar la implementación en una RdS/D concreta perteneciente al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (Pérez y otros, 2012b).

1.3 Esquema general de la Tesis. Metodología de Investigación

Tras este primer Capítulo de Introducción, la Tesis se estructura en tres partes: Estado del Arte, Propuesta y Aplicación.

La parte correspondiente al **Estado del Arte** engloba los capítulos 2 y 3.

En el **Capítulo 2** se lleva a cabo una revisión del concepto de Planificación de Operaciones en general en Redes de Suministro / Distribución (RdS/D), haciendo especial énfasis en contextos colaborativos y jerárquicos. Cabe destacar la importancia de las jerarquías espaciales (horizontales) que aparecen cuando se consideran RdS/D, aparte de las temporales (verticales), más estudiadas y propias del caso intra-empresa.

Asimismo, también se revisan los términos de Modelado Empresarial y de Procesos, así como los Marcos Conceptuales existentes en la literatura que intenten modelar dicho Proceso de Planificación de Operaciones. Además, se considera importante entender el significado y la interpretación que se le da, en la literatura, a los términos anteriores, por lo que se incluye también una revisión bastante detallada de los mismos.

En el **Capítulo 3** se lleva a cabo una revisión de los Modelos existentes para la Gestión de RdS/D, para lo cual se eligió como referencia inicial la taxonomía propuesta por Giannoccaro y Pontrandolfo (2001), en la que se distinguían 2 dimensiones: el tipo de problema (TP) y el enfoque de modelado (EM).

En cuanto a TP se distinguía entre problemas de Configuración (estratégicos) y de Coordinación (Táctico-Operativos) y en cuanto al EM se distinguía entre Modelos Conceptuales, Analíticos, de Simulación y basados en Inteligencia Artificial (Lario y Pérez, 2005).

Ya en la última parte del capítulo se realiza un Estado del Arte de los problemas de Coordinación, en los cuales se puede enmarcar el Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo), en particular con un enfoque de Modelado Analítico Determinista (basado en Programación Matemática fundamentalmente). Es importante destacar el planteamiento de una Metodología propia para realizar dicho Estado del Arte y que se detallará en dicho capítulo. Finalmente se realizará un análisis crítico a partir de un análisis global de todos los Modelos Analíticos considerados (Pérez y otros, 2006).

La parte correspondiente a la **Propuesta** engloba los capítulos 4, 5 y 6.

En el **Capítulo 4** se incluye una Propuesta de Marco, que tenga en cuenta, por una parte, algunos aspectos comunes a todos los Marcos Conceptuales analizados en el Estado del Arte, así como algunos aspectos no identificados. Dicho Marco permitirá el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones y por otra parte su Modelado Analítico, ya que este Marco también incluye una parte analítica, además de la meramente conceptual, en el que finalmente se incluye un marco de referencia analítico que conecta claramente con todos los aspectos definidos en el mismo.

Tal y como se justificó previamente en el Objetivo de la Tesis, el Marco está orientado en base a Procesos de Negocio. Es importante reseñar que aunque comúnmente se considera la Visión Funcional como la Visión típicamente modeladora de Procesos, en la presenta Tesis se considerará ésta representada por la Visión Decisional (más concretamente la Sub-Visión Macro-Decisional). Esto es debido a dos razones, la primera por tratarse del modelado del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo), compuesto fundamentalmente de Actividades de Tipo Decisional, ligadas a la Planificación/Asignación de Recursos y la segunda por el objetivo último de esta Tesis, de desarrollar Modelos basados en Programación Matemática de Ayuda a la Toma de Decisiones, los cuales estarán ligados a cada una de las anteriores Actividades Decisionales del Proceso.

No obstante, de manera similar a algunos de los Marcos (Conceptuales) analizados en el Estado del Arte, esta Visión Decisional no será suficiente para un modelado realista del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo), ya que la citada Visión exige un soporte/conocimiento de los Recursos, la Organización y la Información, por lo que también se han considerado de manera explícita tres Visiones adicionales, la Física, Organizacional e Informativa, de manera que el Modelado pueda enriquecerse por la integración de las mismas y por tanto sea más realista y aplicable a cualquier contexto, por muy complejo que éste sea.

En el **Capítulo 5** se desarrolla un primer bloque de una Metodología, denominada Metodología (I), que basada en el Marco previo, proporcione al usuario de la misma unas directrices para Modelar el Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D.

Dicha Metodología (I) detalla los pasos para la obtención de cada una de las Visiones descritas en el Marco, y resultará especialmente importante para, en el Capítulo 6, poder modelar (analíticamente) el Proceso, ya que en la Visión Decisional se habrán identificado un conjunto de Actividades Decisionales (asociadas a unos Centros de Decisión), que dependiendo de las Relaciones de Interdependencia, intercambiarán cierta Información, lo cual condicionará enormemente el Modelado Analítico de cada una de dichas Actividades (Centros de Decisión) y por ende la ejecución de cada una de ellas individualmente y del Proceso.

En el **Capítulo 6** se desarrolla el segundo bloque de la Metodología, denominada Metodología (II), que partiendo de la anterior (modelo integrado del Proceso) y de todos los conceptos de carácter analítico desarrollados en el Marco (a nivel micro), proporcione al usuario de la misma unas directrices para Modelar Analíticamente el Proceso de Planificación Colaborativa.

Para ello será de gran ayuda el Modelo Analítico de Referencia propuesto en el Marco, susceptible de poder aplicarse a cualquiera de las Actividades Decisionales del Proceso (Centros de Decisión), especificándose los pasos para la particularización de dicho Modelo Analítico de Referencia en cada una de las mismas.

Hay que reseñar que la Metodología (II) se particulariza para el modelado mediante Programación Matemática (concretamente Modelos PLEM), en contextos deterministas, jerárquicos (con diferentes mecanismos de Coordinación y por tanto de Información intercambiada) y organizacionales.

Finalmente, dicha Metodología (II) describe los pasos para resolver/evaluar los Modelos anteriores, y por tanto analizar “cuantitativamente” cuáles son los beneficios que reporta planificar colaborativamente. Lo anterior podrá realizarse tanto para el caso actual (AS-IS) como para cuantificar múltiples escenarios de colaboración futuros (TO-BE).

La parte correspondiente a la **Aplicación** engloba los capítulos 7 y 8.

En el **Capítulo 7** se realiza primeramente un análisis general del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos, para luego analizar más en detalle una RdS/D concreta de dicho Sector, en particular el conjunto de Empresas con la que tiene mayor vinculación el Centro de Investigación al que pertenece el autor de esta Tesis, alguna de ellas también vinculada a los Proyectos de Investigación citados anteriormente en el apartado de presentación.

Posteriormente se ha analizado cómo planifican actualmente sus Operaciones el conjunto de Empresas antes mencionado, pues esto se hace de manera muy heterogénea. Se trata de una RdS/D en la que algunas de las empresas pertenecen al mismo Grupo Empresarial y otras no, y en el que se han identificado distintos tipos de Interdependencia en el Proceso de Planificación de Operaciones conjunto, siendo estos más o menos colaborativos.

En el **Capítulo 8** se realiza la aplicación práctica del Marco-Metodología (I) y (II), en la que se han seguido todos los pasos para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en la RdS/D especificada anteriormente en el Capítulo 7, y posteriormente se ha realizado el Modelado basado en Programación Matemática y la resolución/evaluación del mismo.

Lo anterior permitirá no sólo evaluar “conceptualmente” y “cuantitativamente” cuál es la situación actual (AS-IS) en lo que se refiere al grado de Planificación Colaborativa entre las diferentes empresas de la RdS/D, sino que la Metodología podrá utilizarse como herramienta de simulación de Escenarios futuros (TO-BE). El resultado obtenido “a priori” de dichos Escenarios futuros puede ser interesante a la hora de plantearse una mayor colaboración.

Finalmente, en el **Capítulo 9**, se recogen las principales Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación, que surgen a partir de este trabajo.

Se cierra la Tesis con un conjunto de **Anexos**, en los que figuran, entre otros, los archivos MPL resultantes del Modelado basado en Programación Matemática (PLEM) , los datos de entrada a los mismos a partir de la RdS/D sujeta a estudio o los valores de las variables de decisión una vez resueltos los diferentes modelos PLEM.

En la Figura 1-1 se recoge el esquema general de la Tesis.

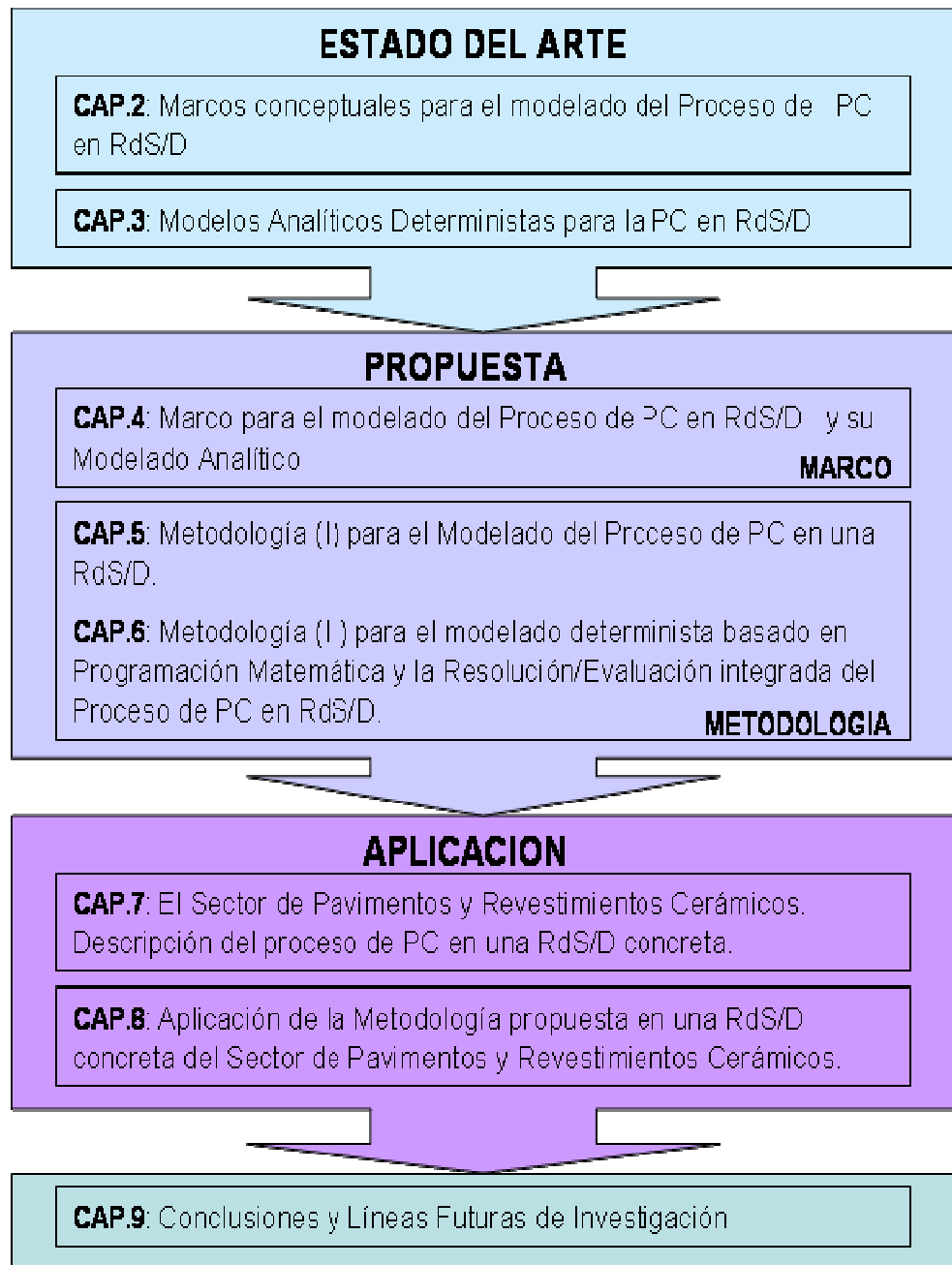


Figura 1-1. Esquema general de la Tesis (elaboración propia)

1.4 Bibliografía

Alarcón, F.; Lario, F.C.; Bozá, A.; Pérez, D. (2007). "Propuesta de Marco Conceptual para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)". XI Congreso de Ingeniería de Organización, Madrid.

Alemaný, M.M.; Lario, F.C; Alarcón, F.; Pérez, D. (2006). "Tipos de Integración en las Redes de Suministro / Distribución: Aspectos relevantes para su modelado cuantitativo". X Congreso de Ingeniería en Organización, Valencia.

Croom, S.; Romano, P.; Giannakis, M. (2000). "Supply chain management: an analytical framework for critical literature review", *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol 6, pp. 67-83.

Fleishmann B.; Meyr H. (2003). "Planning hierarchy, modelling and advanced planning systems", *Handbooks in OR&MS*, Kok and Graves (eds.), Elsevier B.V. Vol 11, pp. 457-523.

Hernández J.E.; Poler R.; Mula J.; Lario F.C. (2011) "The Reverse Logistic Process of an Automobile Supply Chain Network Supported by a Collaborative Decision-Making Model". *Group Decision and Negotiation Journal*, Vol 20, pp. 79–114.

Lambert, D. M.; Cooper, M. C. (2000). "Issues in Supply Chain Management". *Industrial Marketing Management*, Vol 29, pp. 65-83.

Lario, F.C.; Ortiz, A.; Poler, R.; Pérez, D. (2003). "Supply Chain Management: Modelling Collaborative Decision". 9th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA , Lisboa.

Lario, F.C.; Pérez, D. (2005). "Gestión de Redes de Suministro: sus Tipologías y Clasificaciones. Modelos de Referencia Conceptuales y Analíticos", IX Congreso de Ingeniería en Organización, Gijón.

Lario F.C.; Pérez D.; Alemaný M.M.; Alarcón F. (2007). "Metodología para la determinación del Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)". I International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Madrid.

Lejeune, M. A. ; Yakova, N. (2005). "On characterizing the 4 C's in supply chain management", *Journal of Operations Management*, Vol 23 (1), pp. 81-100.

Min, H.; Zhou, G. G. (2002). "Supply chain modeling: past, present and future". *Computers & Industrial Engineering*, Vol 43 (1-2), pp. 231-249.

Nagi, R. (1991). "Design and Operation of Hierarchical Production Management Systems", Ph.D., University of Maryland, College Park.

Pérez, D.; Alarcón, F.; Alemany, M.M.; Lario, F.C.. (2006). “Taxonomía para la Clasificación de los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro / Distribución (RdS/D). Modelos basados en PLC y PEM”. X Congreso de Ingeniería en Organización, Valencia.

Pérez, D.; Alemany, M.M.; Vicens, E.; Lario, F.C. (2007). “Propuesta de Marco Conceptual para el Modelado de la Visión Decisional del proceso de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D)”. I International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Madrid.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2008a). “Metodología para el Desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática en un contexto Jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)”. II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2008b). “Metodología para el Modelado Analítico Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto Jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D). II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Burgos.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2009). “Descripción detallada del Criterio y del Campo de Decisión en Modelos basados en Programación Matemática en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D)”. III International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Barcelona/Terrassa.

Pérez, D.; Lario F.C.; Alemany, M.M. (2010) “Detailed description of the Decision Variables in Mathematical Programming Models in a Collaborative Planning Framework of Supply and Distribution Networks (SDN)”. Revista de Dirección, Organización y Administración de Empresas, Vol 42, pp. 7-15.

Pérez, D.; Alemany, M.M.; Lario, F.C.; Hernández, J.E. (2012a). “Framework for Modelling the Decision View of the Supply Chains Collaborative Planning Process”. International Journal of Decision Support Technology International Journal of Decision Support System Technology, Vol 4 (2), pp. 59-77.

Pérez, D.; Lyons, A.; Alemany, M.M.; Lario, F.C. (2012b) “The application of a Methodology for modelling Collaborative Planning decisions in the Supply Chain”. International Journal of Computer Integrated Manufacturing” (*enviado y pendiente de aceptación*).

Pérez D.; Alemany, M.M. (2012). “Mathematical Programming Models for Master Planning in ceramic tile Supply Chains. Evaluation and comparison of distributed and centralised scenarios”. XXV European Conference on Operational Research, Vilnius, Lituania.

Pontrandolfo P.; Okogbaa O.G. (1999). "Global manufacturing: a review and a framework for planning in a Global Corporation". *International Journal of Production Research*, Vol 37 (1), pp. 1-19.

Rohde, J.; Meyr, H.; Wagner, M. (2000). "The supply chain planning matrix". *PPS Management* Vol 5, pp. 10–15.

Schiegg, P.; Roesgen, R.; Mittermayer, H.; Stich, V. (2003). "Supply Chain management systems - A survey of the state-of-the-art". *Collaborative supply net management*, Jagdev, Wortmann, y Pels, eds., IFIP.

Schneeweiss, Ch. (1999). "Hierarchies en Distributed Decision Making". Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Schneeweiss, Ch. (2003), "Distributed decision making in supply chain management". *International Journal of Production Economics*, Vol 84, pp. 71-83.

Schneeweiss, Ch.; Zimmer K. (2004). "Hierarchical coordination mechanism within the Supply Chain". *European Journal of Operational Research*, Vol 153, pp. 687-703.

Schneeweiss, Ch. (2003) "Distributed decision making in supply chain management". *International Journal of Production Economics*, Vol 84, pp. 71–83.

Stadtler, H. (2005). "Supply chain management and advanced planning: basics, overview and challenges". *European Journal of Operational Research*, Vol 163 (3), pp. 575-588.

Stadtler, H.; Kilger, C. (2002). "Supply Chain Management and Advanced Planning". Ed. Springer. Hamburg, Germany.

Stadtler, H. (2009). "A Framework to Collaborative Planning and state-of-the-art". *OR Spectrum*, Vol 31, pp. 5-30.

Vicens, E.; Alemany, M.E.; Andres, C.; Guarch J. J. (2001). "A design and application methodology for hierarchical production planning decision support systems in an enterprise integration context". *International Journal of Production Economics*, Vol 74, pp. 5–20.

2 . Estado del Arte de los Marcos conceptuales para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro/Distribución

2.1	La Planificación de Operaciones en RdS/D	7
2.2	La Planificación Colaborativa	7
2.2.1	¿Qué significa Colaboración?	8
2.2.2	Grados de Colaboración.....	12
2.2.2.1	Estimación Colaborativa de la Demanda.....	12
2.2.2.2	Compra Colaborativa.....	12
2.2.2.3	Inventarios Colaborativos.....	12
2.2.2.4	Capacidad Colaborativa.....	13
2.2.2.5	Relaciones de Colaboración	13
2.2.3	Conveniencia de la Colaboración.....	13
2.2.3.1	Proceso de Planificación Colaborativo.....	13
2.2.3.2	Beneficios.....	15
2.2.3.3	Obstáculos	20
2.2.3.3.1	Incentivos	22
2.2.3.3.2	Procesado de la información	22
2.2.3.3.3	Operacionales.....	24
2.2.3.3.4	Precio	25
2.2.3.3.5	Comportamiento de los competidores.....	25
2.2.3.4	Requerimientos entre las partes	28
2.2.4	Tipos de Colaboración	35
2.2.4.1	Integración Temporal	38
2.2.4.1.1	Planificación Simultánea de los Niveles.....	39
2.2.4.1.2	Planificación Jerárquica de la Producción.....	39
2.2.4.2	Integración Espacial	47
2.2.4.2.1	Contexto de Centralización	48
2.2.4.2.2	Contexto de Descentralización.....	48
2.2.4.2.3	Toma de decisiones distribuida en la gestión de RdS/D.....	49
2.3	Marcos Conceptuales para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D.	58
2.3.1	Introducción	58
2.3.2	Modelado Empresarial y de Procesos	62
2.3.2.1	Vista Funcional.....	74
2.3.2.2	Vista Física	75
2.3.2.3	Vista Organizacional	75

2.3.2.4	Vista Decisional.....	76
2.3.2.5	Vista Informativa.....	76
2.3.2.5.1	Relación de la vista de información con las otras vistas.....	78
2.3.2.5.2	La vista de información en CIMOSA.....	78
2.3.2.5.3	La vista de datos en ARIS.....	80
2.3.2.5.4	Técnicas para modelar la vista de información.....	81
2.3.2.6	Terminología en la literatura.....	84
2.3.2.6.1	Marco Conceptual.....	84
2.3.2.6.2	Marco de referencia.....	85
2.3.2.6.3	Modelo.....	85
2.3.2.6.4	Proceso.....	88
2.3.2.6.5	Arquitectura.....	89
2.3.2.6.6	Formalismos de modelado.....	91
2.3.3	Marcos Conceptuales.....	91
2.3.4	Proceso de Planificación Colaborativa en contextos de RdS/D.....	98
2.4	Conclusiones.....	100
2.5	Bibliografía.....	105

Índice de Figuras

Figura 2-1. La colaboración en una relación sencilla de Demanda-Suministro (Stadler y Kilger, 2002)	9
Figura 2-2. Proceso genérico de Colaboración (Standler y Kilger, 2002)	14
Figura 2-3. Alcance del problema a resolver en base a la matriz SCP	36
Figura 2-4. Posicionamiento Jerárquico del SCOP (adaptado de De Kok y otros, 2003).....	37
Figura 2-5. Integración Temporal de un Dominio de Planificación.....	39
Figura 2-6. Jerarquía Multicapa de un Sistema de Toma de Decisiones (Mesarovic y otros, 1970).....	45
Figura 2-7. Jerarquía organizacional multinivel (Mesarovic y otros, 1970)	46
Figura 2-8. Integración Espacial entre dos Dominios de Planificación.....	47
Figura 2-9. Clasificación de los sistemas DDM (Scheneweiss, 2003a).....	51
Figura 2-10. Interdependencias entre los niveles jerárquicos	53
Figura 2-11. Detalle de las interdependencias jerárquicas (Schneweiss, 1999)	54
Figura 2-12. Grados de conectividad dentro de la Cadena de Suministro (Schneweiss, 2003a).....	58
Figura 2-13. Relación entre empresa, sistema y modelo integrado (Alarcón, 2007).....	61
Figura 2-14. Profundidad o alcance de distintas técnicas de modelado respecto a diferentes perspectivas o vistas. (Giaglis, 2001)	72
Figura 2-15. Taxonomía de las técnicas de modelado según la vista que se desea modelar (eje de ordenadas) y el objetivo del modelado (eje de abcisas) (Giaglis, 2001).....	73
Figura 2-16. Marco de clasificación de modelado de Procesos de negocio (Neiger y Churilov, 2005).....	74
Figura 2-17. Marco de Modelado CIMOSA (Vernadat, 1996b).....	79
Figura 2-18. Modelo Funcional ARIS para el proceso de Fabricación (Toh, 1999).....	80
Figura 2-19. Aplicación de la Arquitectura CIMOSA al modelo de proceso de fabricación (Fuente: Toh, 1999).....	81
Figura 2-20. Marco de modelado GIM (Vernadat, 1996b).....	83
Figura 2-21. Clasificación de métodos y técnicas de modelado (Shen y otros, 2004)	84
Figura 2-22. Marco de modelado de CIMOSA (Ortiz y otros, 2003)	87
Figura 2-23. Elementos básicos para el modelado de procesos según IDEF (:Cheng-Leong y otros, 1999)	89
Figura 2-24. Relaciones entre los conceptos de Arquitectura, Metodología y Marco Conceptual. (Alarcón, 2007)	90
Figura 2-25. Arquitectura GERAM y Metodologías en el Marco EE&I. (Kosanke y otros, 1999a).....	91
Figura 2-26. Esquema del marco GERAM (Kosanke y otros, 1999b).....	94
Figura 2-27. Modelo conceptual de LABGRAI (Ortiz y otros, 1999c)	95
Figura 2-28. GIM: su estructura de modelado y los formalismos utilizados (Ortiz y otros, 1999c)	96

2.1 La Planificación de Operaciones en RdS/D

Existen multitud de trabajos en la literatura que muestran especial énfasis en la Gestión de las Cadenas y/o Redes de Suministro/Distribución en el panorama industrial: Croom y otros (2000); Ganeshan y otros (1999); Lambert y Cooper (2000); Lejeune y Yakova (2005); Min y Zhou (2002); Stadler (2005).

En este contexto, los procesos, que tradicionalmente se han desarrollado a nivel uni-empresa, deben adaptarse para ser diseñados y ejecutados por diferentes empresas, separadas y de diferentes características, pero que forman parte de una misma Cadena o Red de Suministro/Distribución (C ó RdS/D)

Los distintos procesos, que se realizaban de una forma centralizada y atendiendo a los objetivos de una única empresa, deberán ahora desarrollarse teniendo en cuenta los objetivos de varias empresas simultáneamente.

Uno de los procesos fundamentales en este escenario es el que se aborda en la presente Tesis, el proceso de Planificación de Operaciones.

Por citar un trabajo en el que se destaca la importancia de este proceso, en Shah (2005) se indica que la Planificación/Programación de las Operaciones en la Cadenas o Redes de Suministro/Distribución es uno de los tipos de problemas más importantes, junto con los problemas de diseño y los problemas de análisis y formulación de políticas.

La Planificación/Programación de las operaciones aborda las decisiones de cómo operar con la RdS/D para responder mejor al entorno. Este proceso de Planificación considera una infraestructura fija en el corto y medio plazo, y trata de identificar cómo utilizar de la mejor manera posible los recursos de producción, distribución y almacenaje, para responder a los pedidos y a las previsiones de demanda de una manera eficiente y económica.

2.2 La Planificación Colaborativa

Muchas Empresas están apostando por la adaptación o rediseño de sus procesos de **Planificación de Operaciones**, de manera que estos se realicen en **contextos colaborativos**, o lo que es lo mismo, Planificar Colaborativamente.

En este apartado se aborda primeramente el concepto de Colaboración, en segundo lugar los distintos grados con las que ésta se puede dar, en tercer lugar cuáles son las razones por la que ciertas Empresas desean Planificar Colaborativamente y finalmente qué tipos pueden existir en el citado contexto.

2.2.1 ¿Qué significa Colaboración?

Si bien el concepto de colaboración entre empresas existe desde antaño, en los últimos tiempos, ha recibido mucha más atención, tanto a nivel práctico como a nivel académico (Smáros y Främling, 2003).

Aunque la integración y la colaboración en la Cadena de Suministro no son ideas nuevas, los recientes avances tecnológicos las hacen más atractivas que nunca, al permitir la comunicación electrónica a bajo coste y, por lo tanto, compartir información de una forma cómoda y barata.

En primer lugar convendría aclarar lo que significa “colaborar”. Para la Real Academia Española, colaborar significa “Trabajar con otra u otras personas en la realización de una obra”. En el estudio que Malone y Crowston (1994) hicieron sobre el término de “coordinación”, definido como “la gestión de dependencias entre actividades”, se indica que palabras como “cooperación”, “colaboración” y “competición”, aunque tengan sus propias connotaciones, en parte de ellas se incluye la gestión de las dependencias entre las actividades, con lo que su uso debería ser cuidadoso.

Estos términos tienen también amplios significados. Por ejemplo, “cooperación” normalmente implica compartir objetivos entre varios socios, mientras que la “competición” suele implicar que uno de los socios gana y el otro pierde, y la “colaboración” a menudo implica trabajo conjunto con propósitos intelectuales. Sin embargo, algunas veces es útil considerar todos estos términos cuando se describen diferentes métodos o formas de gestionar las dependencias entre las actividades, es decir, diferentes formas de la coordinación.

El concepto de colaboración se considera más amplio que el de coordinación o el de cooperación, de forma que para colaborar, será necesario, entre otras cosas, coordinarse, es decir, gestionar las dependencias entre las actividades objeto de la colaboración y cooperar, es decir obrar o actuar contando con la actuación de los demás y facilitar, en la medida de lo posible, el desarrollo de las actividades, tanto propias como ajenas.

Hay que tener en cuenta que la calidad de un plan y del proceso de toma de decisiones para elaborar dicho plan puede ser mejorado, la mayoría de las veces, si se considera información adicional que está más allá del dominio de planificación¹ individual de una única empresa, que intenta elaborar un plan.

La Planificación Colaborativa abarca múltiples dominios de planificación (Stadler y Kilger, 2002). La idea principal es extender el proceso de planificación que, inicialmente, es local, a un contexto de varios dominios de planificación. Para ello será imprescindible que se produzca un intercambio de

¹ El concepto de dominio de planificación se refiere a la parte de la Cadena de Suministro que está bajo el control y la responsabilidad de una determinada empresa a la hora de planificar.

aquellos datos relevantes entre los distintos dominios de planificación y que se obtenga un plan que beneficie a todos, basado en el mutuo acuerdo. Los datos de entrada al plan deberán ser actualizados rápidamente para que la planificación sea lo más precisa posible.

Los conceptos de Planificación Colaborativa pueden aplicarse, tanto al proceso de planificación que conecta con los clientes (Planificación de Ventas) como al que conecta con suministro (Planificación de Aprovisionamiento). Por supuesto, teniendo en cuenta que, en el caso de aprovisionamiento se planifica a partir de la capacidad de suministro y en el caso de los clientes se planifica a partir de la demanda de productos.

Stadler y Kilger (2002) utilizan un ejemplo de la industria del automóvil, en el que se muestra una Cadena de Suministro con tres etapas: en la 1ª etapa proveedores de cristal y de bombillas suministran a la 2ª etapa, en la cual hay una única empresa que monta el conjunto del faro, proveedora a su vez de la 3ª etapa, en la que hay fabricantes de automóviles que reciben el faro y lo incorporan a sus vehículos. A partir de este ejemplo, en el que se analizan los principales aspectos de la Planificación Colaborativa para los autores, se indica que la colaboración representa relaciones de negocio entre un suministrador y un cliente. El cliente representa la demanda y el suministrador representa la capacidad de suministro en la colaboración (figura 1).



Figura 2-1. La colaboración en una relación sencilla de Demanda-Suministro (Stadler y Kilger, 2002)

Los fabricantes de automóviles están interesados en la fiabilidad del suministro de faros. Por ello, entregan sus previsiones de demanda al fabricante de faros, el cual fabrica contra pedido. El fabricante de faros podrá planificar mejor su producción y ajustar su capacidad al conocer esta información y, a cambio, se compromete a fabricar según dicha demanda. El fabricante de faros también aportará información sobre su capacidad de fabricación de forma que, en caso de desviaciones en la demanda, el fabricante de automóviles conozca las posibilidades del proveedor.

En el caso de las bombillas, el proveedor fabrica contra almacén. Tanto el propio proveedor de bombillas como el fabricante de faros mantienen un stock de seguridad contra las fluctuaciones de la demanda. La colaboración, basada en compartir información sobre el estado de los inventarios y sobre las previsiones de demanda ayudará a optimizar el inventario de bombillas, y por lo tanto a reducir sus costes.

La colaboración puede plantearse en función de los distintos niveles en el árbol del producto o, incluso, de forma distinta para ciertos ítems situados en un mismo nivel del árbol del producto. Por ejemplo, un automóvil está formado, entre otros, por un sistema de iluminación (primer nivel en la jerarquía de los componentes del producto final). El sistema de iluminación, a su vez, está formado por los faros delanteros y los faros traseros (segundo nivel en la jerarquía de los componentes del producto final).

A partir de este esquema de producto se podrían dar distintas formas de colaboración entre la empresa fabricante de automóviles y el-los suministrador-es:

- La empresa fabricante recibe el sistema de iluminación completo de un único proveedor, que se encarga de gestionar su suministro, independientemente de si fabrica sólo los faros delanteros, los traseros, ambos o ninguno. En este caso la información sobre la demanda y la capacidad de suministro irá referida al sistema de iluminación (componentes de primer nivel).
- La empresa fabricante recibe los faros delanteros de un proveedor y los faros traseros de otro. En este caso la relación, y por lo tanto la información sobre demanda y capacidad productiva, vendrá determinada por los ítems de segundo nivel y no tiene porqué ser la misma.

Según Tyler (2001), la palabra “cooperación”, según se utiliza en su trabajo, es intencionadamente amplia e incluye cualquier “proceso mediante el cual individuos, grupos y organizaciones avanzan juntos, interactúan y forman relaciones para alcanzar beneficios o ganancias mutuas”. Por definición, la cooperación requiere la interacción de dos o más individuos, grupos u organizaciones, pero las habilidades residen, frecuentemente, en los individuos y no tanto en el propio sistema organizacional. Por lo tanto, las competencias cooperativas incluyen al capital humano tanto como el capital organizacional.

Para el trabajo del autor citado, el término de coordinación, colaboración e integración son sinónimos de cooperación, porque cada uno de estos términos se refiere a “comportamiento conjunto hacia un objetivo de interés común”. La cooperación puede ser formal o informal y puede consistir en uniones individuales verticales o uniones horizontales. Por otra parte, la cooperación puede incluir sólo a dos individuos en una empresa (diada), más de dos individuos dentro de una empresa o representantes individuales de dos o más empresas (ej. alianzas estratégicas, joint ventures,...). Las relaciones cooperativas que surgen son “mecanismos socialmente ideados para acciones colectivas, las cuales son continuamente configuradas y reestructuradas mediante acciones e interacciones simbólicas de las partes involucradas”.

Según Fink (2004), la coordinación dentro de la Cadena de Suministro depende de la utilización de fórmulas apropiadas para la toma de decisiones distribuidas. Si se consideran las decisiones conjuntas

como contratos formales, el problema de la coordinación puede tratarse como un proceso de búsqueda en el correspondiente espacio o conjunto de contratos posibles. Las negociaciones automatizadas, entre empresas o entre unidades que toman decisiones representadas como agentes de software, pueden suministrar un mecanismo efectivo para determinar los beneficios de los contratos.

La investigación realizada se centra en los contratos que representan colaboraciones bilaterales entre dos empresas (agentes), las cuales intentan coordinar (sincronizar) sus secuencias de producción. Teniendo en cuenta la información asimétrica y la posibilidad de que haya comportamiento oportunista, se plantea la intervención de un mediador que da soporte al proceso de negociación. La función principal de este mediador es generar nuevos tipos de contratos que son aceptados o rechazados por los agentes, como representantes de las empresas, en función de sus estrategias particulares. Se concluye que las negociaciones automatizadas pueden constituir un medio efectivo para coordinar las decisiones dentro de las Cadenas de Suministro.

Según Center (1998) se indica que la estrategia de la SCM (Supply Chain Management) es coordinar los objetivos de varias organizaciones con el fin de incrementar la eficiencia de la Cadena de Suministro completa. Además, se clasifica la coordinación operacional de la Gestión de la Cadena de Suministro en tres categorías: coordinación vendedor-comprador, coordinación producción-distribución y coordinación inventario-distribución.

En Schiegg y otros (2003) se definen y clasifican las actividades que tienen lugar en la Cadena de Suministro, y se indica que la Planificación Colaborativa sirve para la coordinación, entre organizaciones, de las distintas actividades de planificación que realizan los distintos socios de la Cadena.

Como puede comprobarse, en la literatura se pueden encontrar multitud de definiciones del concepto “colaboración”, con diferentes matices dependiendo del autor en cuestión, en algunos casos incluso contrapuestas. Además, en muchas de las ocasiones aparecen sinónimos que pueden incrementar la ambigüedad del término, como cooperación, coordinación, etc.

Por tanto, en este último párrafo se indica cuál es el significado que finalmente se ha dado al concepto “colaboración”, y que marcará el desarrollo posterior de esta Tesis. La **Colaboración** se entiende como aquel proceso en el que diferentes Entidades deciden interaccionar/integrarse (entendiendo que dicha interacción les favorece) en busca de un objetivo global compartido o bien que busque un equilibrio entre los objetivos individuales. Dependiendo del tipo de interacción/integración y del nivel de compromiso con dicho “objetivo global” se podrán originar diferentes tipos de colaboración.

2.2.2 Grados de Colaboración

Existen diferentes negocios en los que la disponibilidad de materiales y servicios deben sincronizarse. Por ejemplo, las empresas que suministran equipos informáticos deben disponer de los técnicos necesarios (capacidad de servicio) para instalar los equipos en casa del cliente. Una falta de sincronización en el proceso puede implicar tener un inventario no deseado o mano de obra parada (capacidad perdida). Si las diferentes empresas implicadas en la Cadena de Suministro trabajan de forma coordinada, intercambiando información crítica, pueden reajustar los planes para dar respuesta a nuevas situaciones evitando así las consecuencias de mantener planes desajustados con la realidad.

Para conseguir que los planes de materiales estén sincronizados entre los diferentes socios de la Cadena de Suministro se debe realizar una estimación colaborativa de la demanda, gestionar conjuntamente los niveles de inventario (inventario colaborativo) y trabajar con planes de compra consensuados (compras colaborativas). Las empresas que además proveen servicios deben trabajar con planes de capacidad consensuados.

2.2.2.1 Estimación Colaborativa de la Demanda

La estimación colaborativa de la demanda permite hacer una previsión consensuada entre los diferentes departamentos de una empresa o entre las diferentes empresas involucradas en la Cadena de Suministro conectando entre sí el proceso de previsión de los diferentes dominios de planificación. El objetivo de esta previsión colaborativa es, por ejemplo, la planificación conjunta de una promoción.

2.2.2.2 Compra Colaborativa

La compra colaborativa conecta el proceso de planificación con el dominio de planificación del proveedor. A medio plazo, la compra colaborativa informa sobre las limitaciones de suministro de material al plan maestro y en el corto plazo informa de desajustes en el plan de compra consensuado que pueden afectar a los programas de producción.

2.2.2.3 Inventarios Colaborativos

El concepto Vendor Managed Inventory (VMI) implica que el proveedor es el encargado de “vigilar” el nivel de inventario del cliente. El proveedor planifica sus necesidades de materiales a través de la previsión de ventas del cliente y el nivel de inventario deseado. De esta forma, el cliente se olvida del proceso de compra a cambio de facilitarle la información necesaria, y el proveedor puede diseñar su plan de materiales en sincronía con las necesidades de su cliente.

2.2.2.4 Capacidad Colaborativa

La capacidad colaborativa permite consensuar el plan de capacidad contratado o disponible con sus clientes. Si un productor puede subcontratar parte de su producción a otro productor, deseará saber con qué capacidad puede contar y el proveedor deseará saber qué plan de producción tiene previsto contratarle para asegurar un nivel de carga determinado. Normalmente ambas partes negocian un nivel mínimo y máximo de capacidad.

2.2.2.5 Relaciones de Colaboración

Los tipos de colaboración anteriores describen colaboraciones a un nivel, conectando los clientes con su proveedor inmediato. Si la Cadena de Suministro se extiende a través de diferentes socios es interesante establecer una relación que conecte el cliente con cada uno de ellos de forma que puedan acceder al mismo tiempo a información relevante que implique ajustes en el plan de suministro.

Según Romano (2003) una relación de colaboración exitosa implica que uno de los socios dirija el proceso de Planificación Colaborativa y defina las reglas y estándares de colaboración. Este modelo de colaboración se puede asimilar al modelo organizativo de Empresa Extendida. Sin embargo, últimamente se conocen experiencias satisfactorias de Cadenas de Suministro en las que los diferentes socios se organizan a modo de Empresa Virtual, sin que ninguna tenga una posición de liderazgo sobre las demás (Manthou y otros, 2003; Ortiz y otros, 1999a).

2.2.3 Conveniencia de la Colaboración

2.2.3.1 Proceso de Planificación Colaborativo

Una vez se ha acordado la relación de colaboración entre las diferentes empresas, se inicia un proceso de colaboración que pasa, normalmente, por las siguientes etapas (Figura 2-2), de forma cíclica:

1. Definición
2. Planificación en el dominio local
3. Plan de intercambio
4. Negociación y manejo de excepciones
5. Ejecución
6. Medidas de los resultados

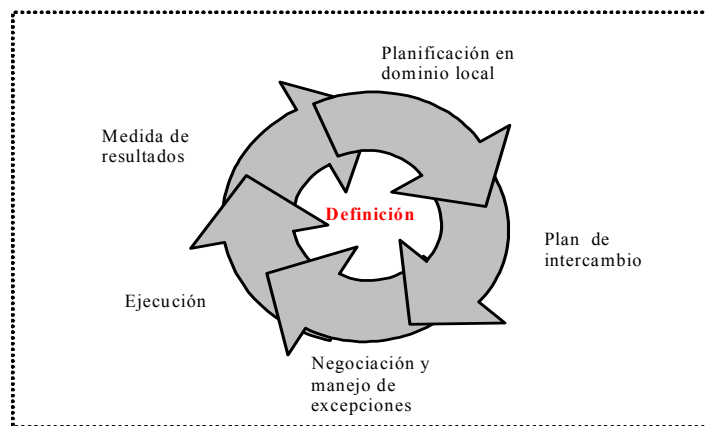


Figura 2-2. Proceso genérico de Colaboración (Standler y Kilger, 2002)

La definición del tipo de colaboración entre los socios implica un acuerdo formal que defina el camino a seguir conjuntamente. Este acuerdo (Stadtler y Kilger, 2002) debe definir la implicación de cada socio y los beneficios a obtener, los productos o servicios en colaboración, el horizonte de colaboración y los mecanismos de resolución de conflictos.

Una vez definida la colaboración se debe generar la planificación de cada empresa, en el ámbito del dominio local, que servirá de base para la comunicación con las demás empresas que forman parte de la Cadena de Suministro. A continuación se procede al intercambio de información en los términos definidos en el proceso de colaboración. Cada uno de los socios intenta aumentar la calidad de su plan a través de este intercambio. En función de la precisión de los datos intercambiados, la información puede aportar mayor o menor valor.

El proceso de intercambio de información permite a los socios tener una visión global del proceso de planificación e identificar si se consiguen los objetivos predefinidos. Esta situación requiere un escenario común de planificación en el que los objetivos comunes y las condiciones se puedan medir mediante indicadores. El análisis de desviaciones de los objetivos marcados permite identificar caminos de mejora en planes futuros. Las desviaciones pueden producirse a causa de decisiones tomadas al nivel local, que provocan una desalineación de los planes y que, al detectarse, debe llevar a un proceso de negociación que restablezca la sincronización.

Una vez los planes están alineados se debe proceder a su ejecución, y medir los resultados alcanzados. Si la relación entre los socios es "win-win" (todos salen ganando), los resultados son fácilmente aceptables. Cuando uno de los miembros acuerda "perder" para el beneficio global de la cadena, se puede pactar un desembolso compensatorio. La medida de esta pérdida se puede valorar a través de la desviación sufrida respecto al plan de su dominio local.

2.2.3.2 Beneficios

Son muchos los trabajos en los que se detallan los beneficios/ventajas que conlleva colaborar en contextos de Cadena de Suministro.

En Alarcón y otros (2004), se demuestra cómo la colaboración en contextos de Cadena de Suministro es, realmente, un concepto muy poderoso que genera ventajas competitivas importantes.

En Akintoye y otros (2000) se indica que los beneficios de la colaboración tienen que ver con mejorar los tiempos de ciclo (“lead times”), el servicio al cliente y las sinergias de la Cadena de Suministro. En esta misma fuente se recogen los resultados de un estudio basado en la realización de una encuesta a empresas del sector de la construcción en UK. En uno de los apartados de la encuesta, las empresas opinan sobre la importancia que conceden a la colaboración y a la gestión de la Cadena de Suministro; el 47.5% de las empresas encuestadas (un total de 40 empresas del sector de la construcción) opinó que estos factores eran críticos, un 42.5% que eran importantes, un 7.5% que tenían importancia limitada y sólo un 2.5% (1 empresa) que los factores considerados no eran importantes. Otros apartados del estudio analizaron las funciones que se consideraban importantes a nivel interno para la gestión de la Cadena de Suministro, los factores más importantes en las relaciones de la Cadena de Suministro con proveedores y con clientes, y los principales objetivos en el desarrollo de la colaboración en la Cadena de Suministro del sector de la construcción. Respecto a este último apartado los principales objetivos, citados por las empresas con similar frecuencia, son: beneficios para el cliente, mejora del servicio al cliente, reducción de burocracia y papeleos, incremento del beneficio, reducción de costes dentro de la organización, incremento de la competitividad de mercado, beneficios para el suministrador, mejora del aseguramiento de la calidad y reducciones en el conjunto de la Cadena de Suministro. Como conclusión del estudio de estos autores, se podría resumir que la colaboración en la Cadena de Suministro se utiliza, principalmente, para ganar ventajas competitivas.

Según Callioni y Billington (2001), todos y cada uno de los suministradores y fabricantes, centros de distribución, vendedores y clientes, salen beneficiados de la colaboración en la Cadena de Suministro, consiguiendo mejoras como las siguientes:

- Proveedores: Pedidos más previsibles para los proveedores permiten a estos planificar y programar mejor su producción, y utilizar cualquier disminución de tiempo para realizar trabajo adicional porque no necesitan reservar una línea de producción en el caso de que surjan pedidos urgentes. Esto reduce la incertidumbre en la planificación de la capacidad, lo cual es uno de los aspectos más costosos para los negocios de los proveedores.
- Empresas: entregas más fiables desde los proveedores y mejor información sobre los pedidos aguas abajo, lo que significa mejores planes de producción.

- Centros de distribución y vendedores: Entregas más fiables desde los fabricantes y métodos más precisos para la cumplimentación de los inventarios, lo cual significa que se pueden servir más pedidos con menos inventario, menores costes indirectos y menores pérdidas de ventas debido a falta de productos.
- Clientes: Mayor confianza en la posibilidad de que los proveedores nos aprovisionen a tiempo o en un intervalo de tiempo conocido y definido de mutuo acuerdo. Esto implica dar mejor servicio a nuestros clientes y una mayor repetitividad en las ventas (fidelización de clientes).

Según Stadtler y Kilger (2002), cuando un Cliente colabora compartiendo información con un Proveedor en relación con sus previsiones de demanda, ambos salen ganando.

El Proveedor encuentra sus beneficios en:

- Planificar de una forma más ajustada su capacidad productiva.
- Asegurar un determinado nivel de facturación.
- Si dispone de almacenes, podrá ajustar los costes de almacenamiento.

Mientras que el Cliente encuentra sus beneficios en:

- Aumento de la fiabilidad del suministro.
- Conocimiento de la capacidad del proveedor y de su flexibilidad en cuanto a hacer frente a las fluctuaciones de la demanda. Se habla de capacidad de suministro (estos autores no la diferencian de la capacidad de fabricación) y puede ser de diferentes tipos:
 - Basada en la cantidad de productos que se es capaz de fabricar.
 - Basada en la cantidad de horas por línea de producción que se es capaz de realizar.
 - Basada en la utilización de los inventarios (capacidad de suministro más a corto plazo).
- Si dispone de almacenes, podrá ajustar los costes de almacenamiento.

En Heikkilä (2002) se explica que una forma de incrementar la productividad es especializarse en cooperación. Efectivamente, es posible aumentar la productividad en la Cadena de Suministro cuando las empresas están dispuestas a hacer transacciones o invertir en relaciones específicas. Estudios empíricos en este sentido confirman que las inversiones en relaciones específicas se corresponden con mejores resultados.

Según Albino y otros (2002), en el contexto de Gestión de la Cadena de Suministro, la literatura se centra en la coordinación de los componentes de toda la Cadena de Suministro para la reducción de costes al mismo tiempo que se mantiene un alto nivel de servicio al cliente. De hecho, la noción básica de la Gestión de la Cadena de Suministro parte de la idea de que la eficiencia puede mejorarse compartiendo información y planificando conjuntamente.

En Manthou y otros (2003) se indica que la colaboración entre los proveedores, fabricantes y detallistas puede mejorar el número de clientes satisfechos reduciendo los tiempos de ciclo o “lead times”, mejorando los niveles de servicio y disminuyendo los costes. En esta fuente se cita también la importancia de establecer mecanismos para analizar y entender el impacto de los Procesos de Negocio Colaborativos en las propias operaciones.

Para Nesheim (2001), un flujo rico de información entre los socios de la Cadena de Suministro hace posible el uso efectivo de técnicas tales como el Análisis o la Ingeniería del Valor: esto debería repercutir en una disminución de costes, permitiendo el aprendizaje compartido, mejorando los niveles de confianza y rebajando la inversión necesaria. También se encuentran mejores soluciones en los nuevos desarrollos o proyectos, debido a que los proveedores se involucran y colaboran en las fases iniciales de los nuevos proyectos.

Según Chopra y Meindl (2001), la falta de coordinación en el proceso de planificación conlleva ineficiencias relacionadas, fundamentalmente, con los plazos de entrega y con los niveles de inventarios. La coordinación en la Cadena de Suministro mejora cuando todas las etapas de la Cadena realizan acciones conjuntamente para mejorar los beneficios de toda la cadena. Esto implica que cada componente de la Cadena debe tener en cuenta el impacto de sus acciones sobre los otros miembros.

Para estos autores, la falta de coordinación, produce un efecto de amplificación de los datos de la demanda (“bullwhip effect”). Este efecto aumenta la variabilidad de la demanda y las fluctuaciones en las cantidades de los pedidos según nos movemos en la Cadena, desde los detallistas hacia los vendedores al por mayor, los fabricantes y los suministradores, de forma que las diferentes etapas o eslabones tienen una percepción muy diferente de la demanda. Según este efecto, las empresas más lejanas al consumidor final, están claramente desfavorecidas y utilizan una información distorsionada.

El impacto de este aumento de la variabilidad de la demanda provoca todos o alguno de los siguientes problemas:

- Aumento de los costes de fabricación: una forma de amortiguar el aumento de la variabilidad de la demanda, es realizar continuos cambios en la capacidad productiva, con los consiguientes costes.

- Aumento de los costes de inventarios: otra forma de responder al aumento de la variabilidad de la demanda es utilizar inventarios. Durante los periodos de baja demanda se generará inventario, con los consiguientes costes de posesión, que se utilizarán en los momentos de máxima demanda.
- Aumento del tiempo de aprovisionamiento: el incremento de la variabilidad de la demanda hace mucho más difícil la programación de la producción que en el caso de que la demanda estuviese nivelada. En algunas ocasiones no se podrá amortiguar la demanda mediante el ajuste de la capacidad de fabricación o a través de los inventarios, con el consiguiente incremento de los tiempos de suministro.
- Aumento de los costes de transporte: los requerimientos de transporte fluctúan también, junto con la demanda, a lo largo del tiempo. Esto hace que haya que mantener una capacidad alta de transporte para los periodos de demanda alta, aunque haya una baja utilización en los periodos de baja necesidad de transporte. La alternativa puede ser externalizar el transporte.
- Aumento de los costes de operarios de expedición y recepción de pedidos: de nuevo, para responder a las fluctuaciones de la demanda, se puede optar por mantener una alta capacidad de mano de obra (necesaria para los periodos de alta demanda) o ir ajustando la capacidad en función de la demanda período a período. Ambas alternativas suponen costes. De nuevo, la alternativa puede ser externalizar la recepción, preparación y expedición mediante Operadores Logísticos.
- Disminución del nivel de disponibilidad del producto: el efecto de amplificación de la demanda disminuye la disponibilidad del producto y hace que tengan que aumentar los stocks de seguridad en la Cadena de Suministro. Las grandes fluctuaciones en las órdenes hacen más difícil que se pueda suministrar a los distribuidores y a los detallistas a la vez.
- Empeoramiento de las relaciones en la Cadena de Suministro: las fluctuaciones de la demanda afectan negativamente a cada etapa de la Cadena de Suministro y por lo tanto empeora las relaciones entre las distintas etapas; téngase en cuenta que aparece el efecto “bullwhip” que todavía complica más las cosas. Existe una tendencia clara a echarle la culpa a las demás etapas de la Cadena de Suministro, cuando hay problemas porque, en cada etapa, se piensa que se hacen las cosas lo mejor posible. Esto disminuye la confianza que cada etapa tiene en las demás y, por lo tanto, hace más difícil cualquier potencial esfuerzo de coordinación. En definitiva, el efecto de amplificación de las fluctuaciones de la demanda disminuye la rentabilidad de la Cadena de Suministro al incrementar los costes

y hacer más caro y complejo el suministro, a un nivel dado de disponibilidad de producto y de servicio.

En Heikkilä (2002) también se cita el “bullwhip effect” y se relaciona con el fenómeno mediante el cual los pedidos para los proveedores tienden a aumentar su varianza más que las ventas de la empresa que lanza estos pedidos, y la distorsión se propaga aguas arriba, amplificándose cada vez más. Este fenómeno, que comenzó llamándose “Efecto Forrester”, pero que hoy en día se conoce y se investiga bajo el término “Bullwhip effect” o “amplificación de la demanda”, está íntimamente relacionado con los flujos de información entre los miembros de la Cadena de Suministro. Los flujos de información en forma de pedidos, tienen un impacto directo sobre la Programación de la producción, el control de inventarios y el reparto de planes de producción de los miembros de la Cadena de Suministro. La falta de comunicación entre empresas combinada con grandes intervalos de tiempo entre la recepción y la transmisión de la información son la raíz del problema del excesivo incremento de la varianza de la demanda entre las etapas de la Cadena. Consecuentemente, las soluciones del problema suelen requerir un aumento de las habilidades de las empresas para coordinar las actividades y acortar los lead-times, en definitiva de las habilidades para colaborar.

En Akkermans y otros (2003) se profundiza sobre la importancia de la “transparencia” de la información en la Cadena de Suministro y sobre su relación con el nivel de confianza existente en la Cadena. A mayor confianza mayor cantidad de información compartida y, a su vez, mayor calidad en las decisiones tomadas.

En Thonemann (2002) se analiza el beneficio de compartir información adelantada sobre la demanda. En este trabajo se desarrollan Modelos Matemáticos de Cadenas de Suministro en los que se comparte información adelantada sobre la demanda, mediante los cuales se demuestra que, tanto los fabricantes como los clientes, salen beneficiados al compartir información.

En Veen y Venugopal (2001) se demuestra, mediante un Modelo Cuantitativo sencillo, que mediante la coordinación y la colaboración se consiguen situaciones en las que todos ganan (win-win). Aunque dicho trabajo sólo considera la coordinación y la colaboración en lo que respecta al establecimiento conjunto de precios del producto.

En definitiva, la Planificación Colaborativa supone la integración de los Procesos de los que demandan y los que suministran, con los objetivos fundamentales de reducir inventarios, acortar tiempos de ciclo y reducir costes de la Cadena de Suministro. Algunas ventajas que se pueden obtener desde la óptica del proveedor son: aumento de la precisión en las Previsiones de Demanda que permiten a su vez disminuir los niveles de stock, disminuyendo así los típicos problemas de éstos (riesgos de obsolescencia, costes de mantenimiento y de gestión del producto de los almacenes, coste de las instalaciones, etc.), sin

aumentar las roturas de stock y, por consiguiente, sin perder nivel de servicio y mejorando los costes por replanificación y reprogramación.

Todo ello se traduce en mejoras para los eslabones de la Cadena de Suministro situados aguas abajo, las cuales se agrupan alrededor de tres ejes fundamentales: precios (disminución en los precios de compra), nivel de servicio y eficiencia en los procesos (disminución en los costes de previsión-planificación-programación).

Los modelos de negocio basados en la colaboración hacen posible reducir costes y mejorar el servicio al cliente mediante el uso compartido de la información y la mejor coordinación de las actividades de la Cadena de Suministro. Los beneficios fundamentales que se pueden obtener mediante la colaboración entre empresas son numerosos: reducción de los niveles de inventario, eliminación de actividades redundantes, incremento de la disponibilidad del producto, incremento de las ventas y mejor conocimiento de los tiempos de ciclo de los pedidos.

2.2.3.3 Obstáculos

Hay que constatar que existen numerosos trabajos que estudian las ventajas de planificar colaborativamente, como se ha podido comprobar en el apartado anterior. No obstante, no abundan los trabajos que se preocupan de los costes, de los esfuerzos o de los inconvenientes que conlleva la Planificación Colaborativa. En este sentido, se considera imprescindible conocer todos estos aspectos cuando las empresas contemplan la posibilidad de planificar conjuntamente, ya que sin ellos, no se estará en disposición de evaluar adecuadamente dicha posibilidad (Alarcón y otros, 2004).

Desde esta observación, Nesheim (2001) indica en su trabajo que las relaciones de cooperación no deberían utilizarse de una forma indiscriminada. Las relaciones cooperativas tienen un coste y el efecto del aprendizaje potencial a partir de la diseminación del conocimiento desde los proveedores es variado. Una empresa sólo debería proceder al intercambio masivo de información, al inicio de proyectos compartidos, y a la “construcción” de la confianza, cuando los beneficios esperados de tal colaboración superan los costes esperados.

Varios investigadores han llegado a la conclusión de que las empresas necesitan dividir sus relaciones cliente-proveedor e identificar las verdaderas relaciones. En este sentido, también Heikkilä (2002) hace alusión a los costes de colaboración cuando sostiene que las verdaderas relaciones estratégicas crean nuevo valor pero son costosas de desarrollar, alimentar y mantener. Por lo tanto, hay riesgos por las especiales inversiones que se requieren. El número de relaciones reales que una empresa puede construir y mantener es limitada. Por lo tanto, no se puede pretender construir este tipo de relaciones con un gran número de clientes o proveedores, sino concentrar los recursos en construir buenas relaciones con los

clientes y proveedores más significativos, relaciones que requieren una cuidadosa planificación y toma de decisiones.

En Kim (2000) se indica que, para que sea atractivo para el Proveedor trabajar desde la coordinación, el fabricante debe convencerle de que tal relación le beneficiará. En este sentido, desarrolla un Modelo Matemático que evalúa lo interesante que puede llegar a ser una relación cooperativa para un suministrador y un fabricante. Se trata de que el fabricante, para el que tradicionalmente, una relación cooperativa es beneficiosa, le demuestre al suministrador que también puede obtener beneficios de este tipo de relación. En concreto, los beneficios que puede obtener el suministrador, mediante dicha coordinación, están relacionados con la innovación y se traducen en: calidad, rendimiento, tiempos de entrega y costes de suministro.

En este trabajo se establecen dos condiciones para que exista una colaboración sostenible entre proveedores y fabricante:

1. Los beneficios que consigue la red mediante la colaboración deben ser mayores que la suma de los beneficios que obtienen las empresas por separado.
2. Cada participante de la red debe percibir que su beneficio local e individual es mayor que si no utilizase la colaboración.

Según Chopra y Meindl (2001), es habitual que las Cadenas de Suministro estén formadas por una gran cantidad de empresas. Si las diferentes empresas que forman parte de la Cadena tienen distintos propietarios, es usual que éstas tengan diferentes objetivos. En este caso las empresas pueden llegar a anteponer la consecución de sus propios objetivos a la de los objetivos de la Cadena, con la consiguiente disminución de los beneficios de esta última. Además, este hecho también repercute en la información que se comparte. Cuando las empresas pertenecen a diferentes propietarios no suelen compartir toda la información con lo que ésta se deforma cuando pasa de una empresa a otra. A todo a ello hay que añadir las dificultades provocadas por la gran variedad de productos con los que se trabaja.

En definitiva, la coordinación se complica cuando los diferentes eslabones de la Cadena tienen objetivos diferentes y conflictivos entre sí y/o cuando la información que fluye por la misma se distorsiona, debido a los problemas de compartirla y a la gran cantidad que fluye (por la enorme cantidad de referencias). El gran reto para las Cadenas de Suministro actuales es mejorar su coordinación en un contexto caracterizado por la búsqueda del equilibrio entre los objetivos particulares y los propios de la Cadena y por el manejo adecuado de la información, complicado por la gran cantidad de información necesaria y por los reparos de las empresas en compartirla totalmente.

Como regla general se podría afirmar que cualquier factor que priorice la optimización local de cualquier etapa de la Cadena de Suministro o incremente la distorsión de la información o la variabilidad de la demanda, es considerado un obstáculo para la coordinación en la Cadena de Suministro.

Si los responsables de la Cadena de Suministro fueran capaces de identificar los obstáculos clave, serían capaces de emprender acciones que ayudasen a mejorar la coordinación de la Cadena de Suministro. En este sentido, Chopra y Meindl (2001) dividen los posibles obstáculos en cinco categorías: incentivos, procesado de la información, operacionales, precio y comportamiento de los miembros de la cadena.

A continuación se incluye una breve explicación de cada uno de ellos:

2.2.3.3.1 Incentivos

Este tipo de obstáculo aparece en las situaciones en las cuales los incentivos ofrecidos a los diferentes miembros de la Cadena de Suministro les hacen actuar de manera que incrementan la variabilidad de la demanda y reducen el beneficio de la Cadena de Suministro.

Dentro de este tipo de obstáculo se podría plantear la siguiente subdivisión:

- Optimización local: Tomar decisiones que se centran únicamente en el impacto local de una acción no suele mejorar el beneficio total de la Cadena de Suministro.
- Incentivos de ventas: En muchas empresas, se establecen incentivos comerciales basados en la cantidad de productos que se venden en un determinado periodo (mes, cuatrimestre, etc.). La cantidad de productos que se consideran vendidos por el equipo comercial de una empresa fabricante es la cantidad que se vende a los distribuidores o a los detallistas, y no la cantidad vendida realmente a los consumidores o clientes finales. En ocasiones, las empresas fabricantes realizan promociones de sus productos a los distribuidores o a los detallistas durante algún periodo para incentivar las ventas, por ejemplo al final de los periodos en los que se cierran ejercicios económicos, o después de detectar una disminución de las ventas, para reactivarlas. Este tipo de actuaciones incrementa la variabilidad en el modelo de ventas, provocando saltos repentinos de pedidos y empeorando la coordinación en la Cadena de Suministros.

2.2.3.3.2 Procesado de la información

En este apartado se incluyen aquellas situaciones en las que la información sobre la demanda se distorsiona o se altera entre las diferentes etapas de la Cadena de Suministro, provocando un incremento en la variabilidad de los pedidos.

Los obstáculos principales en cuanto al procesado de la información son:

- Previsiones basadas en los pedidos y no en la demanda real del cliente: Cuando las previsiones están basadas en los pedidos recibidos, cualquier variabilidad en la demanda se amplifica según los pedidos se desplazan aguas arriba en la Cadena de Suministro. En las Cadenas de Suministro que poseen el efecto de la amplificación de la demanda, el principal medio de comunicación entre las diferentes etapas son los pedidos. Para cada etapa, la demanda es el flujo de pedidos recibidos y, a partir de éste, se genera la previsión. En este escenario, cualquier cambio en la demanda del cliente se amplifica según se mueven los pedidos por la Cadena de Suministro. Si se produce un incremento aleatorio en la demanda del cliente al detallista, el detallista podría pensar que este incremento aleatorio será una tendencia al alza. Esta interpretación hará que el detallista pida más productos que lo que realmente ha crecido la demanda porque él espera que el crecimiento continúe en el futuro y, por lo tanto, deberá cubrirlo. En este momento se ha iniciado un proceso de amplificación de la demanda. Si el mayorista (siguiente etapa aguas arriba en la Cadena de Suministro) recibe este incremento de los pedidos por parte del detallista, posiblemente actuará de la misma forma (con más razón porque el incremento será mayor que el que recibió el detallista en su momento) y pensará que dicho incremento no es un aumento puntual sino el inicio de un cambio de tendencia. Realmente, no es capaz de interpretarlo de otra forma, simplemente observa un salto en los pedidos. El mayorista, por consiguiente, aumentará sus pedidos hacia el siguiente eslabón de la cadena. Cuantos más eslabones tenga la cadena, mayor será la amplificación que se produzca y mayor será el pedido (o los pedidos) que le lleguen al último eslabón. Pero este efecto también actúa en sentido contrario es decir, si el cliente realiza menos pedidos se producirá una disminución en cadena que afectará al último eslabón tanto más gravemente cuantos más eslabones participen en la Cadena de Suministro en cuestión.
- Problemas para compartir la información: la falta de información entre los miembros de una Cadena de Suministro aumenta el efecto de la variabilidad. Por ejemplo, un detallista puede aumentar el tamaño de sus pedidos puntualmente porque está preparando o realizando una promoción de sus productos. Si los fabricantes no conocen la causa real de este aumento de la demanda pueden pensar que será un crecimiento permanente y aumentarán también el tamaño de sus pedidos. Cuando el detallista finalice su promoción, la empresa fabricante y sus proveedores se encontrarán con elevados inventarios.

2.2.3.3.3 Operacionales

Este tipo de obstáculos se refiere a las acciones relacionadas con el envío y el cumplimiento de los pedidos que aumentan el efecto de la variabilidad de la demanda.

- Pedidos de grandes cantidades (o lotes): En ciertas ocasiones puede ser más interesante hacer grandes pedidos infrecuentemente que pequeños pedidos frecuentes. Por ejemplo, cuando existe un gran coste fijo asociado al lanzamiento de cada pedido, a su recepción o a su transporte, o porque los proveedores realizan ofertas y descuentos basados en el tamaño de lote. El flujo de pedidos que surge cuando se piden grandes cantidades es mucho más errático que el flujo real de la demanda. Teniendo en cuenta que un fabricante recibe órdenes de varios detallistas que pueden tener este comportamiento, el flujo de pedidos puede llegar a ser muy variable y caótico². Además, en muchas ocasiones, existen ciertos períodos reducidos del mes en los que hay una gran probabilidad de que los detallistas realicen sus pedidos, por ejemplo la primera semana del mes o el día 25 de cada mes, etc. Este hecho puede llegar a concentrar gran parte de la demanda mensual en uno o en pocos días exagerando el efecto comentado anteriormente.
- Grandes tiempos de ciclo de aprovisionamiento: Teniendo en cuenta una situación en la que un detallista crea que un crecimiento aleatorio de la demanda es un crecimiento de tendencia, si el detallista realiza su pedido cada dos semanas incorporará en su pedido el crecimiento estimado para las dos semanas siguientes. Si el tiempo de ciclo de aprovisionamiento es de dos meses, el pedido incorporará el crecimiento de los dos meses siguientes. Este mismo problema surgirá cuando la demanda disminuya.
- Dosificación y falta de flexibilidad: Las situaciones en las que la producción está limitada en proporción a las órdenes recibidas de los detallistas implican una amplificación del efecto de variabilidad de la demanda. Situaciones en las que una gran demanda de producto se concentra en un pequeño suministrador con capacidad productiva insuficiente son frecuentes en la Cadena de Suministro. Los fabricantes afrontan esta situación con una variedad de mecanismos que dosifican o racionalizan el escaso suministro de producto entre varios distribuidores o detallistas. Un esquema de racionalización normalmente utilizado es localizar el suministro disponible en función de las órdenes recibidas. Según este esquema, si el suministrador disponible proporciona el 80% del total de las órdenes

² Aunque habría que tener en cuenta que, en este caso, también podrían equilibrarse entre ellos mismos, bien de una manera casual o programada.

recibidas, cada detallista recibe el 80 % de sus pedidos. Este esquema de racionalización o dosificación desemboca en una situación en la que los detallistas intentan incrementar el tamaño de sus pedidos para aumentar la cantidad de producto que les llega. Por ejemplo, un detallista que necesita 80 unidades y sabe que sólo se le servirá el 80% de su pedido, pedirá 100 uds.. El hecho es que se inflan los pedidos artificialmente para tener el material que se espera vender y, así, no perder parte de la venta. Si el fabricante está utilizando los pedidos para hacer una previsión de la demanda futura, interpretará el incremento de los pedidos como un incremento de la demanda, aunque la demanda real del cliente no cambie. Una posible respuesta por parte de la empresa fabricante puede ser aumentar su capacidad productiva en función de lo que le haría falta para conseguir satisfacer todos los pedidos. Cuando el fabricante empieza a satisfacer completamente los pedidos, éstos volverán a su nivel normal con lo que se encontrará con una sobrecapacidad. Este proceso podría ser cíclico, alternado los periodos de falta de capacidad con los de sobrecapacidad.

2.2.3.3.4 Precio

Las siguientes situaciones son un ejemplo de cómo las distintas políticas de precio pueden suponer un aumento de la variabilidad de la demanda:

- Descuentos basados en la cantidad: Este tipo de descuentos incrementan el tamaño de lote de los pedidos que fluyen por la Cadena de Suministro. Esto produce un aumento de la variabilidad, según se ha explicado anteriormente.
- Fluctuaciones del precio: Las promociones comerciales y otro tipo de ofertas ofrecidas por el fabricante suponen, en la mayoría de los casos, un aumento de cantidad en los pedidos durante el período que dura la promoción. Los almacenistas, aprovechándose de las circunstancias especiales, realizan compras para cubrir la demanda en períodos futuros. Esto hace que, cuando finaliza la promoción, los almacenistas tengan sus almacenes llenos de productos y disminuyan sus compras. Los fabricantes pasan, por lo tanto, de servir grandes pedidos en muy poco tiempo (dependiendo de lo que se mantenga la promoción) a servir pedidos muy pequeños en los períodos siguientes o, incluso, a no recibir pedidos. Las fluctuaciones en la demanda producidas por este tipo de actuaciones son mayores en el fabricante que en los almacenistas o que en los detallistas.

2.2.3.3.5 Comportamiento de los competidores.

Este apartado se refiere a los problemas o comportamientos de las organizaciones que contribuyen al efecto de la amplificación de la demanda. Algunos de estos problemas son:

- Cada etapa de la Cadena de Suministro ve sus acciones localmente y es incapaz de ver el impacto de sus acciones en las otras etapas.
- Las diferentes etapas de la Cadena de Suministro reaccionan a las situaciones problemáticas de forma local, en lugar de identificar las causas del problema.
- Desde una perspectiva local cada una de las etapas de la Cadena de Suministro echa la culpa a otras etapas de sus fluctuaciones, con lo que las sucesivas etapas se convierten en enemigas en vez de en amigas.
- Ninguna etapa de la Cadena de Suministro establece los mecanismos para aprender a partir de sus acciones porque las consecuencias más significativas tienen lugar fuera de ellas, en las otras etapas. Esto se convierte en un círculo vicioso que crea problemas y enemistades de cada etapa con el resto.
- La falta de confianza entre los socios de la Cadena de Suministro convierte a estos en oportunistas, a expensas de la consecución de objetivos y/o rendimientos globales. La falta de confianza también se convierte en una significativa duplicación del esfuerzo. Aunque el problema más importante es que la información disponible en las diferentes etapas no se comparte o es ignorada porque no inspira confianza.

En el trabajo de Graves y otros (1998) también se indica alguna evidencia del valor de optimizar la Cadena de Suministro utilizando una visión amplia y teniendo en cuenta al conjunto de ésta, en vez de tomar decisiones para la optimización local de cada uno de los eslabones de la misma.

Akintoye y otros (2000) indican en su estudio que las principales barreras que impiden el éxito de la formación de grupos de empresas basados en la colaboración, en el sector de la construcción de UK, son:

- Cultura en el lugar de trabajo
- Falta de mayor compromiso en la gestión
- Infraestructuras inapropiadas
- Falta de conocimiento sobre Gestión de la Cadena de Suministro

Asimismo, en este estudio se indica que para superar estas barreras es imprescindible una educación y un entrenamiento a todos los niveles en la industria.

Las mayores barreras encontradas para la construcción de relaciones en la Cadena de Suministro son:

- Falta de compromiso de la alta dirección.

- Escaso entendimiento del concepto.
- Estructura organizacional inadecuada para soportar el sistema.
- Bajo compromiso de los socios.
- Los beneficios estratégicos no están muy claros.
- Falta de información tecnológica.

En el caso aplicado expuesto en Akkermans y otros (2003) se indica que la transparencia al compartir la información es fundamental para que surja la confianza necesaria entre los socios de la Cadena de Suministro, pero no suficiente. En este caso los autores constataron que, a pesar de haber gran transparencia y mucha información compartida entre distintos socios de la Cadena estudiada, el nivel de confianza era bajo. Una de las causas de esta situación era la falta de entendimiento, de cada socio, de los procesos de planificación y del negocio en general de los demás.

En Nagi (1991) se analiza la importancia del tipo de flujo de información sobre la demanda en la estabilidad de la planificación de la Cadena de Suministro. En concreto compara el flujo informacional de un sistema tradicional basado en MRP (tipo “push”) con el de un sistema LRP (tipo “pull”) desde la óptica de la estabilidad de los planes de producción en una empresa de camiones. En este trabajo se intenta demostrar que la verdadera causa de los inestables planes obtenidos en un sistema basado en el tradicional MRP es la propia lógica del MRP. Los resultados de este trabajo indican que las tres variables que tienen un gran impacto sobre la potencial inestabilidad del MRP son: el tamaño de lote, la incertidumbre de la demanda y la estructura del producto.

En Scholz y Höhns (2003) se realiza una comparativa interesante sobre ERP, APS y Collaborative Supply Nets Management. Para estos autores, las causas de una insuficiente coordinación y reconciliación entre empresas pueden resumirse como sigue:

- Ausencia de transparencia en lo relativo a los actuales requerimientos y ofertas realizadas directamente al cliente o realizadas en las últimas fases de la Cadena de Suministro, cercanas al cliente.
- Tiempos de espera causados por una insuficiente coordinación de los ciclos de planificación.
- No se detectan a tiempo ni se consideran cuellos de botella o restricciones de materiales y de capacidad entre empresas.

- No hay lazos de retroalimentación y frecuentemente no se procesa la información relativa a las restricciones o cuellos de botella de los predecesores y sucesores en la cadena durante el proceso de planificación.
- Fragmentado, procesado manual o pérdida de la información, así como disminución del nivel de integración entre empresas en lo referente a los sistemas de planificación.

2.2.3.4 Requerimientos entre las partes

Una vez identificados los problemas y los obstáculos de la coordinación en la Cadena de Suministro, se comentan algunas acciones de gestión que pueden ayudar a minimizar estos problemas y, en consecuencia, a mejorar la coordinación y a potenciar la colaboración.

En general, según Chopra y Meindl (2001), las siguientes acciones incrementan los beneficios totales de la Cadena de Suministro y moderan el efecto de la variabilidad de la demanda expuesto en apartados anteriores:

- Alineación de metas e incentivos.
- Mejorar la precisión de la información.
- Mejorar el rendimiento de las operaciones.
- Diseñar estrategias de precio para estabilizar los pedidos.
- Construir asociaciones y coaliciones.

Es evidente pues, la importancia de la colaboración en un contexto de Planificación Colaborativa pero, para que exista colaboración, se deben dar una serie de circunstancias. A continuación se incluyen las opiniones resumidas que distintos autores tienen al respecto.

Según Callioni y Billington (2001), para crear colaboraciones efectivas entre socios de una Cadena de Suministro, estos no sólo necesitan resolver sus posibles conexiones con el resto, sino que además las funciones paralelas dentro de sus empresas tendrán que cumplirse de forma más precisa. La Cadena de Suministro debería fomentar continuamente el buen funcionamiento individual de todos los socios involucrados en la colaboración.

Los factores clave del éxito al utilizar la colaboración en la Gestión de la Cadena de Suministro son:

- Evolucionar desde los sistemas transaccionales de pedidos hacia la Planificación Colaborativa y la previsión del reabastecimiento de inventarios.

- Buscar buenos socios, particularmente, aquellos que estén deseosos de cooperar en la planificación.
- Acordar cuales son los indicadores críticos de rendimiento y asegurar que los datos para el estudio de dichos indicadores están disponibles.
- Diseñar sistemas de modelado que contemplen las necesidades y capacidades de los socios involucrados, así como la naturaleza de los negocios existentes.
- Antes de construir modelos automatizados, habrá que diseñar y construir pilotos de los procesos.

Las empresas han encontrado varios problemas al intentar implementar sistemas de Planificación Colaborativa, Previsión y Reaprovisionamiento (CPFR) (Smáros y Främling, 2003).

Una de las piedras angulares de CPFR es la que concierne al hecho de compartir la información, por ejemplo, la relativa a la demanda del consumidor-final, a próximas promociones y a la previsión de ventas. Sin compartir la información, no es posible desarrollar procesos de colaboración. Sin embargo, cuando las compañías hacen frente a la necesidad de compartir la información, aparecen los asuntos fundamentales referentes a la confianza y al poder.

Algunas partes de la Cadena de Suministro son reacias a compartir lo que consideran información delicada porque temen que la información pueda filtrarse, o que pueda ser utilizada contra ellas. Otras, sin embargo, piensan que son las únicas que tienen acceso a cierta información como, la demanda del consumidor final, lo cual les confiere poder respecto al resto de la Cadena de Suministro. Compartir la información con otros les haría perder ese poder. Finalmente, en algunas situaciones, los socios de una Cadena de Suministro tienen dificultades para compartir la información porque sus procesos internos no se corresponden y, en algunos casos, no pueden producir los datos necesarios. Por ejemplo, varias tiendas minoristas de comestibles encuentran imposible generar los pronósticos a nivel del artículo para todos las decenas de millares de productos, lo cual, obviamente, constituye un significativo obstáculo para la colaboración necesaria en un contexto de CPFR.

Otra piedra angular de CPFR es la unión de Procesos. Sin embargo, unir o crear procesos compartidos, es mucho más difícil que simplemente compartir información. Varias empresas han constatado que los intentos a pequeña escala pueden no funcionar cuando hay varios socios involucrados y una gran cantidad de productos implicados.

Los requisitos que la colaboración precisa son, no sólo, la tecnología, sino también los Procesos internos y los colaborativos. Es evidente, por lo tanto, que la tecnología es sólo una pequeña parte de los cambios necesarios para la implementación de CPFR de gran escala. Este asunto, a pesar de parecer obvio,

ha sido objeto de muchas discusiones. Diversas compañías han elegido diferentes caminos para construir la infraestructura para la colaboración, a menudo confiando en soluciones basadas en internet o extranet.

Los siguientes requerimientos sobre infraestructura tecnológica se derivan de los problemas a los que han tenido que hacer frente las compañías que han implementado CPFR:

- Control y seguridad: Las compañías deberían ser capaces de controlar la información que se comparte y con quién se comparte, además de confiar en la seguridad de compartir información.
- Flexibilidad (Scalability): La infraestructura tecnológica tiene que dar soporte a la colaboración tanto para una cantidad grande de socios, como para una cantidad pequeña, y para una cantidad grande de productos. Además, la tecnología debería de posibilitar la integración fácil con diversos tipos de sistemas existentes.
- Estandarización: La tecnología debe utilizar estándares abiertos con el fin de permitir que las redes de colaboración crezcan rápidamente.

Según Min y Zhou (2002), el éxito de la integración de todos los procesos de la Cadena de Suministro depende completamente de la disponibilidad, de la precisión y de la actualidad de la información que, los miembros de la Cadena de Suministro, deben compartir.

En el trabajo de Akkersmans y otros (2003) se hace alusión a la importancia de la “transparencia” al compartir información como base para la “confianza” en las relaciones. Según estos autores es importante, para el correcto funcionamiento de la Cadena de Suministro, que sus miembros compartan información, fundamentalmente, sobre: pedidos actuales, estado de la producción, planes y previsiones. Y, no sólo es importante que se comparta información sino que, cuando el proceso de toma de decisiones tenga lugar, los socios hablen en términos de Previsión y Planificación Colaborativa.

El trabajo de estos autores profundiza sobre el concepto de “transparencia” en la Cadena de Suministro, sobre cómo este concepto se alcanza y evoluciona en el tiempo, y sobre la relación de dicho concepto con el nivel de “confianza” alcanzado en la Cadena. Se analiza la importancia de la confianza en el establecimiento de comunicación y por lo tanto en la transparencia y en la calidad de las decisiones. Se define la confianza entre dos empresas como “la creencia de que la primera actuará para el mejor de los intereses de la segunda en circunstancias en las que la primera empresa podría coger ventaja o actuar de manera oportunista para ganar a expensas de la segunda.”. Se analizan las interrelaciones entre transparencia y confianza, resaltando la importancia de la primera para que se de la segunda y la necesidad de trabajo serio y esfuerzo de todas las partes involucradas (“travail”).

En Thonemann (2002) se analiza el beneficio de compartir información adelantada sobre la demanda. En este trabajo se desarrollan modelos matemáticos de Cadenas de Suministro en los que se

comparte información adelantada sobre la demanda, mediante los cuales se demuestra que, tanto los fabricantes como los clientes salen beneficiados al compartir información.

Para ello se estudian dos Cadenas de Suministro en detalle: una con un número arbitrario de productos que tienen los mismos ratios de demanda y otra con dos productos que tienen ratios de demanda arbitrarios. En estas Cadenas de Suministro se identifican las condiciones bajo las cuales compartir información puede reducir significativamente los costes, por lo que este estudio puede ayudar a los decisores a determinar si compartir información puede resultar beneficioso o no. La información adelantada de la demanda considerada en este estudio es de dos tipos: segregada (los clientes comunican a los proveedores cuándo van a hacer sus pedidos pero no dicen a qué proveedores ni de qué productos) y detallada (los clientes comunican a los proveedores cuándo van a hacer sus pedidos y de qué productos pero no dicen a qué proveedores).

Respecto al tema de compartir información, según se indica en el trabajo de estos autores, las principales investigaciones se han llevado a cabo en las siguientes líneas:

- Compartir las previsiones de demanda a partir de los históricos de demanda y compartir históricos o información sobre la demanda actual.
- Analizar los beneficios de compartir información sobre la demanda del cliente con los miembros de la Cadena de Suministro, principalmente respecto a costes de inventario, niveles de servicio y niveles de demanda y/o inventario.

En Heikkilä (2002) se citan estudios empíricos sobre la eficiencia potencial de la velocidad en las operaciones. Los resultados de estos estudios indican una fuerte correlación positiva entre la velocidad y la eficiencia en la fabricación y que centrarse en la velocidad de las operaciones ayuda a detectar y eliminar las fuentes de la incertidumbre. En este sentido, se afirma que lo que más contribuye a la incertidumbre y a las operaciones lentas es la comunicación distorsionada en las actividades del sistema. Se hace necesario un compromiso en cuanto a los inventarios y una sincronización de la producción con la demanda para conseguir mejorar los resultados e incrementar la velocidad de las operaciones.

En este mismo trabajo se aborda la problemática de las relaciones industriales entre suministradores y clientes. Según este autor, la mayoría de los textos sobre la estructura de la Cadena de Suministro subrayan que los grandes beneficios se deberían conseguir mediante la cooperación entre el cliente y el suministrador, y facilitando el acceso del suministrador a los datos reales de demanda del cliente. Otra cuestión muy diferente es bajo qué condiciones el cliente desearía cooperar con el suministrador, dando acceso a sus datos sobre demanda real, y coordinar sus políticas de pedidos para beneficio del suministrador.

Recientes investigaciones sobre la Gestión de la Cadena de Suministro y sus relaciones intentan mejorar el entendimiento sobre las condiciones en las que todos ganan (win-win) (Veen y Venugopal, 2001), por ejemplo relaciones entre cliente y proveedor en las cuales una estrecha cooperación a largo plazo incrementa simultáneamente el valor producido para la demanda y disminuye los costes globales de la Cadena.

En esa misma fuente se citan varios aspectos que influyen en la efectividad del intercambio de información y, por lo tanto, en la comunicación de la Cadena de Suministro:

- Cantidad de información compartida.
- Calidad: tanto mayor cuanto más precisa, oportuna, adecuada y creíble sea.
- Nivel de participación: relacionado con el número de socios de la Cadena que se unen para planificar y definir objetivos.

Del nivel en que se den estos aspectos depende el desarrollo exitoso de las relaciones en la Cadena de Suministro, así como del nivel de interdependencia de los socios y del nivel de confianza. Respecto a la confianza, en esta fuente se indica que comprende dos elementos esenciales:

- Confianza en la fiabilidad de los socios, lo cual significa creer que cumplirán su palabra, sus promesas y obligaciones, y que serán sinceros.
- Confianza en la benevolencia de los socios, lo cual es creer que el socio está interesado en el bienestar de la empresa y que no emprenderá acciones inesperadas que afecten negativamente a la empresa.

En Tan (2001) se especifica que, para alcanzar el éxito en la Gestión de la Cadena de Suministro, lo más importante es un cambio en la cultura corporativa de todos los miembros involucrados en la Cadena. La cultura tradicional que da importancia a la búsqueda a corto plazo de beneficios locales y particulares de cada empresa parece estar en conflicto con los objetivos de la Gestión de la Cadena de Suministro. La Gestión de la Cadena de Suministro se centra en el posicionamiento de la organización virtual de tal forma que todos contribuyan al beneficio de la Cadena. La Cadena de Suministro se basa en los pilares de la confianza y la comunicación, y necesita que todos los profesionales de la logística y el suministro entiendan cómo afectan las funciones de sus empresas al resto de las empresas de la Cadena de Suministro.

En Manthou y otros (2003) se comenta que la internacionalización y la globalización de los mercados, las redes abiertas y los avances en la tecnología de la información y la comunicación, la orientación al cliente y a los servicios de los sectores B2B y de B2C, así como la emergente sociedad del conocimiento, requiere nuevos modelos de cooperación entre suministradores. El éxito de las operaciones de las redes de hoy depende de que cada miembro de la red sea capaz de compartir igualmente ganancias y

pérdidas, y de que los resultados de la colaboración puedan ser beneficios cuantificables para cada uno. Cada miembro debe ser capaz de compartir información con sus socios comerciales y con los clientes en tiempo real. Los nuevos modelos de red están basados en la confianza mutua, en la sinceridad, en el reparto de riesgos y aspiran a un mejor funcionamiento en los negocios que el que podrían tener las empresas individualmente.

Una Cadena de Suministro debe coordinarse con cada uno de sus miembros para conseguir optimizar sus procesos. Los mecanismos de comunicación rápidos y abiertos son esenciales para que las empresas desarrollen sus actividades en la Cadena de Suministro, permitiendo a sus miembros unificar sus previsiones, desarrollos, producción, sincronización y entrega de los productos/servicios, así como anticiparse dinámicamente a los requerimientos del cliente.

El éxito de las operaciones de las redes virtuales de Cadena de Suministro de hoy en día, requiere que cada miembro debe ser capaz de compartir información con sus socios y con sus clientes en tiempo real.

En Angerhofer y Angelides (2000) se indica que el éxito de las compañías industriales depende de la interacción entre los flujos de información, materiales, pedidos, dinero, poder y equipos, y el entendimiento y control de estos flujos es la principal tarea de la gestión.

En el estudio incluido en Akintoye y otros (2000), mediante el cual se analizan 40 encuestas sobre la colaboración en la Cadena de Suministro realizadas en el sector de la construcción de UK, se recogen los siguientes factores clave en relación a la creación de relaciones en la Cadena de Suministro: confianza, fiabilidad del suministro, soportes para la Alta Dirección, interés mutuo, libre flujo de información, planificación conjunta de los negocios, uniones entre demanda/suministro, sistemas integrados de información, desarrollo de la mano de obra y encuentros más frecuentes.

En Nesheim (2001) se realiza un estudio de la subcontratación de los procesos clave en 150 empresas noruegas. Este estudio se centra en el análisis de tres de las dimensiones de la relación existente entre las empresas y sus proveedores: el nivel de confianza, el intercambio de información y los proyectos compartidos. La cuestión que se intenta analizar es ¿bajo qué circunstancias las relaciones cooperativas, caracterizadas por la confianza, el intercambio de información y los proyectos compartidos, marcan o aparecen en las transacciones con los proveedores?, ¿cuáles son los antecedentes de estos elementos colaborativos en las transacciones verticales?.

En este trabajo se indica que, en ausencia de autoridad jerárquica y de la disciplina marcada por los mecanismos de mercado, las relaciones de la red se basan a menudo en la confianza, definida como la probabilidad de que A realice una acción que es beneficiosa o al menos no perjudica a B, por el simple hecho de que B trabaje en cooperación con A. Confiar en alguien es aceptar la vulnerabilidad basándose

en expectativas positivas sobre las intenciones o comportamiento de otras personas. La confianza alivia el miedo de que los socios actúen de forma oportunista y estimula el aprendizaje inter-organizacional.

En Scholz y Höhns (2003) se indica que la gestión de las Redes de Suministro colaborativas tiene aspectos tecnológicos y no tecnológicos. Entre los aspectos no tecnológicos destacan la voluntad de afrontar cambios organizacionales y el sentimiento de plena confianza con los socios.

Dekker (2003) utiliza el análisis de la cadena de valor (VCA) como herramienta para realizar un estudio empírico, fundamentalmente sobre la gestión de las relaciones entre empresas, los mecanismos de coordinación, el grado de interdependencia de las actividades y el intercambio de información, sobretodo la relativa a los costes y a la creación de valor. En cuanto a la gestión cooperativa de los costes se plantea, en primer lugar, un análisis de los costes de las operaciones en toda la Cadena de Suministro. Esta información se utiliza en las comunicaciones con los proveedores para analizar las causas de los rendimientos y para la generación de ideas de mejora. A continuación, cuando tales ideas han sido generadas, el modelo de costes propuestos se utiliza para calcular las consecuencias, en cuanto a costes, de modificar las operaciones de la Cadena de Suministro. Esta información es la base del estudio realizado y se utiliza para negociar los cambios con los proveedores. Por último, el modelo de costes se utiliza periódicamente para estudiar y realizar un seguimiento de los costes en el tiempo.

Actualmente, existen varios trabajos de investigación que justifican la importancia de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (ICT – information and communication technologies) para los nuevos modelos de gestión colaborativa. Por otro lado, es obvio que los sistemas de comunicación deben soportar, en gran parte, las crecientes necesidades de comunicación de los entornos colaborativos.

En Disney y otros (2003) se analiza el impacto de cuatro tipos de ICT en el nivel de inventarios (originados por el “Bullwhip effect”) utilizando dos técnicas distintas: el Juego de la Cerveza (The Beer Game) y la transformada z, para un análisis más cuantitativo. Todo ello para cinco escenarios de e-business distintos, es decir, para cinco configuraciones diferentes de la Cadena de Suministro.

Los resultados de este estudio indican que, en lo que respecta al Juego de la Cerveza: los ICT añaden complejidad al proceso de toma de decisiones humano, el cual es difícil de representar, incluso con protocolos bien definidos, hay demasiada información y demasiados cálculos que gestionar, y una mala gestión de los protocolos de ICT incrementa los costes de inventario. Aunque el Juego de la Cerveza es una simulación y simplifica la realidad, como en el mundo real, se tienen que tomar decisiones cuyas consecuencias no se conocen inmediatamente, y las personas no son buenas tomando decisiones en tales entornos. Los sistemas de ICT aumentan la transparencia en la Cadena de Suministro pero crean un entorno más complejo, así que las personas que tienen que intervenir tomando decisiones lo tienen más difícil.

La utilización de indicadores adecuados es considerada como fundamental por numerosos autores. En este sentido, Cieminski y otros (2003), como resultado de su estudio en empresas alemanas fabricantes de herramientas de corte, indica que las medidas de mejora deberían consolidarse para ofrecer una visión conjunta de los requerimientos de toda la Cadena de Suministro.

En una Cadena de Suministro, los diferentes eslabones pueden tener diferentes estrategias y objetivos logísticos, por lo que los conflictos pueden llegar a aparecer. En este contexto, es importante que los socios de la Cadena de Suministro alcancen un acuerdo sobre cómo los diferentes objetivos particulares podrían ser balanceados y sobre cuáles deberían ser priorizados. El objetivo de conseguir la máxima satisfacción del cliente podría ser un principio que guíe en la búsqueda de soluciones en este tipo de conflictos.

2.2.4 Tipos de Colaboración

La creciente globalización ha motivado que muchas empresas se dividan y se centren en sus “competencias clave”, produciéndose así una “desintegración vertical” entre unidades organizacionales más o menos independientes entre sí.

Al hilo de lo comentado en el primer apartado de este capítulo, tendría sentido definir la Gestión de una Cadena de Suministro (CS), o en un sentido más amplio, tal y como se está utilizando en la presente Tesis, de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D), como “la integración de los procesos logísticos entre organizaciones más o menos independientes” (Schneeweiss y Zimmer, 2004). Dicha Coordinación involucra muchos procesos de negocio de vital relevancia para ofrecer un buen producto/servicio al cliente final, como puedan ser, entre otros, la Planificación Colaborativa, el desarrollo de productos, la cumplimentación de pedidos finales, etc. (Christopher, 1998).

La Gestión de la Red de Suministro/Distribución (GRdS/D) tiene en cuenta tanto aspectos estratégicos (de Configuración) como aspectos tácticos y operativos (de Coordinación). La Configuración engloba las decisiones relativas al diseño de la RdS/D, mientras que la Coordinación se centra en la planificación a medio plazo y en la programación a corto plazo de los procesos de la RdS/D.

En la presente Tesis se aborda sólo el **Proceso de Negocio correspondiente a la Planificación Colaborativa**, el cual no considera el Nivel Estratégico, aunque evidentemente este Nivel, al tratar aspectos de Diseño, impondría unas restricciones que no podrían ser violadas por esta última.

La descripción del problema a resolver se va a realizar en base a dos visiones ampliamente aceptadas en la literatura: la visión de la matriz de planificación y la visión del posicionamiento jerárquico del SCOP.

En la Figura 2-3 puede observarse recuadrado en línea discontinua el alcance del problema a resolver según la visión de la Matriz de Planificación de la SC.

Se trataría de dar solución a la **Planificación Colaborativa** fundamentalmente a un **nivel Táctico/Operativo sin llegar al máximo grado de detalle**. En base al enfoque de la Matriz SCP en el medio plazo sería necesario establecer un Master Planning para toda la Cadena, mientras que a un nivel más operativo (sin entrar en el máximo nivel de detalle), sería necesario establecer diferentes planes (Materials Requirements Planning, Production Planning y Distribution Planning) para cada una de las entidades dependiendo de su posición dentro de la misma.

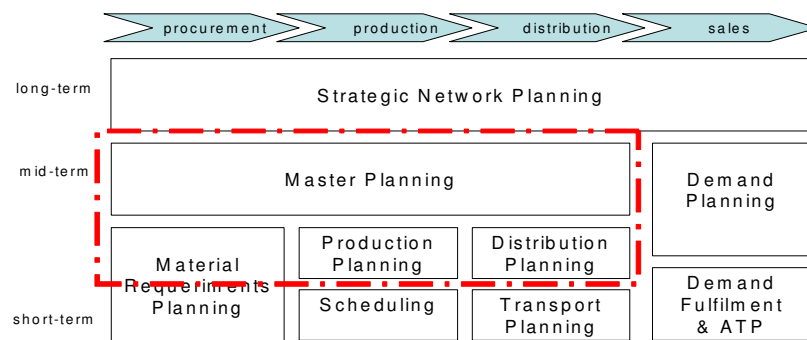


Figura 2-3. Alcance del problema a resolver en base a la matriz SCP

Por tanto, los módulos de la matriz SCP a los que se pretende dar solución serían el Master Planning, Distribution Planning y parte del Material Requirements Planning. En Fleischmann y Meyr (2003) se puede encontrar una breve descripción de las tareas de cada uno de los anteriores módulos:

- El módulo Master Planning coordina el flujo de materiales de la SC como un todo para un horizonte de planificación a medio plazo. Adicionalmente, se puede considerar un análisis aproximado de capacidad y de materiales.
- El módulo de Production Planning se establecería a nivel de planta individual y trataría de decidir fundamentalmente la asignación de cantidades de productos de cada grupo de productos a segmentos de producción o grupos de recursos, el alisamiento de la producción a través de las horas extra, la subcontratación, el inventario estacional, etc., todo ello mediante una lotificación agregada que considere, en su caso, grupos de productos finales.
- El módulo de Distribution Planning se ocuparía, entre otras cosas, de establecer la frecuencia de los suministros y de los aprovisionamientos, respetando las restricciones a medio plazo dentro del sistema de distribución y de aprovisionamiento.

- El módulo de Purchasing & Materials Requirements Planning se ocuparía principalmente la explosión de la lista de materiales y los pedidos de materiales.

A la hora de describir el problema a resolver en base a la visión del posicionamiento jerárquico del SCOP (Spitter y otros, 2005), el ámbito de Planificación Colaborativa que se pretende abordar englobaría lo que en la Figura 2-4 aparece como Planificación Agregada de la Cadena y el SCOP (Supply Chain Operations Planning). El objetivo del SCOP consiste en la coordinación de la liberación de materiales y recursos de la Rds/D bajo la consideración de que las restricciones de servicio al cliente se alcanzan al mínimo coste.

Por tanto, el problema SCOP se encuentra relacionado con la integración del Plan Maestro de Producción (PMP), la Planificación Aproximada de la Capacidad, la Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP-I), la Planificación de Requerimientos de Capacidad (CRP), funciones bien conocidas del MRP-II (Spitter y otros, 2005). La información transmitida por el SCOP a las unidades de función de control de producción (PC Units) se correspondería con la fecha de liberación de cada una de las órdenes y su fecha de vencimiento.

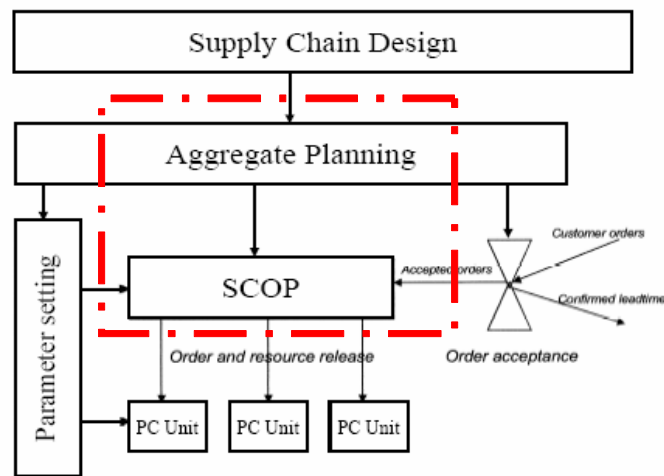


Figura 2-4. Posicionamiento Jerárquico del SCOP (adaptado de De Kok y otros, 2003)

Por tanto, de las dos visiones anteriores se deduce que el ámbito de la Planificación Colaborativa en el medio/corto plazo que se pretende abordar tiene como punto de partida las restricciones establecidas en el nivel de Configuración. También se deduce que en un primer nivel es necesario plantear una Planificación Colaborativa que considere la Rds/D como un todo y que en un último nivel es necesario plantear una salida directa a cada una de las entidades pertenecientes a la misma.

Finalmente, es importante señalar que entre los niveles que abarcaría el proceso de Planificación Colaborativa es posible plantear un número genérico de niveles englobando la RdS/D como un todo, a nivel de etapa o incluso a nivel de entidad de la etapa.

A la hora de llevar a cabo lo anterior, resulta de vital importancia el tema de la Coordinación. Ya en este momento se puede intuir que a la hora de abordar la coordinación de la RdS/D es necesario integrar tanto los diferentes niveles de planificación como las diferentes entidades que forman la RdS/D.

Una forma de clasificar los tipos de colaboración (Ribes, 2005) se basa en la situación relativa de las entidades que se coordinan dentro de la RdS/D. De esta forma se distinguen principalmente dos posiciones que conducen a dos tipos de colaboración: la coordinación vertical o jerárquica y la coordinación horizontal:

1. La coordinación jerárquica, o vertical, implica la toma de decisiones en un nivel superior común generando instrucciones sincronizadas a los niveles inferiores desde una perspectiva centralizada.
2. La coordinación horizontal, en cambio, implica consenso, acuerdo de objetivos, indicadores y reglas de igualdad entre los socios. Esta coordinación se consigue, normalmente, a través de la comunicación y procesos de negociación entre los socios.

Otros autores (Grossmann, 2005) establecen que un Dominio de Planificación puede integrarse básicamente de dos formas diferentes:

1. Integración Temporal: entre los diferentes niveles de gestión, es decir, Estratégico, Táctico y Operativo, cada uno con períodos de tiempo diferentes en los cuales se toman decisiones.
2. Integración Espacial: entre los diferentes Dominios de Planificación.

De la clasificación realizada por estos autores, se podría decir que la coordinación jerárquica o vertical es análoga a la integración temporal mientras que la coordinación horizontal es análoga a la integración espacial.

2.2.4.1 Integración Temporal

Como se ha apuntado anteriormente, la integración temporal hace referencia a la integración entre los diferentes niveles de gestión. Se trataría pues de abordar cómo se conectan los Niveles Táctico y Operativo. (Figura 2-5).

Tradicionalmente en la literatura se presentan dos enfoques claramente diferenciados (Grossman, 2005):

- Planificación simultánea de los niveles
- Planificación jerárquica de la producción

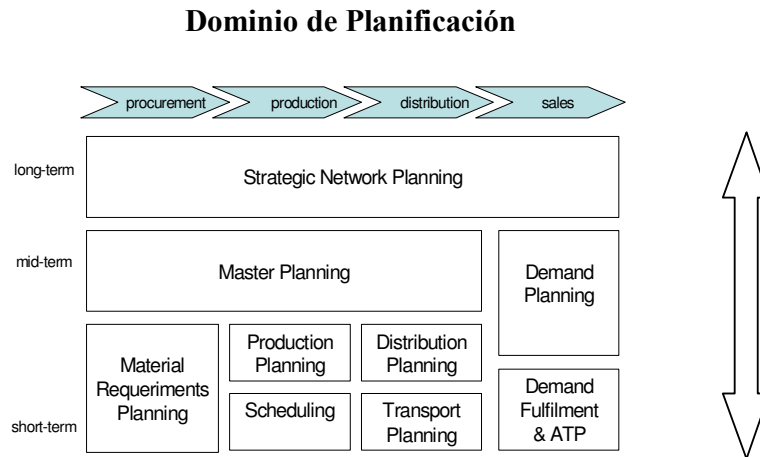


Figura 2-5. Integración Temporal de un Dominio de Planificación

2.2.4.1.1 Planificación Simultánea de los Niveles

La Planificación simultánea de los Niveles se abordaría mediante la consideración de un único Modelo “Monolítico”, de manera que se pueda “elevar” el Modelo Operativo (Programación) al Modelo Táctico (propriadamente Planificación). El problema sería la complejidad de dicho Modelo, ya que entre otras cosas, se trataría de un Modelo definido sobre un Horizonte muy extenso y además con multitud de Períodos de Planificación (por ejemplo Períodos de un día).

Se han propuesto potentes Modelos de Optimización que hacen uso de la programación matemática (Dzielinski y otros, 1963; Dzielinski y Gomory, 1965; Lasdon y Tertunj, 1971; Manne, 1958).

Las principales desventajas que presentan estos modelos son: dificultad de interpretación y resolución, gran necesidad de datos (muchos de ellos con una gran incertidumbre asociada), elevado esfuerzo de actualización de los mismos y no consideración de la estructura organizativa de la empresa. La Planificación Jerárquica de la Producción (PJP) nace como una visión alternativa para resolver estas dificultades de implementación.

2.2.4.1.2 Planificación Jerárquica de la Producción

La PJP divide el problema de planificación en varios subproblemas de menor tamaño y, por tanto, normalmente, de más fácil solución. Cada subproblema es diseñado y asignado coherentemente a un determinado nivel de decisión de la estructura organizacional.

A un nivel de planificación más elevado le corresponde un estado de la información referente a productos, recursos y tiempo más agregado (información que se genera a través de la agregación de la información detallada al nivel de planta).

Posteriormente, los resultados obtenidos por un determinado nivel son transferidos al siguiente, llevándose a cabo el denominado proceso de desagregación. La solución del nivel más bajo, es decir, el plan de producción detallado, es la que se implementa en la planta. El nivel de planta proporciona información a los niveles de decisión superiores sobre el estado actual del sistema, que la utilizan para actualizar algunos de los parámetros del modelo, como por ejemplo, los niveles de inventario.

La visión de PJP no constituye un concepto nuevo, sino que, por el contrario, esta visión ha suscitado un gran interés desde hace tiempo, como puede comprobarse en los trabajos realizados por Holt y otros (1960) y Winters (1962). A continuación se describen y se reflexiona sobre algunos de los aspectos más relevantes de la visión PJP.

2.2.4.1.2.1 El enfoque jerárquico frente al enfoque monolítico

La visión monolítica, claramente nunca podría funcionar por razones de complejidad matemática. Pero independientemente del poder de solución de los procedimientos y los métodos de investigación operativa, tal visión no sería útil de ningunas de las maneras por las siguientes razones (Fleischmann y Meyr, 2003):

- Cuanto más largo es el horizonte de planificación, más alto el grado de incertidumbre. Por tanto, los modelos operativos se pueden aproximar a la realidad bastante más que lo que lo hacen los modelos estratégicos. Los análisis del tipo “que pasaría si...”, y los escenarios de riesgo sólo juegan un papel predominante en la planificación estratégica.
- Los horizontes de planificación de diferentes longitudes también implican diferentes frecuencias de planificación. Mientras que las decisiones estratégicas deben realizarse sólo una vez, o deben hacerse cada estación, la planificación operacional a corto plazo itera cada semana o incluso diariamente.
- Las tareas de planificación de diferentes niveles de planificación necesitan diferente grado de agregación en términos de:
 - tiempo (p.e., cada hora, diariamente, semanalmente, mensualmente o incluso con cubos de tiempo anuales).
 - lugar (p.e.; cliente individual, código zip, país, región de venta).
 - productos (p.e.; componentes, producto final, familias).

- recursos (p.e.; máquinas individuales, grupos de máquinas alternativas, la planta como un todo).

Una decisión estratégica que comprende un horizonte de planificación de varios años, no puede basarse en información con el mismo nivel de detalle que las decisiones operativas, al mismo tiempo que no es posible disponer de tal información detallada.

- Las decisiones tienen diferente importancia. Por tanto, deben tomarse por diferentes decisores con mayor o menor responsabilidad e influencia. En general, se pueden decir que cuanto mayor es el tiempo que transcurre para observar el impacto de una decisión, mayor suele ser el rango de su decisor en la jerarquía organizativa al mismo tiempo que es más probable que se lleve a cabo por una unidad central en lugar de por una unidad descentralizada.

Los puntos anteriores constituyen razones que fuerzan a abordar el problema de planificación de la RdS/D con un enfoque jerárquico.

A continuación pasan a enumerarse las principales ventajas que se pueden esperar a la hora de desarrollar la visión jerárquica (Alemany, 2003):

- Reducción de la complejidad. La primera categoría considera los costes de recolección de datos necesaria para construir el modelo, así como los costes de procesamiento del mismo. Incluso aun cuando el coste de computación no decreciese considerablemente, la globalización de los artículos puede reducir sensiblemente el coste y el esfuerzo de la previsión de la demanda y de la preparación de los datos.
- Precisión de los datos: A menos que todos los artículos estén perfectamente correlacionados, una previsión global de la demanda tiene una variabilidad reducida. Además, es posible utilizar técnicas más sofisticadas de previsión y emplear más tiempo solicitando el juicio o la opinión de la Dirección, dado el menor número de previsiones necesarias. Como sea que muchas de las decisiones sobre el dimensionado de la capacidad se basan en las cantidades de producción total, una mayor precisión en la previsión de la demanda global ha de mejorar forzosamente el proceso de la toma de decisiones.
- Mejor tratamiento de la incertidumbre. En la visión monolítica, la modificación de cualquiera de los parámetros del sistema debido a perturbaciones tanto externas como internas requiere una resolución completa del problema. En contraposición, la visión jerárquica absorbe gradualmente los eventos aleatorios sin la necesidad de resolver todos los problemas de optimización cada vez que se produce un cambio, especialmente aquellos que se encuentran en niveles superiores. Los niveles de decisión superiores no necesitan

considerar la información detallada de manera explícita, razón por la cual la aleatoriedad en ellos es normalmente menor que la del sistema detallado objeto de estudio. Lo anterior se traduce en grandes ahorros computacionales y una gran estabilidad sobre el control global. Podría concluirse diciendo que la formulación jerárquica permite la absorción de los eventos aleatorios con un esfuerzo computacional proporcional al impacto de los mismos.

- Paralelismo entre la jerarquía de planificación y de gestión. Se observa como a distintos niveles jerárquicos le corresponden decisiones diferentes. La explícita consideración de la relación entre la jerarquía de planificación y de gestión resulta en una mejor organización y gestión del personal y en una clara demarcación de responsabilidades en el sistema de fabricación.
- Consideración de diferentes objetivos en cada nivel de gestión. En la práctica industrial, cada nivel de la jerarquía de gestión persigue unos objetivos relevantes propios. Por ejemplo, es común considerar los costes de despido/contratación en un nivel de planificación a largo plazo y los costes de preparación de las máquinas en el nivel de programación. Los objetivos del nivel superior tienen un impacto mayor sobre la solución del nivel inferior. El marco jerárquico permite la utilización de diferentes objetivos en diferentes niveles de la jerarquía.

Sin embargo, a la hora de aplicar la filosofía jerárquica para abordar un problema conviene conocer las limitaciones u obstáculos que han hecho que el enfoque jerárquico se haya aplicado en menor medida de lo que cabría esperar (Vicens y otros, 2001):

- Cada modelo y/o método es dependiente de la situación; es decir, sólo válido para un rango limitado de situaciones de planificación. Por tanto, la identificación del modelo y/o método más apropiado a utilizar puede convertirse en un problema para los planificadores por que además estos no suelen ser transferibles directamente a otras situaciones (Stockon y Quinn, 1995).
- Dificultades intrínsecas de los modelos cuantitativos: Los procedimientos matemáticos utilizados por los métodos existentes son tan difíciles de entender por parte de los directivos que éstos son reacios a aplicarlos.
- Los modelos normalmente requieren tipos de datos específicos que son difíciles de recoger y cuantificar.
- La solución secuencial de una jerarquía de subproblemas podría conducir a la suboptimalidad, la inconsistencia o incluso la infactibilidad si se ignora la íntima manera

en la que los subproblemas están relacionados. Los problemas de infactibilidad y suboptimalidad vienen dados principalmente por: la descomposición del problema global en subproblemas, las interdependencias jerárquicas puras de arriba-abajo y las consecuencias de la toma de decisiones en base a información agregada. Aunque el problema de la suboptimalidad es importante, es obvio que el de la factibilidad todavía lo es más.

2.2.4.1.2.2 Características generales de los modelos PJP

La mayoría de las jerarquías propuestas en el ámbito de la Gestión pueden considerarse como jerarquías multicapa. Entre ellas se encuentra la Planificación Jerárquica de la Producción (PJP). Si bien es cierto que cada aplicación y desarrollo de la visión de PJP tiene una serie de características diferenciadoras entre sí, también existen una serie de características comunes que describen la filosofía de PJP (McKay y otros, 1995):

- Cada nivel N (nivel superior) tiene una función propia, y como resultado genera una decisión. Esta decisión se transmite al nivel N-1 (nivel inmediatamente inferior al nivel N).
- El nivel N-1 está restringido o influenciado por el nivel N.
- El nivel N-1 abarca un horizonte temporal igual o más corto que el nivel N, y utiliza una información igual o más detallada para tomar sus decisiones.
- Siempre que el nivel N se activa o ejecuta, los niveles inferiores se activan secuencialmente, de manera que, las decisiones del nivel superior queden reflejadas.
- Siempre que un nivel de decisión se activa, obtiene información actualizada relacionada con sus variables de decisión.
- Cada nivel tiene partes fijas del problema de decisión que no puede modificar (restricciones) y otros aspectos que sí puede manipular (decisiones).
- Normalmente, el nivel N-1 proporciona realimentación al nivel N como un indicador de los resultados de las decisiones sobre el nivel inferior y un indicador de la calidad de las decisiones tomadas.

2.2.4.1.2.3 Tipos de Jerarquías

Existen diferentes tipos de jerarquías. En la presente Tesis se analiza la visión de dos autores, como son Mesarovic y otros (1970) y Schneeweiss (1999).

En Mesarovic y otros (1970) y posteriormente en Nagi (1991) se identifican tres tipos de sistemas jerárquicos que, en esencia, representan una clasificación de los sistemas jerárquicos existentes. Estas tres grandes categorías son

1. Jerarquías descriptivas
2. Jerarquías multicapa
3. Jerarquías multinivel

Las **jerarquías descriptivas** se utilizan para llevar a cabo una descripción detallada y completa de los sistemas complejos, al tiempo que se conserva una cierta simplicidad en la descripción y aspectos del comportamiento. La descripción del sistema se realiza a través de una familia de modelos que se encuentran relacionados con el comportamiento del sistema visto desde diferentes niveles de abstracción. Los modelos deben ser independientes en el funcionamiento para una efectiva descripción del “sistema estratificado”.

Cada nivel de abstracción recibe el nombre de estrato, de manera que cada estrato en la jerarquía tiene asociado un conjunto diferente de variables relevantes. La comprensión sobre el sistema crece a medida que se atraviesan los estratos: un movimiento descendente en la jerarquía se traduce en una explicación más detallada del sistema, mientras que uno ascendente, proporciona una comprensión más profunda de su significado. Los estratos inferiores se centran en la operación de los subniveles, dejando el estudio de las interrelaciones a los estratos superiores. Aunque la selección de los estratos utilizados para describir el sistema depende del observador y de su conocimiento e interés en la operación del mismo, en muchos sistemas parecen existir estratos intrínsecos.

Este tipo de jerarquías se utiliza principalmente como una mera herramienta descriptiva de los sistemas y su comportamiento funcional detallado. Normalmente, no se usan como herramientas de ayuda a la toma de decisiones o de control, sino que sus aplicaciones se encuentran limitadas al modelado y descripción de sistemas.

En cuanto a las **jerarquías multicapa** también se las conocen con el nombre de jerarquías decisionales, dada su estrecha relación con el complejo proceso de toma de decisiones. Durante este proceso es necesario, por un lado, tomar una decisión a tiempo mientras que, por otro lado, existe la misma necesidad o incluso una mayor de comprender completamente la situación y mantener una cierta perspectiva de las consecuencias y las relaciones de las acciones tomadas. Las jerarquías multicapa se proponen como una herramienta para abordar las anteriores necesidades. Así, se define una familia de problemas de decisión cuya solución se lleva a cabo de una manera secuencial: la solución de cualquier problema en la secuencia determina y fija algunos parámetros en el nivel siguiente, de manera que, el

último nivel esté completamente especificado y su solución pueda llevarse a cabo. La solución del problema original se obtiene cuando todos los subproblemas han sido resueltos.

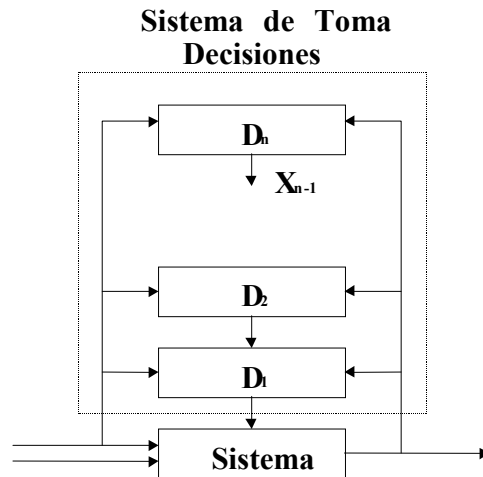


Figura 2-6. Jerarquía Multicapa de un Sistema de Toma de Decisiones (Mesarovic y otros, 1970)

Las jerarquías multicapa están constituidas por unidades decisionales (Figura 2-6) cuyas salidas representan una solución o la consecuencia de una solución hallada basándose en la información del sistema y en una serie de parámetros fijados por el valor de la solución de otra unidad decisional por encima de la anterior. La salida de una determinada unidad decisional o bien parte de la misma, forma parte de la entrada de otra unidad decisional por debajo de ella.

Finalmente, las **jerarquías multinivel**, también conocidas como jerarquías organizacionales, presentan las siguientes características:

- El sistema se compone de una familia de subsistemas entre los que existe una interacción reconocida explícitamente.
- Algunos de los subsistemas se definen como unidades decisionales.
- Las unidades decisionales se disponen de manera jerárquica, en el sentido de que algunas de ellas se encuentran influenciadas o controladas por otras unidades decisionales

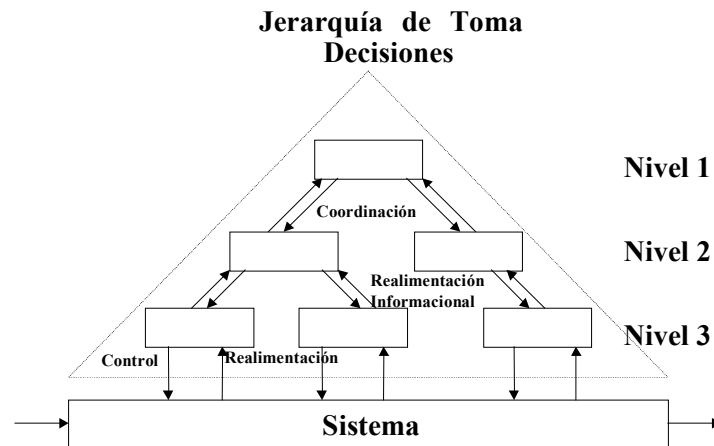


Figura 2-7. Jerarquía organizacional multinivel (Mesarovic y otros, 1970)

El diseño de estos sistemas se realiza a través de una descomposición del sistema global en diferentes unidades decisionales, las cuales se disponen en varios niveles. A cada unidad decisional se le asigna un subproblema de toma de decisiones, de forma que cada unidad establece sus decisiones con independencia de las de las demás unidades del mismo nivel, pero a través de la coordinación de una unidad superior. La coordinación está relacionada con la existencia de un control supremo bajo el que las unidades decisionales deben resolver sus problemas locales. La consistencia se convierte en un aspecto extremadamente importante, de manera que, siempre que las unidades supremas e ínfimas puedan resolver sus problemas, existirá una solución global. La relación suprema-ínfima existe entre cualesquiera dos niveles consecutivos de la jerarquía (Figura 2-7).

Por otro lado, Schneeweiss (1999) distingue básicamente entre dos clases de jerarquías:

1. Jerarquías constructivas
2. Jerarquías organizacionales

Las **jerarquías constructivas** descomponen el sistema complejo en subsistemas simplificados sólo por razones de complejidad, por ejemplo, no existen métodos de solución para resolver el modelo monolítico del sistema complejo en un solo paso. La decisión debe ser tomada por un único decisor (que posee toda la información, simétrica) en un instante específico de tiempo.

Las **Jerarquías organizacionales** están caracterizadas, en contraposición a las jerarquías constructivas, por un estado de la información asimétrico. Se distinguen los siguientes tipos:

- “Decision time hierarchy”: bien una misma persona decide sobre el nivel superior e inferior en distintos instantes de tiempo (por ejemplo, en primer lugar se lleva a cabo una

decisión a medio plazo mientras que posteriormente se lleva a cabo una decisión a corto plazo).

- “Leadership hierarchy”: cuando existen implicadas en el proceso varias personas a diferentes niveles de planificación que disponen de diferente estado de información (incluso en el mismo instante de tiempo). Por ejemplo, una unidad de planificación central y algunos representantes de las plantas (descentralizadas) tienen que acordar una decisión a medio plazo.

2.2.4.2 Integración Espacial

Cuando en un Dominio de Planificación toma decisiones en un Nivel de Decisión específico (Táctico u Operativo en nuestro caso), es frecuente intentar “conectarlo” con el resto de Dominios de Planificación de la RdS/D, al menos con los situados inmediatamente “aguas arriba” o “aguas abajo”. (Equi y otros, 1997; Erengüc y otros, 1999).

Se estaría, ahora sí, hablando propiamente del concepto de Planificación Colaborativa, dando lugar al concepto de Integración Espacial en cierto Nivel (Temporal) de Decisión ³.

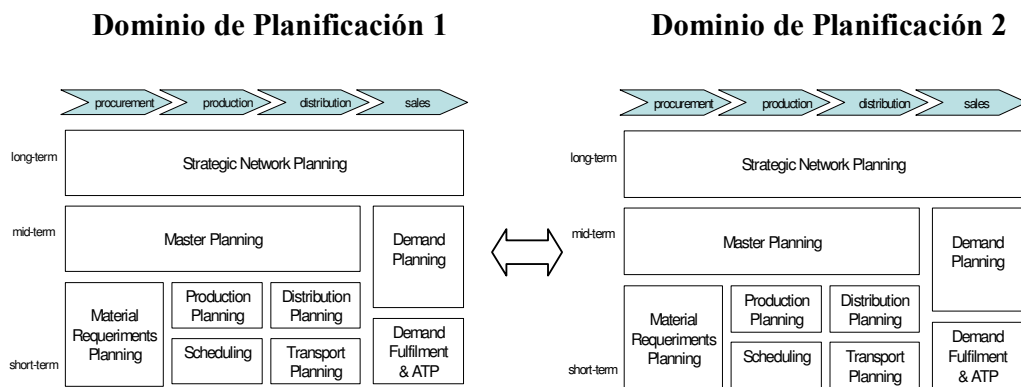


Figura 2-8. Integración Espacial entre dos Dominios de Planificación.

Por ejemplo, ¿cómo conectar, en el caso más sencillo, un nivel correspondiente a un Dominio de Planificación 1 con el mismo nivel correspondiente a un Dominio de Planificación 2? (Figura 2-8).

En este caso es necesario distinguir entre los contextos Centralizados y los Descentralizados.

³ Más adelante se abordará el tema en el que se considere simultáneamente la Integración Temporal y la Espacial, aunque no existen demasiadas referencias en la Bibliografía sobre este caso.

2.2.4.2.1 Contexto de Centralización

En el caso Centralizado existiría normalmente un Planificador Central (el Dominio de Planificación líder de la RdS/D, por ejemplo) que “centralizaría” toda la información relevante y determinaría, a ser posible, un Plan Maestro conjunto óptimo.

Shapiro (1999) denomina a este proceso “Tactical Optimizacion Modeling” (de nuevo se incide en la centralización en el Nivel Táctico de los Dominios de la RdS/D). La idea es tener un solo modelo que involucre dos o más Niveles, en este caso no Temporales, sino Niveles que surgirían como consecuencia de las interacciones entre los diferentes Dominios de Planificación. El problema sería, al igual que en caso de Integración Temporal, la complejidad y extensión de dicho Modelo.

Respecto de los Métodos utilizados, debido a la gran cantidad de variables (continuas, enteras y binarias) y datos manejados, la complejidad de los modelos monolíticos resultantes es muchas veces inabordable, por lo que se utilizan técnicas heurísticas y metaheurísticas para proponer soluciones factibles satisfactorias en tiempos de computación razonablemente cortos.

También y cada vez más, para el caso anterior, se procede a Técnicas de Descomposición de diversa índole basadas en Jerarquías Constructivas (Schneeweiss, 1999). Las Jerarquías Constructivas se caracterizan principalmente por la Simetría del Estado de Información que utilizan los diferentes Niveles para tomar sus decisiones. Es decir, sólo existe un Decisor para todos los Niveles de la Jerarquía que tiene que tomar sus decisiones en un instante específico de tiempo, utilizando la información disponible en ese momento. Por tanto, la Jerarquía se define fundamentalmente a través de diferentes objetivos y decisiones asignados a los distintos Niveles.

Se puede citar, por ejemplo, la “Descomposición de Lagrange” (Graves, 1982) en la que se trataría de intentar crear a partir del Modelo Monolítico inicial tantos submodelos como Niveles (Dominios de Planificación), para lo que habría que “dualizar” las restricciones que interconectarán cada uno de los mismos, de manera que estos pudieran ser resueltos independientemente al estar ya desacoplados (se trataría pues de Modelos Multiperíodo de menor complejidad).

2.2.4.2.2 Contexto de Descentralización

El caso Descentralizado (incluso a nivel Táctico o de Plan Maestro de la RdS/D) es muy frecuente en muchas RdS/D formada por varios Dominios de Planificación con más o menos independencia o autonomía, que no se facilitan toda la información local disponible (por ejemplo capacidades productivas), y que a menudo, tienen criterios de decisión independientes (Schneeweiss, 2003b). Se podría afirmar que la mayoría de casos reales que afectan a la Planificación Colaborativa son de este tipo (Poundarikapuram y Veeramani, 2004)

En este contexto de Descentralización también tiene sentido la Integración, aunque más bien se trataría de una “coordinación” (Shapiro, 2004). Para ello se necesitan procedimientos de coordinación que tengan lugar en este marco de más o menos autonomía entre los diferentes Dominios de Planificación.

En esta coordinación, se podrá colaborar en menor o mayor medida, normalmente si las partes entienden que coordinarse les va a reportar más beneficios que actuar de forma totalmente independiente.

Todo lo anterior hace que no se hable de Modelos Monolíticos, porque mucha de la información es privada, o por ejemplo el status de la información no es el mismo en cada Dominio de Planificación en el momento de tomar las decisiones (Información Asimétrica).

Es por ello que no existe la figura de un Dominio de Planificación (DP) que haga la función de “Planificador Central”, sino que es a menudo uno de ellos el que inicializa el proceso de “coordinación”, de manera que al cabo de una o varias negociaciones se llega, en su caso, a un acuerdo.

En este contexto puede aparecer de nuevo el concepto de jerarquía en el que uno de los DPs asuma la función de liderazgo. De nuevo aparece el concepto de Jerarquía, en el que existiría un Nivel Superior (DP1 que comienza el proceso) y un Nivel Inferior (DP2 que a partir del “Plan 1” recibido del DP1 formularía su propio Plan 2, o bien negociaría con el DP1 una nueva propuesta⁴ (Schneeweiss y Zimmer, 2004)).

Como antes, se podría generalizar para el caso de “n” DPs, aunque la mayoría de la literatura se basa en el caso en el que existen sólo dos.

2.2.4.2.3 Toma de decisiones distribuida en la gestión de RdS/D

Muy relacionado con la centralización y descentralización de la toma de decisiones está el concepto de toma de decisiones distribuida. A continuación se expone el marco genérico desarrollado por Schneeweiss (2003a) para la toma de decisiones distribuida. Según este autor, una RdS/D podría caracterizarse como una red logística de decisores parcialmente autónomos. Diferentes segmentos de esas redes se comunicarían con los restantes a través de flujos de material y de información, siendo controlados y coordinados por las actividades de la gestión de la RdS/D.

Obviamente, como en este proceso se encuentra implicado más de un decisor nos encontramos una situación típica de toma de decisiones distribuida (Distributed Decision Making o DDM). De hecho, la DDM tiene que ver con la segregación de problemas decisionales complejos (a menudo multipersonas) en

⁴ Normalmente para que en ese proceso de interacción conjunto, se alcance el mayor beneficio total, de manera que al final (en el reparto) salgan beneficiadas cada una de las partes, más que si lo hicieran de forma totalmente independiente.

subsistemas más manejables para posteriormente coordinar dichos subsistemas de acuerdo a alguna función global o en busca de alguna condición de equilibrio.

En términos abstractos se puede decir que los problemas DDM surgen a causa de dos razones:

1. La característica multinivel del diseño de decisiones (integración temporal)
2. Los problemas de coordinación dentro de la red (integración espacial)

En Schneeweiss (2003a) se expone que en cualquier actividad compleja de gestión se puede diferenciar entre el nivel estratégico, táctico y operativo:

- El nivel estratégico se ocupa principalmente de diseñar la RdS/D. Esta tarea implica los problemas relativos al diseño de los productos y la selección a largo plazo de posibles proveedores y clientes.
- El nivel táctico se interesa principalmente en las inversiones a largo y corto plazo y en el diseño de los lugares de mercado.
- En el nivel operacional se distingue entre un medio y un corto plazo.
 - Para el medio plazo (de 1 a 2 años) se tiene el bien conocido problema de planificación de la RdS/D determinando las cantidades de producción a medio plazo y la adaptación de las capacidades.
 - Para el corto plazo el flujo actual de material e información se programa siendo necesario diseñar las acciones concretas.

Claramente, entre y dentro de los anteriores niveles se pueden presentar problemas DDM de diferente índole (Schneeweiss, 2003a).

2.2.4.2.3.1 Clasificación de los sistemas DDM

Una clasificación de los sistemas DDM se podría realizar según (Schneeweiss, 1999, 2003a, 2003b):

- el número de decisores implicados
- la simetría o asimetría de la información
- el carácter de equipo o no equipo
- el número de decisores que se encuentran en comunicación.

La Figura 2-9 proporciona tal clasificación:

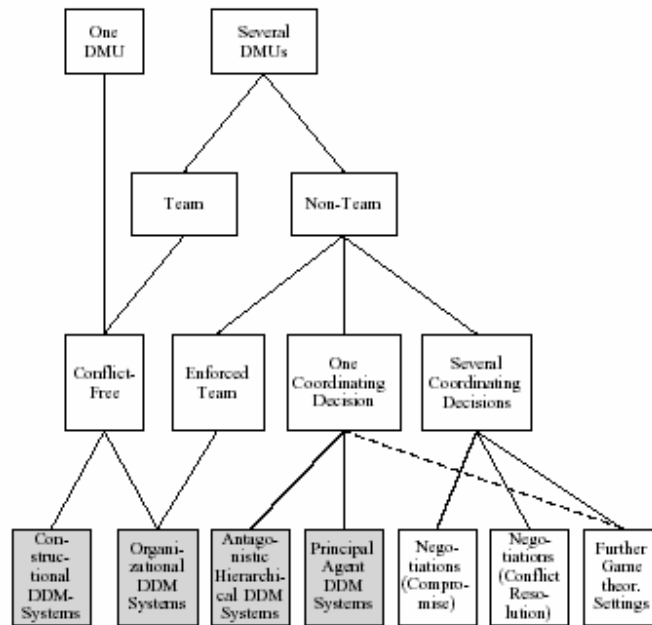


Figura 2-9. Clasificación de los sistemas DDM (Scheneweiss, 2003a)

Los sistemas DDM pueden dividirse entre aquellos que implican sólo a una unidad decisional (DMU) y aquellos con más de una DMU. La primera parte, por definición, conduce a situaciones libres de conflicto. Sin embargo, para el segundo caso es necesario distinguir entre situaciones decisionales basadas en el equipo y las que no lo están.

Independientemente de los aspectos comunicativos, los sistemas DDM basados en el equipo son como los sistemas con una única DMU y ambos se detonan como problemas DDM libres de conflictos (advértase que el término conflicto se utiliza para caracterizar un desacuerdo interpersonal).

Para los sistemas DDM no basados en el equipo, las DMUs persiguen metas competitivas de manera egocéntrica. Esto es típico en la teoría de juegos y, en particular, para los contratos de mercados en oligopolio y para la teoría de agentes principales (Principal Agent: PA). Para este último caso, los aspectos de teoría de la comunicación juegan un papel muy importante. Los niveles poseen información privada y se comportan de manera oportunista alcanzándose un compromiso al precio de los incentivos ofrecidos.

Como un caso límite se pueden considerar los “Enforced Teams”. En este caso existe un conflicto entre los niveles, pero el nivel superior tiene el poder, de manera que, sin ofrecer incentivos sus instrucciones representan una obligación para el nivel inferior.

Todos los casos considerados hasta ahora (cajas sombreadas) describen situaciones en las que sólo existe una coordinación de decisiones. Los problemas DDM con más de una coordinación decisional

pueden clasificarse como negociaciones. Aquí de nuevo se puede diferenciar entre negociaciones que llevan a un compromiso y aquellas que resultan en la resolución de un conflicto. En el caso de existir un compromiso, los niveles consideran el resultado como la mejor solución alcanzable sin cambiar sus preferencias. En el caso de resolución, al menos uno de los niveles cambió sus objetivos.

Los sistemas DDM jerárquicos antagonistas se caracterizan por ser sistemas DDM de socios que se encuentran informados simétricamente pero que no forman un equipo.

2.2.4.2.3.2 *Coordinación dentro de un sistema DDM con dos niveles*

Tradicionalmente las relaciones entre los subsistemas integrantes de una jerarquía se han reducido a interdependencias puras de arriba-abajo. Sin embargo, esta manera de proceder, tal y como se comentó en anteriores apartados, puede ocasionar problemas de factibilidad y suboptimalidad. Si bien es cierto que en muchas ocasiones las interdependencias de estos subsistemas no son simétricas, una clasificación realista de estas interdependencias no incluye meramente relaciones de arriba-abajo. Se pueden distinguir (Figura 2-10) tres clases de interdependencias jerárquicas:

- **Anticipación.** En una primera etapa, para encontrar una decisión factible, el nivel superior considera las características relevantes del nivel inferior. Estas características se denominan nivel inferior anticipado. Elegir un nivel base anticipado y considerar su impacto sobre el nivel de decisión superior se denomina anticipación. La anticipación puede considerarse como una influencia de abajo-arriba del nivel inferior sobre el nivel superior. La anticipación constituye uno de los principales conceptos para describir el fenómeno jerárquico.
- **Instrucción.** Una vez anticipado el nivel inferior el nivel superior toma una decisión que influye al nivel inferior o base. A esta decisión se denomina instrucción. En nuestro caso, la instrucción podría ser el Plan de Suministros que el Nivel Inferior debería cumplir. Generalmente, la instrucción puede considerarse como una influencia de arriba-abajo, del nivel superior sobre el nivel inferior.
- **Reacción.** En caso de que el nivel inferior se encuentre en situación de reaccionar sobre las instrucciones realizadas por el nivel superior, a esta influencia de abajo-arriba se le denomina reacción. De hecho, una reacción puede considerarse como una influencia de retroalimentación en contraposición a la anticipación.

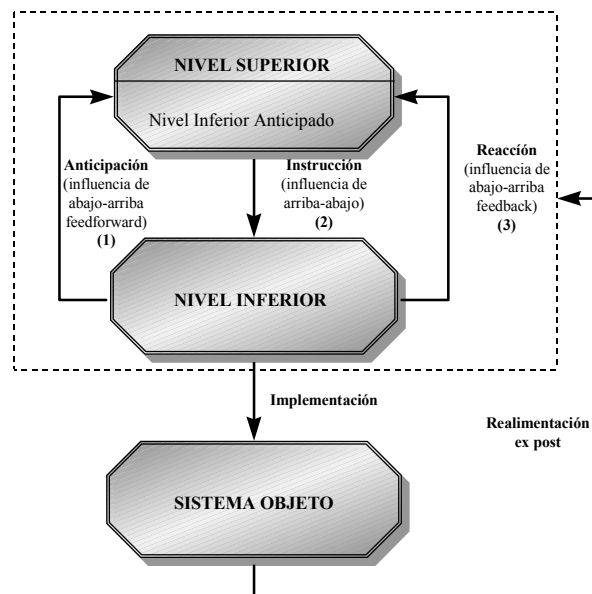


Figura 2-10. Interdependencias entre los niveles jerárquicos

El marco general de la Figura 2-11 (Schneweiss, 1999) muestra las posibles interrelaciones entre el nivel superior e inferior de manera más detallada. El nivel superior (1) toma una decisión por medio de (en su opinión óptima) instrucción $IN^*(6)$ la cual se transmite al nivel inferior (7). El nivel inferior podría reaccionar (8) a esta instrucción, por ejemplo, en caso de existir problemas o suboptimalidades, para, de esta manera, la replanificación del nivel superior se active. Después de varios ciclos una decisión final se implementa en el mundo real $IN^{**}(9)$ causando ciertas consecuencias en el sistema objeto (10) que podrían influenciar la siguiente decisión del nivel superior (ex post feedback (11)) porque sólo puede observarse una vez haya sido implementada la decisión.

Para acortar el ciclo de planificación (1), (6), (7), (8) y para lograr una mayor integración entre ambos niveles de planificación, el nivel superior podría intentar anticipar el comportamiento del nivel inferior a través de un modelo base anticipado (4). Por tanto, el nivel superior (1) intentaría estimar y simular este ciclo de planificación por adelantado a través de su propio modelo del nivel superior (2) y del modelo base anticipado (4) y las instrucciones y reacciones anticipadas (3 y 5).

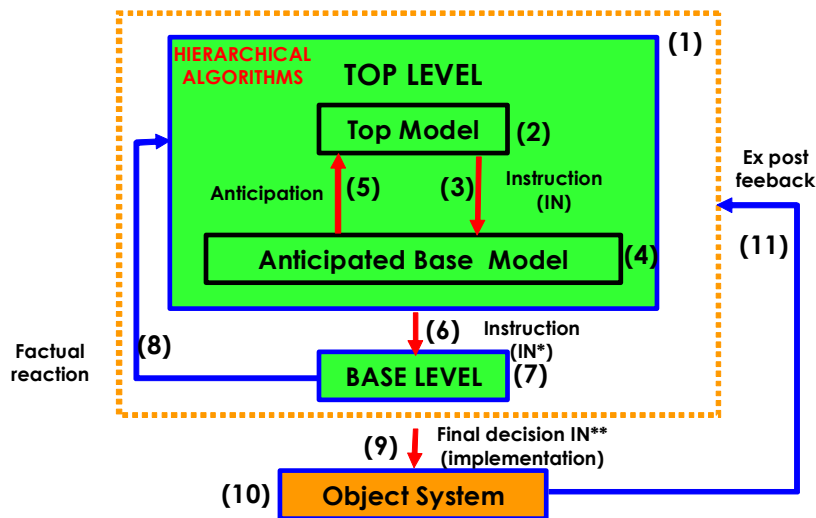


Figura 2-11. Detalle de las interdependencias jerárquicas (Schneweiss, 1999)

La función de anticipación representa un papel clave a la hora de diseñar una Jerarquía determinada, de manera que se puede establecer una clasificación de los Mecanismos de Coordinación Jerárquica en función del grado de Anticipación existente en ellas⁵.

Se puede distinguir principalmente entre anticipación reactiva y anticipación no reactiva.

- Anticipación Reactiva: considera una posible reacción del Nivel Inferior con respecto a las instrucciones del Nivel Superior. Dentro de ésta se puede distinguir entre:
 - Anticipación Reactiva Explícita Exacta. El nivel superior anticipa exactamente al nivel inferior, es decir, considera exactamente el procedimiento de optimización que va a seguir el Nivel Inferior. La Anticipación es explícita porque anticipa el comportamiento actual del nivel inferior y es exacta porque la información conocida por el Nivel Superior se procesa exactamente.
 - Anticipación Reactiva Explícita Aproximada. La función de Anticipación se calcula únicamente de manera aproximada. En particular, podría resultar de una insuficiente estimación de las características del modelo del nivel inferior (por ejemplo, una estimación aproximada de la capacidad productiva en los próximos Períodos del Horizonte de Planificación).

⁵ De hecho la "calidad" de dicha función de Anticipación dependerá muchas veces del grado de Colaboración que los diferentes DP's están dispuestos a tener, sobre todo en lo que se refiere a la visibilidad y fiabilidad de su información.

- Anticipación Reactiva Implícita. En este caso, la Anticipación sólo considera parte del Nivel Inferior. Todavía existe alguna función de Anticipación, pero que únicamente describe algunas características de una posible reacción del Nivel Inferior.
- Anticipación No-Reactiva. No existe una función de anticipación como tal. En su lugar, sólo se consideran algunas de las características del nivel inferior. Estas características, sin embargo, no dependen de ninguna instrucción particular. Estaríamos ante lo que se conoce como DDM puros de arriba abajo, como se verá más adelante.

Obviamente, los cuatro tipos de Anticipación descritos anteriormente, sólo representan una manera de clasificar los tipos de anticipación, aunque en la realidad se podrían encontrar numerosos ejemplos de anticipaciones intermedias. Además, normalmente, cada tipo consiste en una variedad de subtipos particulares.

2.2.4.2.3.3 *Mecanismos de coordinación más relevantes*

Según Schneeweiss (2003a), los tres casos de mayor importancia a la hora de coordinar RDS/D son:

1. Los sistemas DDM puros de arriba a abajo
2. Los sistemas DDM tácticos-operativos
3. Los sistemas DDM coordinados

Los sistemas DDM puros de arriba-abajo se tratarían del caso típico que se encuentra a menudo en los sistemas de Planificación y Control de la Producción tradicionales en el que se coordina un nivel agregado con otro más detallado. El nivel superior simplemente establece el marco dentro del que el nivel inferior debe decidir. Análogamente, en el caso de aliados dentro de la RdS/D, el sistema puro de arriba-abajo describe un relación de liderazgo sin ningún tipo de anticipación reactiva, es decir, el nivel superior no considera explícitamente ninguna posible reacción a su instrucción.

Los sistemas DDM táctico-operativos se tratarían de sistemas utilizados a menudo para describir una situación en la RdS/D. Se describe un equipo y el criterio del nivel superior evalúa la RdS/D completa.

Finalmente, los sistemas DDM coordinados se tratarían de sistemas en los que no existe asimetría de la información y por tanto, no se puede esperar un comportamiento oportunista. En contraposición a los sistemas DDM tácticos-operativos no existe una optimización global de la RdS/D, sino simplemente una coordinación lograda a través de un contrato.

2.2.4.2.3.4 *Naturaleza de los problemas DDM*

A continuación se van a caracterizar los problemas DDM en RdS/D (Schneeweiss, 2003a) según grado de conectividad decreciente, empezando con los aliados más estrechamente relacionados para acabar con las unidades decisionales débilmente coordinadas (Figura 2-12).

- Los problemas DDM constructivos: estos problemas caracterizados por su carácter de equipo y el estado de información simétrico son típicos de las clásicas situaciones de logística. La mayor parte del software moderno es de este tipo, es decir, se tiene una situación en la que una única compañía es capaz de intercambiar todos los datos relevantes. Se trata de un problema de decisión complejo separado en subproblemas locales centralmente coordinados por una unidad central, que en principio, tiene acceso a toda la información.
- Los sistemas DDM organizacionales con estado de la información asimétrico débil: en este tipo de sistemas existe una conexión un poco más débil que es caracterizada por una situación de equipo y por un estado asimétrico de la información muy débil. Éste sería el típico caso de los sistemas tácticos-operativos. De nuevo esta situación se enmarcaría en la logística clásica.
- Los sistemas DDM organizacionales con estado de la información asimétrico fuerte: éste sería el caso de aliados que poseen algún tipo de información privada (definiendo un estado de información asimétrico estricto) pero que todavía forman un equipo. Por ejemplo, el nivel superior es capaz de lograr una coordinación de la RdS/D, dependiendo, desde luego, de las restricciones impuestas por el nivel base. Las partes buscan alcanzar sus propias metas pero se ayudan y no explotan su información privada de una manera oportunista.
- Los sistemas DDM coordinativos no antagonistas (con un comportamiento no oportunista): el siguiente paso consiste en considerar contratos de la RdS/D entre aliados que se encuentran informados simétricamente (formando un sistema DDM coordinativo) o bien que en caso de estar informados más asimétricamente se abstienen de comportarse de manera oportunista. Los aliados en este caso no están interesados en la optimización de la RdS/D sino simplemente en una coordinación centrada en los aliados, es decir, en un contrato que es el resultado de un equilibrio.
- Escenario PA: sería el caso de la coordinación de aliados informados asimétricamente que, en principio, están buscando una cooperación pero que se pueden comportar de manera oportunista. No existe una optimización de la RdS/D como un todo sino una optimización

de sus propios objetivos locales. Este es el típico caso de los sistemas PA en los que la coordinación se logra principalmente a través de incentivos basados en contratos contruidos principalmente para evitar un comportamiento no legal. Normalmente se utiliza para contratos a largo plazo o contratos a corto plazo que no parece vayan a repetirse.

- Los sistemas DDM competitivos: no se encuentran coordinados vía un contrato explícito pero se influyen unos a otros como aliados en un mercado de oligopolio competitivo. La coordinación sería tan estricta como un contrato formal.
- Las negociaciones ad-hoc y los intercambios de mercado: este tipo de situaciones no se encuentran gobernadas por un esquema de coordinación preescrito. En este caso cabe preguntarse si estos aliados pueden considerarse como pertenecientes a una RdS/D o más bien debería tratarse como el típico intercambio de mercado.

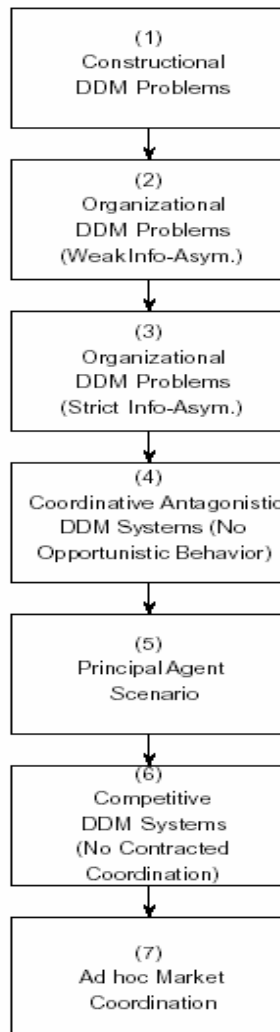


Figura 2-12. Grados de conectividad dentro de la Cadena de Suministro (Schneeweiss, 2003a)

2.3 Marcos Conceptuales para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D.

2.3.1 Introducción

En el presente apartado se realiza una revisión del Estado del Arte sobre Marcos Conceptuales para el modelado del proceso de Planificación de Operaciones en contextos Colaborativos, o lo que es lo mismo, para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa.

Como se ha dicho en el apartado anterior, numerosos trabajos ponen de manifiesto la importancia de la Gestión de las Cadenas y Redes de Suministro/Distribución en el panorama industrial, por lo que los

procesos, que tradicionalmente se han desarrollado a nivel de empresa única, deben adaptarse para ser diseñados y ejecutados por diferentes empresas, separadas y de diferentes características, pero que forman parte de una misma Cadena o Red de Suministro/Distribución.

Uno de los procesos fundamentales en este escenario es el de la Planificación de Operaciones, en contextos con menor o mayor grado de Colaboración.

Algunos trabajos de investigación han profundizado en este tema realizando distintas propuestas.

Erenguc y otros (1999), por ejemplo, establecen un marco de trabajo para el análisis de las Cadenas de Suministro desde una perspectiva operacional. Según estos autores, desde la perspectiva citada, hay dos características interesantes que considerar para tratar con las Cadenas de Suministro: la Red de la Cadena de Suministro y la naturaleza de las relaciones entre cada etapa de la Cadena.

En Schiegg y otros (2003) se presenta un Modelo de Referencia que supone un marco para las actividades de planificación en un contexto de Cadena de Suministro. Para estos autores, las actividades de la SCM pueden dividirse en tres niveles diferentes: configuración de la SCM, planificación y control.

En Stadtler y Kilger (2002) y Fleischmann y Meyr (2002) se realiza un análisis de las diversas tareas de planificación en la Cadena de Suministro a partir de la Matriz de Planificación de la Cadena de Suministro (SCP-Matrix, Supply Chain Planning Matrix). De este análisis se deriva una lista estructurada de los atributos relevantes en la función de planificación, a partir de la cual se pueden clasificar las Cadenas de Suministro (atributos funcionales y atributos estructurales).

Otros trabajos tratan de determinar las características del nivel operacional (o de operaciones) y las diferencias de éste con otro u otros niveles de gestión de la actividad en las Cadenas o Redes de Suministro/Distribución. En este sentido, Sabri y Beamon (2000) y Gnoni y otros (2003), establecen dos únicos niveles para la Gestión de la Cadena de Suministro: el estratégico y el operativo. En el nivel estratégico los objetivos son, principalmente, resolver problemas de localización de instalaciones (plantas y centros de distribución), optimizar el flujo de bienes a través de la Cadena de Suministro, desde el punto de vista de los costes, y asignar clientes a los centros de distribución. en el nivel operativo, los objetivos principales son determinar el stock de seguridad para cada producto y cada localización, el tamaño y frecuencia de los lotes de producto que se compran o se ensamblan, los tiempos de ciclo de los transportes de aprovisionamiento y de producción, y los niveles de servicio.

En Stadtler y Kilger (2002) y Fleischmann y Meyr (2002), sin embargo, se indica que la planificación en la Cadena de Suministro tiene lugar en tres niveles jerárquicos: estratégico o a largo plazo, donde normalmente se planifica el negocio y se diseña la red de suministros, táctico o a medio plazo, en el que normalmente se planifican las ventas y las operaciones y operativo o a corto plazo, donde se obtiene el programa maestro de producción y el programa de la planta.

Por otra parte, De Kok y Fransoo (2003) abordan detalladamente el problema de la SCOP (Supply Chain Operations Planning), tanto desde un punto de vista estocástico como determinista y describen las actividades de que consta la planificación en un contexto de Redes de Suministro/Distribución.

Precisamente, la importancia del proceso de Planificación de Operaciones en el contexto citado, justifica la necesidad de su modelado. La construcción de Modelos de dicho proceso facilitará su análisis, comprensión, adaptación, seguimiento y control, mejora, etc. En este sentido, Law y Kelton (1991) apuntan que hay dos grandes maneras de estudiar un sistema: experimentando con él o experimentar con un modelo de dicho sistema. La segunda forma presenta algunos inconvenientes pero hay una ventaja que resulta, en algunos casos, obviamente decisiva: no precisa paralizar o entorpecer el funcionamiento del sistema real.

La utilización de modelos en los distintos ámbitos de la actividad industrial permite y facilita el estudio, la comprensión y el análisis de dichos ámbitos. desde una perspectiva de gestión industrial, surge la necesidad de integrar todos los ámbitos para obtener una visión completa e integrada del sistema empresa, siendo en este caso necesarios modelos empresariales integrados, y por tanto menos útiles los modelos parciales de los distintos ámbitos de la empresa.

Según Vernadat (1996b), en un contexto de Integración Empresarial (IE), los modelos de empresa (o empresariales) pueden estar formados, entre otros, por los siguientes modelos (parciales):

- Modelo Informacional: que describe la estructura y relaciones entre los datos de la empresa, por ejemplo, un diagrama Entidad-Relación.
- Modelo Decisional: que sirve para soportar las decisiones que se llevan a cabo dentro de la empresa.
- Modelo de Organización (Organizacional): que representa la estructura organizacional de la empresa (por ejemplo, el organigrama).
- Modelo Económico: que sirve para evaluar el impacto económico de las actividades (por ejemplo, la cuenta de resultados).
- Modelo de producto: el cual se usa para representar la geometría u otros aspectos del producto (por ejemplo, planos de fabricación).
- Modelo de Recursos: que describe tanto las características de los recursos de la empresa como la disposición que éstos tienen dentro de la empresa (lay-out).
- Modelo de Actividad: que representa las acciones que se han de desarrollar en la empresa para ejecutar un trabajo.

En algunos casos, se utiliza el término “modelo funcional”, “visión de función” o “visión funcional” (ver, por ejemplo, la Arquitectura CIMOSA, Berio y Vernadat (1999); Berio y Vernadat (2001); Abdmouleh y otros (2004)) o incluso el de “modelo de proceso” para hacer referencia al modelo que representa las acciones o actividades que se llevan a cabo en la empresa (Berio y Vernadat, 1999). Teniendo en cuenta esta interpretación, una “función” puede considerarse una “actividad”, por lo que un modelo funcional sería un modelo que represente, recoja o asocie un conjunto de actividades. Por otra parte, un Proceso consta de un conjunto de actividades secuenciadas o realizadas en un determinado orden, por lo que un modelo de un proceso puede incluir a un modelo funcional, que sólo enumera actividades, pero no tiene porqué indicar la secuencia en que se realizan. Un modelo funcional puede por lo tanto, relacionar actividades desde un punto de vista diferente al orden en que se realizan, por ejemplo a partir de la información que comparten o por ser ejecutadas por el mismo recurso, o al mismo tiempo.

Algunos trabajos utilizan el término “funciones” para hacer alusión a las áreas o departamentos de la empresa, aunque se considera más acertada la interpretación anterior, en la que “función” se corresponde con “actividad”. A pesar de estos matices, en la presente Tesis, se entiende que los modelos de actividad, funcional y de procesos pueden considerarse como equivalentes.

La utilidad de modelos integrados o modelos de empresa parece obvia aunque, la dificultad que la elaboración de estos (Kosanke y otros, 1999b) entraña o bien conduce frecuentemente al manejo de modelos parciales o únicos, seleccionados en función de lo que se pretende modelar en cada caso, o de aquel aspecto o vista que adquiere mayor relevancia (Ong y otros, 2005). De la misma forma que, en ocasiones, por ser difícil tener una visión completa o global de un sistema, se recurre al estudio de sus subsistemas, la falta de una visión global de una empresa puede aliviarse mediante una visión parcial, bien de sus departamentos o de sus procesos, y la necesidad de un modelo global o integrado puede satisfacerse con modelos parciales o univisión (Figura 2-13).

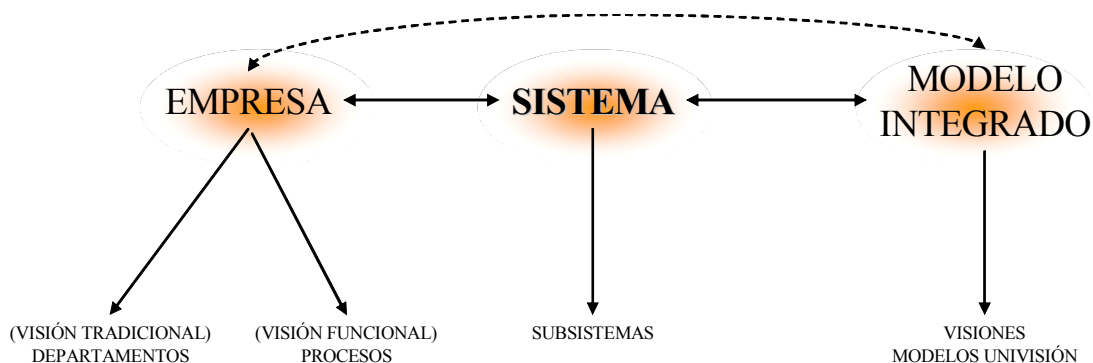


Figura 2-13. Relación entre empresa, sistema y modelo integrado (Alarcón, 2007)

En definitiva, se entiende que uno de los procesos fundamentales en un contexto de Gestión de Cadenas y/o Redes de Suministro es el de la Planificación de las Operaciones, y en particular aquél que se desarrolla en contextos colaborativos, cada vez más extendido entre las Empresas.

Para el diseño, estudio, análisis, comprensión, adaptación, seguimiento, control, mejora, etc. de dicho proceso es importante el modelado de dicho proceso.

Así pues, se consideran relevantes, y por consiguiente objeto de revisión aquellos trabajos que:

- aborden el modelado de procesos en general y, en concreto, el modelado del proceso de Planificación Colaborativa en el contexto descrito, así como las distintas vistas que se quieren considerar.
- aclaren o describan qué es y de qué se compone un Marco Conceptual.
- expliquen en qué consiste y de qué actividades está formado el proceso de Planificación Colaborativa en contextos de Redes de Suministro/Distribución.

2.3.2 Modelado Empresarial y de Procesos

Para Berio y Vernadat (2001), el modelado empresarial (Enterprise Modelling – EM) es un término genérico que engloba a un conjunto de actividades, métodos y herramientas relacionados con el desarrollo de modelos de varios aspectos de una empresa o de una red de empresas. El modelado empresarial puede describirse como el arte de desarrollar modelos que representan de manera precisa la estructura y el comportamiento de una entidad de negocio. Los modelos empresariales están hechos, normalmente, de submodelos tales como modelos organizacionales, modelos de procesos, modelos de datos, modelos de configuración o modelos de distribución en planta, entre otros.

El modelado empresarial hace alusión, según Berio y Vernadat (1999), a los métodos de representación y de análisis utilizados en la ingeniería de diseño y la automatización de las operaciones de la empresa, en los distintos niveles de detalle (por ejemplo, reingeniería, diseño detallado, evaluación de rendimiento o descripción de la implementación, por nombrar algunos). Se aplica para el modelado de los flujos de material, de información y de control de la empresa desde un punto de vista funcional, informacional, organizacional y de recursos.

El modelado de procesos es un área ampliamente investigada aunque, según Curtis y otros (1992), para establecer el modelado de procesos como un área única de investigación, los investigadores deben identificar los límites conceptuales que distinguen su trabajo del modelado en otras áreas de ciencias de la información. Berio y Vernadat (1999) indican que, a pesar del gran progreso que ha experimentado el modelado empresarial, las aproximaciones propuestas hasta ahora siguen siendo descriptivas, utilizando su propia notación gráfica y se centran, sobre todo, en aspectos funcionales e informacionales, lo cual

engloba los modelos de procesos, o modelos funcionales, y los modelos informacionales en el área del modelado empresarial, al tiempo que destacan su importancia en dicha área.

Para Ong y otros (2005), un modelo de proceso es una representación de un conjunto de actividades. Según Kosanke y otros (1999b), los modelos de Procesos de negocio describen, tanto las funcionalidades, como el comportamiento operacional de la empresa e identifican toda la información generada y requerida. Estos modelos son representaciones de los procesos que capturan las relaciones internas y externas. Utilizando técnicas de modelado, es posible representar con los Procesos de negocio el trabajo que se ha cumplimentado. Cada proceso tiene un suministrador que suministra las entradas y un cliente que recibe las salidas. La información que hace falta recoger en un proceso es: qué se hace, quién lo hace, cómo se hace y qué o quien depende de él.

En esta misma línea, Curtis y otros (1992) apuntan que un modelo de proceso es una descripción abstracta de un proceso actual o propuesto que representa aquellos elementos del proceso que se consideran importantes para el propósito del modelo y puede representarse o ejecutarse por un humano o una máquina. Por otra parte, en Giaglis (2001) se cita que los procesos pueden ser vistos como colecciones de modelos de decisión, cada uno de los cuales se identifica por un tipo de decisión y contiene una secuencia de tareas de procesado.

La necesidad y utilidad del modelado (tanto empresarial, como funcional o de cualquier otra vista) está comentada en numerosos trabajos. Biswas y Narahari (2004), por ejemplo, indican en su trabajo que existe, no sólo la necesidad creciente de modelar cadenas de suministro, sino también la necesidad de unificar aproximaciones para el modelado de cadenas de suministro, de forma que cualquier modelo se pueda crear de una forma flexible y rápida.

Abdmouleh y otros (2004) sostienen que la mayor utilidad del modelado empresarial es suministrar una forma de capitalización del conocimiento sobre una empresa o red de empresa mediante la construcción de modelos descriptivos y de comportamiento. De hecho, estos modelos, pueden representar aspectos esenciales de una empresa (especialmente, en lo relativo a objetivos, estructura, funcionalidad y comportamiento) en un formato que puede entenderse por cualquier usuario del negocio, y compartirse y utilizarse por varias herramientas.

El conocimiento clave de la empresa se puede materializar mediante la representación de los Procesos de negocio, los cuales tienen un impacto directo en los resultados de la empresa, en la sostenibilidad a largo plazo y en la satisfacción del cliente. Por lo tanto, es esencial modelar de manera precisa los Procesos de negocio e identificar las entidades que tienen un impacto en su diseño (fase de ingeniería) y su ejecución (fase operacional).

Para Berio y Vernadat (1999) el modelado empresarial es un paso crucial tanto para la ingeniería de la empresa como para la integración empresarial.

Kosanke y Zelm (1999) sostienen que la ingeniería, la integración y la gestión compleja de las empresas requieren el entendimiento y la habilidad para hacer particiones y simplificar la complejidad operacional. El modelado empresarial da soporte a estos requerimientos, suministrando herramientas para la descripción de sistemas orientados a procesos y su descomposición en piezas manejables. Sin embargo, el modelado empresarial requiere, tanto un lenguaje común de modelado como una metodología de modelado.

En un trabajo posterior, Kosanke y otros (1999b), enumeran los beneficios adicionales del modelado empresarial: el conocimiento de la empresa y de los Procesos de negocio llega a ser mucho más transparente, quedando recogido y representado en documentación consensuada y fácil de entender, la comunicación inter e intra empresa mejora, ya que se basa en información fácilmente accesible en tiempo real y en un entendimiento común, las decisiones sobre la evaluación de alternativas operacionales, los Proyectos de reingeniería de Procesos de negocio, la manipulación de excepciones y resolución de problemas en todos los niveles de la jerarquía de decisión pueden utilizar información en tiempo real y, por lo tanto, mejorar significativamente su calidad y la gestión del cambio es posible mediante un acceso fácil a la información y la facilidad de adaptación a los soportes de ayuda a las decisiones.

Para Berio y Vernadat (2001), los modelos empresariales deberían servir para: entender y analizar la estructura y comportamiento de un dominio de empresa, aplicar reingeniería a una parte de la empresa, evaluar el comportamiento y el rendimiento de los Procesos de negocio antes de su implementación (incluso en términos de tiempo y coste), elegir la mejor solución de entre varias alternativas de implementación, evaluar los riesgos y costes de la implementación, optimizar la selección de recursos y su gestión, dar soporte a modelos basados en la integración y ayudar a la mejora continua de procesos. Sin embargo, según la opinión de los autores citados, la primera y mayor ventaja del modelado empresarial es su habilidad en la construcción de una visión común de la empresa, la cual puede compartirse por varios actores, por ejemplo, para establecer un consenso y dar soporte a la propia cultura de la empresa.

Curtis y otros (1992) indican en su trabajo que se requiere el modelado de procesos para aplicaciones relacionadas con: reingeniería de Procesos de negocio, coordinación tecnológica y desarrollo de software orientado a procesos. También subrayan que la representación de procesos llega a ser un tema vital en el rediseño del trabajo y en la asignación de responsabilidades entre humanos y computadoras. Estos autores enumeran cinco ventajas básicas del modelado de procesos: facilita el entendimiento humano y la comunicación, da soporte a la mejora de procesos, da soporte a la gestión de procesos, automatiza el guiado de los procesos y automatiza su ejecución.

Aguilar-Saven (2004) apunta que una empresa puede ser analizada e integrada a través de sus Procesos de negocio, lo cual justifica la importancia de su correcto modelado. Tanto expertos en el campo de las tecnologías de la información como en la ingeniería de negocios han llegado a la conclusión de que los sistemas con éxito comienzan por el entendimiento de los Procesos de negocio.

Una de las áreas que más literatura aporta sobre el modelado empresarial y el modelado de procesos es el área de integración empresarial. En este sentido, en Ortiz y otros (1999c), se presentan y analizan conceptos relacionados con la IE y se muestran las características fundamentales de las propuestas más significativas que se han desarrollado en este campo (CIMOSA, GRAI y PERA), se indica que hay tres elementos muy relacionados con el concepto de IE: Modelado, Metodología y Arquitectura.

Según el trabajo citado, modelización (modelado, según la RAE), es la técnica de generar modelos. Un modelo se define como “una representación de algo”, “una abstracción de una realidad expresada por medio de un lenguaje” o, citando a Pidd (1996) “una representación externa y explícita de una parte de la realidad tal y como la ve la gente que desea utilizarlo para entender, cambiar, gestionar y controlar esa parte de la realidad”. Por otra parte, se indica que un modelo de referencia, según Willians (1989), es algo anteriormente aprobado, un documento estándar definitivo o una representación conceptual de un sistema.

Berio y Vernadat (1999) incluyen un estado del arte sobre las prácticas actuales y los problemas identificados en el modelado empresarial sobre la base del lenguaje CIMOSA. En este trabajo se presentan posibles extensiones del modelado de Procesos de negocio, recursos técnicos y humanos y estructuras de organización. También se discuten brevemente características de implementación relevantes para el modelado y las herramientas de simulación.

Según se indica en este trabajo, las Arquitecturas aceptadas y discutidas a nivel internacional muestran que cualquier aproximación de modelado empresarial debe tratar al menos con:

- Tres tipos fundamentales de flujos dentro de o entre empresas: flujo de materiales, de información y de decisión.
- Cuatro vistas de modelado: funcional (qué se tiene que hacer y en qué orden se debe hacer), informacional (qué objetos se deben procesar o utilizar), de recursos (quien hace cada cosa) y organizacional (relaciones entre las unidades organizacionales), aunque se pueden utilizar otras vistas como la económica, ergonómica, etc.
- Tres niveles de modelado: definición de requerimientos, especificaciones de diseño y descripción de la implementación.

En este trabajo se comentan las extensiones del modelado funcional, en las cuales se detalla el modelado de las distintas variantes de relaciones entre las operaciones de los procesos, así como los aspectos formales de los procesos y el modelado de procesos no deterministas.

Kosanke y otros (1999b) indican que crear un modelo requiere métodos y herramientas para la abstracción, representación y manipulación del modelo. Los métodos de modelado guiarán en el proceso de modelado, desde la observación de una realidad al uso del modelo y su mantenimiento.

Curtis y otros (1992) apuntan en su trabajo que, aunque no hay consenso sobre los constructores que forman la base esencial de un modelo de proceso, los siguientes tres son los más mencionados: agentes (quien realiza un elemento o actividad del proceso), roles (un conjunto coherente de actividades o elementos de proceso que se asignan a un agente como una unidad de responsabilidad funcional) y artefactos (lo creado o modificado al ejecutar un elemento de proceso).

La información que se quiere extraer de un proceso normalmente es: qué se va a hacer, quien lo va a hacer, cuándo y dónde se va a hacer, cómo y porqué se va a hacer, y quien depende de que esto se haga (Giaglis (2001) interpreta para esto últimos “qué datos o elementos se manipulan en dicha tarea”). Los distintos lenguajes de modelado de procesos difieren en los constructores que contienen la información para responder a estas preguntas. Los lenguajes de modelado de procesos normalmente presentan una o más perspectivas para responder a estas preguntas.

Las cuatro perspectivas más utilizadas son:

1. Funcional: que representa qué actividades se están llevando a cabo y qué flujo de entidades informacionales son relevantes para esas actividades o elementos de proceso.
2. Comportamiento: que representa cuándo se llevan a cabo las actividades, así como aspectos relativos al cómo se definen los bucles de retroalimentación, las iteraciones, las condiciones de toma de decisiones, criterios de entrada y salida, etc.
3. Organizacional: que representa dónde y por quién (por qué agentes) se realizan las actividades, los mecanismos de comunicación física, etc.
4. Informacional: que representa las entidades informacionales obtenidas o manipuladas por cada proceso.

Algunos aspectos fundamentales en el modelado de procesos (según Curtis y otros (1992)) son:

- Formalidad, lo cual indica el nivel de precisión formal en la representación del proceso (un nivel alto de formalidad se puede manejar mediante máquinas)

- Granularidad o tamaño de los elementos (actividades) del proceso y precisión, mediante la cual, se especifican todos los pasos necesarios para producir resultados precisos mediante las actividades del proceso (lo cual tendría relación con los conceptos de agregación y desagregación).
- Predefinición, lo cual implica que el proceso debe realizarse de una determinada manera, y adecuación, el grado en que los responsables de la ejecución del proceso son capaces de seguir los pasos que este especifica.

Reyneri (1999) propone una serie de bloques constructivos para el modelado de los Procesos de negocio a nivel operacional.

En el trabajo de Ortiz y otros (1999b) se utiliza CIMOSA y sistemas de workflow para modelar un proceso de planificación de la producción. En concreto, se presenta una metodología basada en la Arquitectura CIMOSA desarrollada para construir un modelo de workflow en Lotus Notes para el proceso de previsión y planificación de la producción en una empresa de fabricación de azulejos.

En el trabajo de Ong y otros (2005) se aplican las técnicas de modelado empresarial de CIMOSA para modelar un sistema basado en componentes perteneciente a una empresa de fabricación de maquinaria en el sector del automóvil.

Kettinger y otros (1997) investigan metodologías, técnicas y herramientas de BPR (Business Process Reengineering) y se ubican en un marco de referencia obtenido empíricamente. El marco propuesto, a partir del examen de las metodologías, técnicas y herramientas utilizadas comúnmente, proporciona el conocimiento básico para tratar de mejorar Procesos de negocio.

Revisadas las metodologías más comunes en el contexto de BPR (Kettinger y otros, 1997) se constata que hay suficientes aspectos comunes entre ellas como para proponer una única metodología estandarizada. Las etapas de la metodología propuesta para la BPR son: Visión del negocio, inicio, diagnóstico, rediseño, reconstrucción y evaluación. Para cada una de estas etapas se definen una serie de actividades. El conjunto de etapas y actividades constituye el denominado marco S-A (Stage-Activity Framework). Este trabajo ofrece un listado de técnicas normalmente utilizadas en cada una de las etapas y actividades del marco propuesto (en el cual se citan algunas herramientas para el modelado de procesos).

Para Melao y Pidd (2000) parece común describir a las organizaciones como un conjunto de Procesos de negocio que pueden ser analizados y mejorados con aproximaciones tales como el modelado de Procesos de negocio. Un modelado correcto de los Procesos de negocio permite una adecuada visión de la naturaleza de los procesos. En los últimos tiempos se ha constatado un creciente interés por metodologías, técnicas y herramientas para el soporte del re-diseño de Procesos de negocio dentro del denominado Modelado de Procesos de negocio (Business Process Modelling o BPM).

La mayoría de la literatura sobre BPM y sobre la naturaleza de los Procesos de negocio está fragmentada o restringida a un específico tipo de modelo y no profundiza en la discusión de este tema en su conjunto. En este trabajo se afirma que BPM puede verse como una colección de metodologías, técnicas y herramientas que soportan el análisis y mejora de los Procesos de negocio.

Después de discutir el concepto de BPR (Reingeniería de Procesos de negocio) se organizan los trabajos de investigación sobre BPM (estado del arte) en: aplicaciones prácticas, intentos de desarrollar posiciones teóricas y discusiones sobre la naturaleza de los procesos.

El grupo de visiones teóricas sobre el BPM, contiene menos trabajos que el grupo sobre aplicaciones prácticas y se destaca el trabajo de Curtis y otros (1992). En éste se revisan varias aproximaciones al modelado de procesos y se propone un Marco Conceptual para el modelado en un contexto de ingeniería del software, en el que se analizan los procesos desde cuatro perspectivas: funcional, organizacional, comportamiento e informacional.

En cuanto al grupo sobre las discusiones sobre la naturaleza de los procesos, se indica que la mayoría de la literatura consultada utiliza o adapta las definiciones aproximadas que han manejado los pioneros de la corriente de BPR es decir, las que sostienen que un Proceso de negocio es un conjunto de actividades relacionadas que añaden valor para el cliente. La visión de la ingeniería industrial, por otra parte, argumenta que un Proceso de negocio es mejor visto como una transformación de inputs de los suministradores en outputs para los clientes y que esta transformación se puede descomponer jerárquicamente en subprocesos y actividades. Una tercera interpretación, argumenta que los Procesos de negocio hay que entenderlos como redes en las cuales un número de roles colaboran e interactúan para alcanzar la meta del negocio.

Las distintas interpretaciones citadas parecen indicar que no puede entenderse qué es un Proceso de negocio ni conocer su verdadera naturaleza desde una única perspectiva. Por consiguiente, se deduce que un proceso puede observarse desde múltiples puntos de vista, y cada uno de ellos actúa de filtro para los demás.

Este último aspecto puede considerarse fundamental si se tiene en cuenta que el entendimiento de lo que es un proceso influye, condiciona y determina el propio modelado del proceso. De ello parece deducirse que el modelado también podrá realizarse desde numerosos puntos de vista.

A partir de la revisión de la literatura realizada, se propone un Marco Conceptual para organizar diferentes visiones de los Procesos de negocio en cuatro apartados. El objetivo es discutir la naturaleza de los procesos intentando entender cómo se pueden modelar. A continuación se explican las cuatro posibles visiones o formas de entender los Procesos de negocio: los Procesos de negocio como máquinas

deterministas, como sistemas dinámicos complejos, como bucles de retroalimentación relacionados entre sí y finalmente como constructores sociales.

La primera visión, o visión de máquinas deterministas, observa los Procesos de negocio como una secuencia fija de actividades o tareas bien definidas realizadas por “máquinas humanas” que convierten entradas en salidas con el fin de alcanzar unos objetivos claros⁶. Esta visión asume que la naturaleza de los procesos es incuestionable y su diseño es análogo a una actividad de ingeniería técnica. También se explica qué modelos se pueden utilizar en esta visión y de los problemas de utilizar esta visión.

Adicionalmente a la explicación de las cuatro visiones para el entendimiento de los procesos, en este trabajo se analizan los puntos fuertes y las limitaciones de dichas visiones, y se analizan diversas herramientas de modelado para cada una de ellas.

En el trabajo de Reijers y Mansar (2005) se citan las mejores aplicaciones (“best practices”) sobre el rediseño de Procesos de negocio, a partir de una amplia revisión de la literatura y de la experiencia de los autores, y se presenta un Marco Conceptual para evaluar el impacto de las mejores aplicaciones en las dimensiones de coste, flexibilidad, tiempo y calidad.

En el apartado de estado del arte de este trabajo se revisan marcos y modelos para el análisis de Procesos de negocio existentes en la literatura, como por ejemplo: CIMOSA, WCA (Work-centered Analysis Framework), MOBILE y la propuesta de Seidmann y Sundararajan (1997).

A partir de esta revisión, los autores citados proponen un marco resultado de la síntesis de los trabajos citados anteriormente, aprovechando las vistas de modelado empresarial de CIMOSA, el marco de WCA (que añade la vista tecnológica a las propuestas por CIMOSA), el modelo de workflow de MOBILE (que detalla y refuerza la vista organizacional) y los tipos de parámetros descritos por Seidmann y Sundararajan (1997).

Cada uno de los elementos del marco propuesto se evalúa desde cuatro dimensiones: tiempo, coste, calidad y flexibilidad. Los elementos considerados en el marco propuesto para el BPR constituyen o indican áreas de mejora de los procesos y pueden utilizarse como una lista de comprobación que guíe en el proceso de rediseño de los Procesos de negocio.

El marco propuesto en este trabajo se aplica y valida en los trabajos de Mansar y Reijers (2004) y Mansar y Reijers (2005), y se amplía en el trabajo de Mansar y otros (2005), en el que se desarrolla una herramienta para facilitar la elección de las mejores aplicaciones (“best practices”) en el rediseño de un proceso.

⁶ Precisamente esta visión es la que ha servido como principal referencia en la Tesis.

En Seidmann y Sundararajan (1997) se desarrolla un marco teórico para el diseño de procesos. Estos autores analizan los efectos de la asimetría en el tamaño de las tareas y en la información respecto a un diseño de proceso óptimo. De su estudio se desprende que, cuando un proceso está formado por tareas no uniformes, un gestor del caso o gestor general del proceso (“case manager”) es una buena solución (un mismo recurso realiza las n tareas del trabajo). Si la personalización aumenta, decrece la dificultad de las tareas y aumenta la interdependencia de las mismas, lo cual sugiere que utilizar recursos generalistas puede ser mejor. El especialista está recomendado para procesos con tareas simétricas e uniformes. Cuando las tareas no son uniformes y existe información asimétrica entre los distintos trabajadores de un mismo proceso, es una buena solución contemplar compensaciones por incentivos.

En el trabajo de Neiger y Churilov (2005) se revisan las clasificaciones existentes sobre modelado de Procesos de negocio, en base a las cuales, se propone una lista de propiedades de los modelos de Procesos de negocio que ayuda al diseñador a elegir la metodología, técnica o herramienta de modelado más apropiada en cada caso. Esta lista de propiedades permite identificar las características que deben poseer la metodología, técnica o herramienta de modelado a partir de la definición de los requerimientos de diseño de los Procesos de negocio.

Las características o criterios para la selección están organizados en cuatro grandes apartados. Así, el decisor que desea escoger la metodología, técnica o herramienta para el modelado más apropiada deberá tener claro: el propósito para el que quiere construir el modelo (análisis, descripción, desarrollo, etc.), el tipo de representación que desea (representación gráfica o modelo formal), el contenido del modelo (qué, porqué y cómo se quiere modelar) y las características y herramientas de soporte del modelo (representación de los procesos a varios niveles de detalle, integración con otras herramientas del negocio, etc.).

En Aguilar-Saven (2004) se incluye una amplia revisión de la literatura sobre modelado de Procesos de negocio, a partir de la cual se describen las principales técnicas para el modelado de Procesos de negocio y se propone un marco para la clasificación de dichas técnicas. Según estos autores, las principales técnicas de modelado de Procesos de negocio son: Técnica del organigrama (“flow chart”), diagramas de flujo de datos (“Data flow diagrams”), diagramas de actividades y roles (“Role activity diagrams”), diagramas de interacción de roles (“Role interactions diagrams”), diagramas de Gantt, IDEF (Integrated Definition for Function Modelling), redes de Petri coloreadas, métodos orientados a objetos y técnicas de workflow.

Phalp (1998) introduce un marco para el modelado de Procesos de negocio basado en tres categorías o fases genéricas: captura, análisis y presentación, y propone el uso de técnicas o sistemas de notación en cada una de ellas. A pesar de que este trabajo parece más pensado para la mejora de procesos existentes que para la creación de nuevos procesos, se considera importante la indicación de que, para

modelar los Procesos de negocio, es importante tener en cuenta qué sistema de notación y qué métodos utilizar.

En el trabajo de Bernus y Nemes (1996) se describe lo que es un modelo genérico en el contexto de CIMOSA (“definiciones semánticas de los conceptos que pueden utilizarse en la descripción de una situación dada”). De la descripción, se deduce la similitud entre un modelo genérico y un modelo conceptual.

En los trabajos de Calderón y Lario (2005); Supply Chain Council (2006), se explican las características del modelo de referencia SCOR. Este modelo estandariza la terminología y los procesos de una Cadena de Suministro, y puede considerarse como una herramienta que ayuda a describir, modelar, analizar, medir, comparar y evaluar distintas alternativas y estrategias de la Cadena de Suministro.

El modelo SCOR utiliza bloques constructivos básicos de procesos (Process building blocks) para describir los procesos de una Cadena de Suministro. En dicha descripción de procesos se utilizan tres niveles de detalle: Nivel superior (se especifican los tipos de procesos), nivel de configuración (categorías de procesos), y nivel inferior o de elementos de procesos (máximo nivel de detalle en la descomposición de los procesos). SCOR utiliza lenguajes y técnicas de modelado propias para la elaboración de los modelos de procesos en los diferentes niveles citados. En el nivel de configuración, por ejemplo, para el mapeado de los procesos, se utiliza el “diagrama de hilos”, mientras que, para el nivel de máximo detalle, se utiliza una técnica muy parecida a IDEF0, mediante la cual se representan las entradas y salidas (tanto de materiales como de información) de cada actividad del proceso y las conexiones entre estas, entre otras cosas.

El trabajo de Glykas y Valiris (1999) aborda el modelado de los procesos utilizando objetos.

Algunos trabajos, como el de Valiris y Glykas (1999), apuntan que las metodologías, relacionadas con la gestión de Procesos de negocio o con los sistemas de información, utilizan normalmente la vista de procesos, a la que añaden otras vistas, como la estructural y del comportamiento.

Giaglis (2001) subraya en su trabajo la dificultad de los analistas de negocios y de los profesionales de los sistemas de información para entender, utilizar y seleccionar paradigmas teóricos, aproximaciones metodológicas y formalismos de representación, tanto para el modelado de Procesos de negocio (Business Process Modeling - BPM) como para el modelado de sistemas de información (information systems modeling - ISM). Este trabajo intenta poner orden en este caos proponiendo un marco de evaluación y una taxonomía para las técnicas de BPM e ISM.

También este autor indica que las metas y objetivos de un estudio particular de modelado tienen un impacto en el uso que el modelo tendrá y, por lo tanto, en los requerimientos de los formalismos de representación del proceso que se deban utilizar.

Las técnicas citadas para el modelado de Procesos de negocio son: “Flowcharting”, IDEF, Redes de Petri, Simulación, técnicas basadas en el conocimiento y RAD (Role activity diagramming), mientras que las citadas para el modelado de los sistemas de información son: diagrama de flujo de datos, diagramas entidad relación, diagramas de transición de estados, IDEF y UML (Unified modeling language).

En este trabajo se incluye una tabla que indica la profundidad o alcance de distintas técnicas de modelado respecto a diferentes perspectivas o vistas (Figura 2-14), así como la Taxonomía de las técnicas de modelado según la vista que se desee modelar y el objetivo del modelado (Figura 2-15).

BPM/ISM Techniques	Modeling Perspectives (Depth)			
	Functional	Behavioral	Organizational	Informational
Flowchart	Yes	No	No	Limited
IDEFO	Yes	No	Limited	No
IDEF3	Limited	Limited	No	Limited
Petri nets	Yes	Yes	No	No
Discrete event simulation	Yes	Yes	Yes	Limited
System dynamics	Limited	Yes	Yes	Limited
Knowledge-based techniques	No	Yes	No	No
Role activity diagram	No	Limited	Yes	No
Data flow diagram	Yes	No	Limited	Yes
Entity-relationship diagram	No	No	No	Yes
State-transition diagram	No	Limited	No	Limited
IDEF1x	No	No	No	Yes
UML ⁴	Yes	Limited	Limited	Yes

Figura 2-14. Profundidad o alcance de distintas técnicas de modelado respecto a diferentes perspectivas o vistas. (Giaglis , 2001)

Depth Breadth	Informational (data)	(Flowchart) (IDEF3) DFD Entity relationship State transition IDEF1.x UML	(Simulation) DFD Entity relationship State transition IDEF1.x UML	Simulation DFD Entity relationship State transition IDEF1.x UML	Simulation DFD Entity relationship State transition IDEF1.x UML	Simulation DFD Entity relationship State transition IDEF1.x UML
	Organizational (where, who)	(IDEF0) (Simulation) System dynamics RAD	(IDEF0) Simulation System dynamics RAD	(IDEF0) Simulation System dynamics RAD	Simulation (UML) (RAD)	—
	Behavioral (when, how)	(IDEF3) Simulation System dynamics RAD	(IDEF3) Simulation System dynamics RAD	(IDEF3) Simulation System dynamics RAD	Petri nets Simulation System dynamics Knowledge based (State transition)	Petri nets Simulation Knowledge based (State transition)
	Functional (what)	Flowchart IDEF0 (IDEF3) Simulation (System dynamics) DFD (UML)	Flowchart IDEF0 (IDEF3) Simulation System dynamics DFD (UML)	Flowchart IDEF0 (IDEF3) Simulation	IDEF0 Petri nets Simulation DFD UML	Petri nets Simulation DFD UML
		Understanding & communicating	Process improvement	Process management	Process development	Process execution

Figura 2-15. Taxonomía de las técnicas de modelado según la vista que se desea modelar (eje de ordenadas) y el objetivo del modelado (eje de abcisas) (Giaglis, 2001)

Neiger y Churilov (2005) apuntan que las clasificaciones existentes de metodologías, técnicas y herramientas de modelado de Procesos de negocio cubren la mayoría de los aspectos de modelado pero no indican explícitamente los requerimientos de diseño de los Procesos de negocio. Para cubrir este hueco, se revisan las clasificaciones existentes y se introduce una lista de propiedades deseables de un modelo de Procesos de negocio desde una perspectiva de diseño de procesos. Esta lista constituye una guía útil para la selección de las herramientas de diseño más apropiadas en cada caso.

Según estos autores, desde una perspectiva de diseño de Procesos de negocio, un marco de clasificación para el modelado de Procesos de negocio debe incluir los siguientes cuatro criterios: la posibilidad de que el modelo se utilice para diferentes propósitos, diferentes modos de representación, la posibilidad de que el modelo capture distintos aspectos del proceso al que se refiere, y características técnicas de los modelos y herramientas asociadas.

En la Figura 2-16 se incluye esquemáticamente las cuatro dimensiones del marco propuesto.

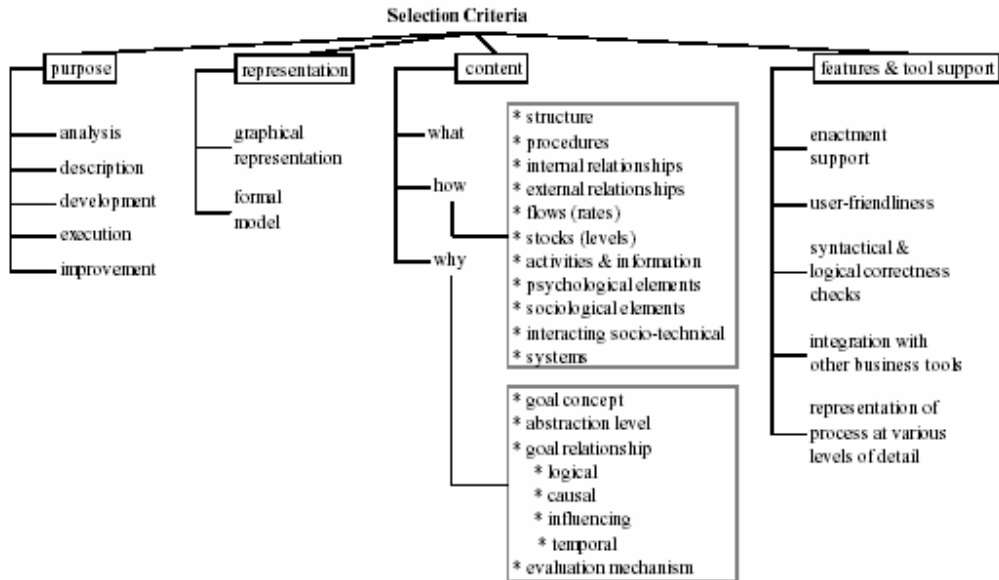


Figura 2-16. Marco de clasificación de modelado de Procesos de negocio (Neiger y Churilov, 2005)

A continuación, y teniendo en cuenta que la mayoría de los trabajos relevantes consultados, hablan de cuatro vistas principales: funcional, física, organizacional e informacional, se incluyen subapartados que explican lo más importante cada una de éstas.

2.3.2.1 Vista Funcional

Según Abdmouleh y otros (2004), la vista funcional se utiliza para organizar la empresa como un conjunto de dominios funcionales que interactúan y para describir los procesos concurrentes, sus condiciones de activación y su ejecución. Desde un punto de partida funcional, una entidad de negocio a gran escala es una colección de partes separadas llamadas dominios empresariales (Enterprise Domains – DM). Cada dominio que está hecho de procesos completos se denomina dominio de procesos (Domain Processes – DP). El dominio de procesos se activa bajo ciertas circunstancias o condiciones, llamados eventos. Los eventos pueden generarse por elementos internos de la empresa, por elementos externos o por el reloj. Pueden ser solicitados (programados o deterministas) o no programados (perturbaciones, imprevistos).

Cada dominio de procesos puede comprender Procesos de negocio y, al nivel más bajo de descomposición funcional, actividades. Las actividades representan el paso o nivel más elemental en un proceso. La lógica del proceso se describe con una red de actividades, mediante la asignación de reglas de

comportamiento. A cada actividad se le asocian un conjunto de capacidades o recursos, requeridos para su ejecución, unas entradas, unas salidas y un estado de finalización, que identifica que la actividad se ha terminado.

2.3.2.2 Vista Física

Para Berio y Vernadat (1999) existe un principio fundamental, el de desacople de procesos y recursos, que debe resaltarse en el modelado empresarial. Este principio implica que los procesos y recursos deben modelarse por separado. De hecho, los procesos representan la lógica de control o parte de control de la empresa, mientras que los recursos representan su parte operativa. Ambas tienen su propio comportamiento.

Por ello, el problema para la gestión es asegurar la coordinación del comportamiento de los procesos y los recursos, de manera que la empresa alcance sus objetivos. Esta es una de las mayores dificultades en la gestión de la producción porque permite la descomposición de estados, lo cual es también una característica fundamental de los recursos (por ejemplo, máquina trabajando, parada, en espera, etc.). Las transiciones en el gráfico de estados representan acciones internas. Los gráficos de estado pueden utilizarse para modelar el comportamiento de un único recurso o la interacción entre varios recursos que interactúan. Este tipo de modelo es diferente en los procesos de negocio.

Abdmouleh y otros (2004) indican que la vista de recursos se utiliza para declarar y definir aquellos objetos que tienen el rol de recursos en la ejecución de las actividades. CIMOSA define un constructor genérico llamado recurso que debe especializarse en dos grandes clases: componentes, que describen recursos pasivos y entidades funcionales (functional entities - FE), que describen recursos activos. Las entidades funcionales pueden dividirse en tres tipos: recursos humanos, máquinas y aplicaciones.

2.3.2.3 Vista Organizacional

En el trabajo de Berio y Vernadat (2001) se incluye una explicación de las nuevas características del lenguaje de modelado de CIMOSA estableciendo una clara separación entre el concepto de procesos y el concepto de agentes o recursos. El vínculo entre los dos conceptos se materializa mediante operaciones funcionales (acciones básicas) así como mediante las capacidades y competencias de los recursos. Otra extensión del lenguaje trata el modelado de los aspectos organizacionales. Para estos autores la estructura de una organización es una colección de entidades organizacionales (o centros de decisión) relacionadas jerárquicamente o colateralmente. Una entidad organizacional puede ser una estación de trabajo, un equipo de trabajo, un departamento, una planta, etc. CIMOSA suministra dos constructores para las entidades organizacionales: unidades organizacionales (centro de decisión) y células organizacionales (agregación de unidades organizacionales para formar un nivel más alto de decisión). Estos dos constructores se han

actualizado recientemente para asegurar que las estructuras organizacionales modernas (por ejemplo, redes de organizaciones o empresas virtuales) se puedan representar mediante CIMOSA.

Esto mismo se indica también en el trabajo de Abdmouleh y otros (2004), según los cuales CIMOSA utiliza la vista organizacional para describir las estructuras organizacionales y decisionales de las entidades de negocio y para asignar responsabilidades y autoridad a los componentes de una arquitectura particular. CIMOSA suministra dos constructores para esto: la unidad organizacional y la célula organizacional.

2.3.2.4 Vista Decisional

Es importante partir de que el proceso de planificar es, en sí mismo, un proceso decisional, en cuanto que tiene por objetivo tomar una serie de decisiones que conducen a la obtención de un plan, por lo que se conecta con la visión decisional (Poler y otros, 2002).

El trabajo de Min y Zhou (2002)⁷ habla detalladamente del modelado de la Cadena de Suministro, aunque no desde una perspectiva de modelado empresarial o de algunas de las vistas más comunes, sino desde un enfoque de modelado analítico. En algún punto del trabajo se aborda el modelado físico de la Cadena de Suministro (aunque no muy profundamente) y siempre desde la óptica del modelado analítico.

En el trabajo de Biswas y Narahari (2004), el conjunto de variables asociadas a cada objeto, efectivamente, parece facilitar la creación de modelos analíticos, aunque no se indica explícitamente si dichas variables se crean a partir de objetos estructurales, de objetos para políticas o de ambos. Esto es importante ya que, dichas variables asociadas, parecen no contemplar aspectos organizativos o relativos a las políticas empleadas en la red (definidas con y a partir de los objetos para políticas)⁸.

2.3.2.5 Vista Informacional

Un punto de coincidencia en las Arquitecturas de modelado es la vista de información o de datos. Los modelos de la vista de información son dependientes del ciclo de vida de los modelos o niveles del

⁷ Este trabajo ha sido también una referencia importante en la propuesta de Marco realizada en el capítulo 4, sobre todo en la definición de aquellos aspectos que inciden más directamente en el Modelado Analítico del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D.

⁸ Precisamente, el Marco propuesto pretende que los modelos (tanto del Proceso como Analíticos) se construyan a partir, no sólo de los aspectos estructurales, sino también a partir de las políticas de la red (relacionado fundamentalmente con aspectos de Organización) que puedan afectar a la construcción del modelo buscado.

modelado de cada Arquitectura. Por ejemplo, en ARIS los niveles de modelado son Definición de Requerimientos, Diseño e Implementación, para GRAI-GIM son Conceptual, Organizacional y Físico, y para CIMOSA tienen un doble componente por un lado, Requerimientos, Diseño e Implementación, y por otro lado, Genérico, Parcial y Particular.

La vista de información se encuentra definida de diferente forma según la Arquitectura. Algunas definiciones son Vernadat (1996b):

- CIMOSA: La vista de información representa objetos de empresa y elementos de información.
- GRAI ⁹: El sistema de información une el sistema de decisión con el sistema físico y el entorno de la empresa. Para ello transforma y almacena información.
- ARIS: La vista de datos se utiliza para definir modelos de datos semánticos (mediante diagramas Entidad-Relación), para posteriormente pasarlos a un esquema Relacional antes de implementarlos en una base de datos.
- ISO/DIS 19439: (estandar de integración empresarial) define la vista de información como aquella que describe los objetos de la empresa relacionados con la información - information-related enterprise objects- (materiales y de información), y cómo son utilizados y producidos en el curso de las operaciones de la empresa.

Otras definiciones genéricas (no asociada a una Arquitectura) de la vista de información son:

Para Curtis y otros (1992) la vista de información representa las “entidades” de información producida o manipulada por un proceso; estas “entidades” incluyen datos, artefactos, productos (intermedios y finales) y objetos. Esta perspectiva incluye tanto la estructura de las “entidades” de información como las relaciones entre ellas.

Para Berio y Vernadat (1999) la vista de información representa los objetos que son procesados o utilizados.

Según Abdmouleh y otros (2004), la vista informacional se usa para describir las entidades utilizadas por las actividades y los procesos, los flujos de objetos y de información así como las restricciones aplicables a las entidades informacionales, todo ello descrito como un modelo de datos conceptual que da soporte a la integración. Desde un punto de vista informacional, las entradas y salidas de las actividades de los procesos se definen como vistas de objetos (object views -OV). Una vista de objeto representa un estado particular y una manifestación de uno o más objetos de empresa (enterprise

⁹ Como se ha dicho anteriormente, la Visión Informacional incluida en el Marco propuesto tendrá como referencia la forma en la que GRAI la considera.

objects - EO). Un objeto de empresa se utiliza para cualquier clase de objetos útiles de la empresa (pedidos, productos, etc.). En el modelo, un EO queda definido por su lista de propiedades llamadas elementos de información (Information Elements – IE) y por los mecanismos de abstracción (especialización, agregación). Una vista de objeto se define sobre un objeto empresa, y está hecha de un subconjunto o combinación de estos elementos de información. Las vistas de objetos pueden ser de dos tipos: vistas físicas y vistas informacionales. Esto permite al modelo separar los flujos de información de los flujos de materiales.

2.3.2.5.1 Relación de la vista de información con las otras vistas

En la Arquitectura ARIS, la vista de información se centra en las condiciones del entorno de la tarea, las cuales proporcionan los parámetros para las funciones de los procesos. Estos parámetros pueden relacionarse con la cantidad de productos a producir, los niveles de inventario o los parámetros relativos a los recursos empleados. La interacción entre la vista de función y la vista de información se establece de tal forma que el rendimiento de cualquier actividad o tarea es resultado de una alteración de las condiciones en el entorno de la información (Scheer, 1992).

Para el pre-estandar ENV 40 003 la vista de información proporciona la descripción de un conjunto estructurado de objetos que fueron identificados por las otras vistas (Vernadat, 1996b).

La vista de información de CIMOSA describe la información y las estructuras de información necesarias y que dan soporte a las funciones definidas en la vista de función (CIMOSA Association, 1996).

Para estándar ISO/DIS 19439 la vista de información establece la representación y modificación de la información de la empresa tal y como se identifica previamente por la vista de función.

2.3.2.5.2 La vista de información en CIMOSA

En CIMOSA la vista de información (al igual que el resto de vistas) se muestra mediante:

- Una sucesión de modelos que siguen el principio de derivación: Definición de Requerimientos, Especificación de Requerimientos e Descripción de la implementación.
- Una sucesión de modelos que siguen el principio de instanciación: Nivel Genérico, Nivel Parcial (para un sector) y Nivel Particular (para una empresa).

La Figura 2-17 muestra el marco de modelado de empresa CIMOSA:

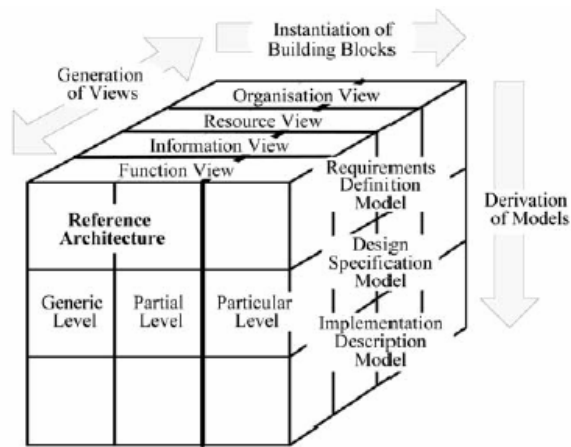


Figura 2-17. Marco de Modelado CIMOSA (Vernadat, 1996b)

El sistema de información une el sistema de decisión con el sistema físico y el entorno de la empresa. Para ello transforma y almacena información.

La vista de información está condicionada por el propósito que se persigue. En CIMOSA Association (1996) el propósito o alcance de la vista de información es “documentar, desde una perspectiva abstracta, toda la información de la empresa (incluyendo los aspectos físicos, materias y productos) necesaria para las funciones de la empresa.”

La vista de información de CIMOSA describe la información y las estructuras de información necesarias y que dan soporte a las funciones definidas en la vista de función.

Las funciones de una empresa se definen en la vista de función y operan con unas entradas y salidas de información. Con el fin de definir, formalizar, estructurar y presentar estas entradas y salidas, CIMOSA ha definido un conjunto de constructores que se presentan en la vista de información. La vista de información proporciona las reglas y guía el proceso para la estructuración de la información de forma que pueda ser implementada en sistemas de procesamiento de datos y para ser presentada y manipulada por los usuarios.

Para cada nivel del ciclo de vida del proceso utiliza diferentes modelos:

- En el nivel de Definición de Requerimientos utiliza un modelo Orientado a Objetos.
- En el nivel de Diseño utiliza un modelo Entidad-Relación
- En el nivel de Implementación utiliza esquemas internos dependientes de la base de datos.

2.3.2.5.3 La vista de datos en ARIS

La Arquitectura de Sistemas de Información Integrados (ARIS – Architecture of integrated Information Systems) (Scheer, 1992) parte de un análisis holístico de los Procesos de negocio. Para reducir la complejidad del modelo, utilizan las vistas de datos, función, organización y recursos. Una quinta vista, la vista de control, se utiliza para describir las relaciones entre el resto de vistas.

El ciclo de vida del modelo o niveles que utiliza para el modelado son: Definición de Requerimientos, Diseño e Implementación.

La vista de datos se utiliza para definir modelos de datos semánticos (mediante diagramas Entidad-Relación), para posteriormente pasarlos a un esquema Relacional antes de implementarlos en una base de datos.

En el nivel de Definición de Requerimientos, el modelo de datos describe los eventos de entrada o salida a un proceso. Además, recoge las condiciones relevantes del entorno del proceso. Se representa mediante un diagrama Entidad-Relación. En el nivel de Diseño, el modelo de datos se traslada a un lenguaje ‘interfaz’ para un sistema de base de datos. En el nivel de Implementación, se crean las estructuras de datos físicas en una base de datos.

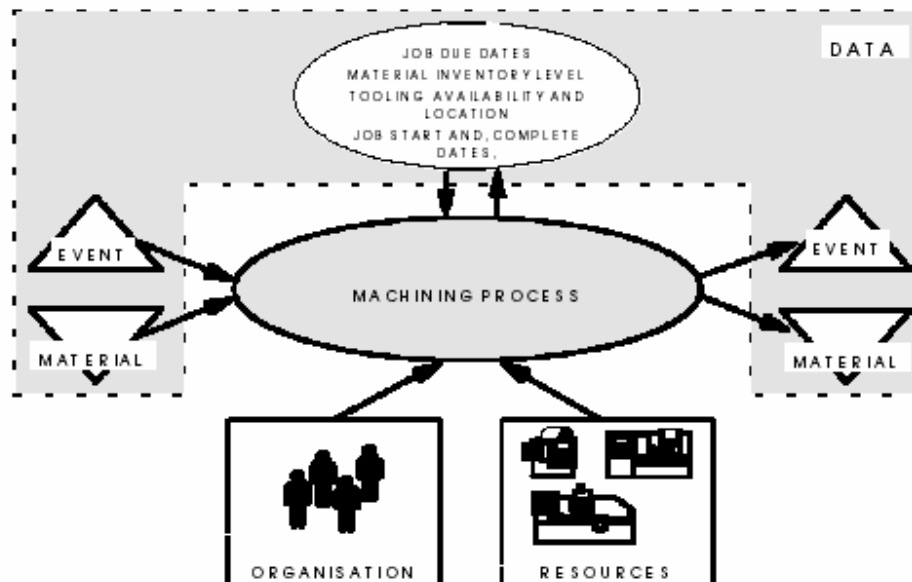


Figura 2-18. Modelo Funcional ARIS para el proceso de Fabricación (Toh, 1999)

La Figura 2-18 muestra los elementos que aparecen en el proceso de Fabricación siguiendo la metodología de ARIS. Una relación entre ARIS y CIMOSA se puede encontrar en Toh (1999) (Figura 2-19).

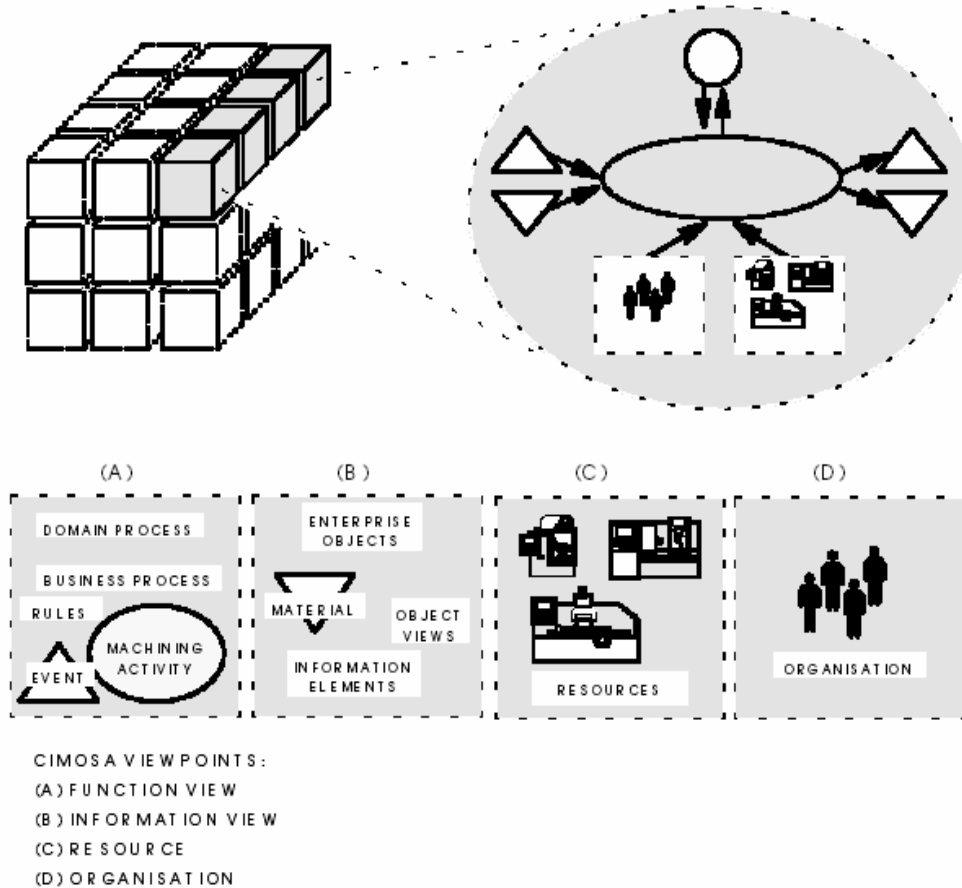


Figura 2-19. Aplicación de la Arquitectura CIMOSA al modelo de proceso de fabricación (Toh, 1999)

2.3.2.5.4 Técnicas para modelar la vista de información

En Aguilar-Saven (2004) se incluye una amplia revisión de la literatura sobre modelado de Procesos de negocio, a partir de la cual se describen las principales técnicas para el modelado de Procesos de negocio y se propone un marco para la clasificación de dichas técnicas.

Según la citada autora, las principales técnicas de modelado de Procesos de negocio son:

- Flow chart: Se trata de una representación gráfica de una secuencia lógica de un programa, de los procesos de trabajo, la estructura organizativa, o cualquier otra estructura formalizada similar.
- Diagramas de flujo de datos (“Data Flow Diagrams- DFD”): Son diagramas que muestran el flujo de datos o información de un lugar a otro. Solo muestran el flujo de datos, no de materiales. Muestran como la información entra y sale de los procesos, que actividad cambia la información, donde se almacena la información y la función de la organización en la que la actividad se desarrolla.
- Diagramas de actividades y roles (“Role Activity Diagrams - RAD”): Están basados en una representación gráfica del proceso desde la perspectiva de roles individuales, concentrándose en la responsabilidad de los roles y las interacciones entre ellos.
- Diagramas de interacción de roles (“Role Interactions Diagrams- RID”): Se trata de una combinación de los diagramas de actividades de roles y los diagramas de interacción de objetos de Jacobson. Se utilizan principalmente para procesos que precisen de una coordinación entre actividades inter-relacionadas.
- Diagramas de Gantt: se trata de una matriz que en su eje vertical incluye todas las tareas a desarrollar en el proceso. El eje horizontal indica la duración estimada de la actividad, habilidad necesaria para realizar la actividad, persona asignada y una columna por cada periodo de duración del Proyecto.
- IDEF (Integrated Definition for Function Modelling): el cual incluye diferentes aplicaciones, entre las cuales IDEF0 e IDEF3 son las versiones más útiles para el modelado de Procesos de negocio.
 - IDEF0 : Se utiliza para especificar modelos funcionales. Responde a ¿qué hace?.
 - IDEF1: Se utiliza para el modelado de la información, el cual captura en vistas conceptuales la información de la empresa.
 - IDEF1X: Se utiliza para el modelo de datos. Captura desde una vista lógica los datos de la empresa. Esta basado en el modelo entidad-relación.
 - IDEF2: Se utiliza para el diseño de modelos de simulación.
 - IDEF3: Es un método para obtener la descripción del proceso. Responde a ¿cómo lo hace?
 - IDEF4: Es un método para el diseño orientado a objetos.

- IDEF5: Se trata de un método para la creación, mantenimiento y modificación de ontologías.
- Redes de Petri coloreadas (“Couloured Petri-net- CPN”): se trata de un lenguaje gráfico para el diseño, especificación, simulación y verificación de sistemas. En particular resulta apropiado para sistemas con un considerable número de procesos que necesitan comunicación y sincronización.
- Métodos orientados a objetos (“Object Orientation-OO”): Se utiliza para describir sistemas que tratan con diferentes tipos de objetos, y donde las acciones dependen del tipo de objeto que se este tratando. Los métodos orientados a objetos pueden ser definidos como métodos para modelar y programar un proceso descrito como objetos, los cuáles son transformados por las actividades a lo largo del proceso. UML (Unified Modeling Language) es considerado como el lenguaje estándar del modelado orientado a objetos.
- Técnicas de Workflow: Se define como una automatización o utilización mediante el ordenador de un Proceso de negocio (completamente o en parte), durante el cuál los documentos, la información o las tareas pasan de un participante a otro de acuerdo a un conjunto de reglas establecidas.

Según Aguilar-Saven (2004) las Arquitecturas de modelado utilizan las técnicas de modelado anteriormente citadas. En concreto GRAI-GIM utiliza (Figura 2-20):

	Dato	Proceso	Operación
Conceptual	Modelo de Datos Conceptual <i>Diagramas E-R</i>	Modelo de Proceso Conceptual <i>Rejilla GRAI</i> <i>Red GRAI</i>	Modelo Operacional Conceptual <i>IDEF0</i>
Organizacional	Modelo de Datos Organizacional <i>Modelos Relacionales</i> <i>Modelos de Red</i>	Modelo de Proceso Organizacional <i>Modelo de proceso MERISE</i>	Modelo Operacional Organizacional <i>IDEF0</i>
Físico	Modelos de Datos Físico <i>Herramientas de BBDD</i>	Modelo de Proceso Físico <i>Software y otras</i> <i>herramientas informáticas</i>	Modelo Operacional Físico <i>Máquinas y organización</i> <i>física del sistema de</i> <i>producción</i>

Figura 2-20. Marco de modelado GIM (Vernadat, 1996b)

Para Shen y otros (2004) los métodos y técnicas se clasifican en (Figura 2-21):

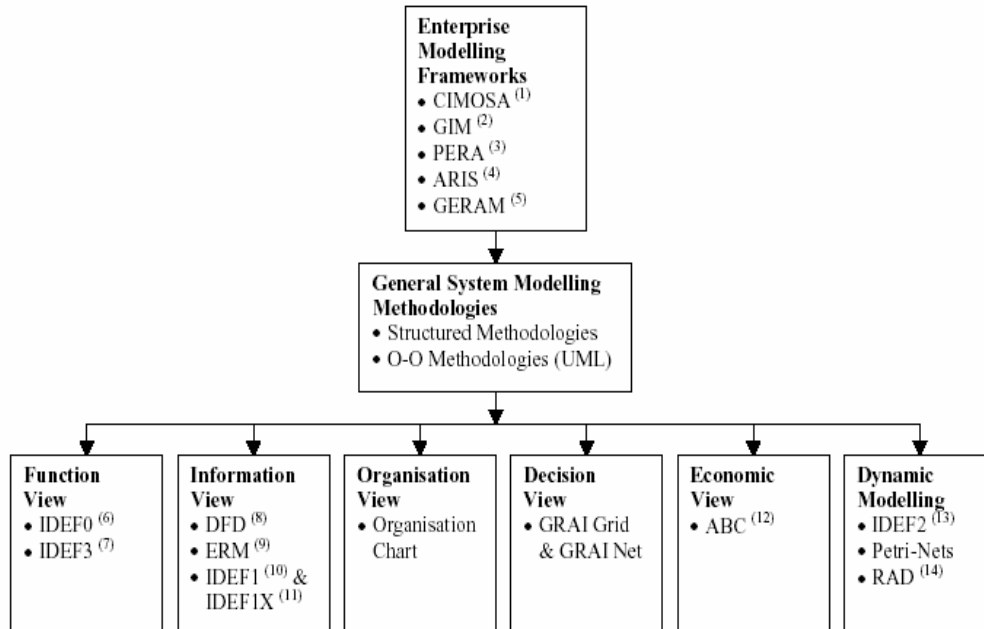


Figura 2-21. Clasificación de métodos y técnicas de modelado (Shen y otros, 2004)

En Cuenca y otros (2006) se describe el proceso de crear modelos de empresa con CIMOSA para las vistas funcional y de información, utilizando modelos que han sido previamente creados y utilizados en la empresa con técnicas de Diagrama de Flujo de Datos (DFD) o Casos de Uso de UML.

2.3.2.6 Terminología en la literatura

En el presente apartado se van a describir algunos términos y conceptos que se consideran importantes desde el punto de vista del Marco Conceptual propuesto.

2.3.2.6.1 Marco Conceptual

Chan y Choi (1997) proponen un Marco Conceptual, en base a las preguntas de ¿qué es? y ¿cómo es?, que permite identificar y definir claramente los principales aspectos y conceptos de la BPR, clasificados a partir de las propias características de la BPR (análisis fundamental, rediseño radical, mejoras espectaculares, orientación a procesos). El marco también se puede usar para identificar los roles de las tecnologías de la información en el marco de la BPR.

Se han encontrado algunos trabajos que, aunque no definen explícitamente el término “Marco Conceptual”, lo utilizan, incluso para nombrar la propuesta principal de los mismos o el contexto en el que

se desarrollan sus investigaciones (Cakravastia y Nakamura (2002); Lejeune y Yakova (2005)); que proponen un Marco para el modelado analítico del proceso de “Order Promising”.

Kosanke y otros (1999b) describen una Arquitectura y un Marco de modelado para la ingeniería e integración empresarial. La Arquitectura, no sólo suministra un concepto de modelado único, sino también una infraestructura de integración. Dicha infraestructura da soporte a la ingeniería de la empresa y usa los modelos de los procesos.

Melao y Pidd (2000) proponen un Marco Conceptual para el entendimiento de los Procesos de negocio y su modelado. Dicho Marco Conceptual sirve para organizar las diferentes visiones de los Procesos de negocio bajo cuatro apartados o epígrafes. También intenta proporcionar una discusión formada por las diversas corrientes del pensamiento, con sus fortalezas y limitaciones, en lo que respecta al modelado de Procesos de negocio.

2.3.2.6.2 Marco de referencia

Para Bernus y Nemes (1996), GERAM es un marco que recoge ordenadamente un conjunto de métodos y técnicas de modelado, herramientas y conceptos para el diseño y mantenimiento de empresas durante su ciclo completo de vida, suministrando una estructura completa para su uso. GERAM no es una nueva propuesta de Arquitectura de referencia empresarial, sino un marco para organizar el conocimiento existente en cuanto a integración empresarial.

2.3.2.6.3 Modelo

Doumeingts y Chen (1992) definen modelo como una representación abstracta y simplificada de la realidad. Un buen modelo amplifica las características importantes y encubre los detalles que no tienen importancia, o tienen poca, en un nivel de abstracción dado.

Según Supply Chain Council (2006), SCOR es un modelo de referencia de procesos que integra los conceptos más comunes de reingeniería de Procesos de negocio, benchmarking y medición de procesos en un marco multifuncional. Está diseñado para conseguir la comunicación efectiva entre los socios de la Cadena de Suministro, y se utiliza para describir, medir y evaluar las configuraciones de la Cadena de Suministro

El modelo SCOR proporciona un marco único que une los Procesos de negocio, los indicadores de gestión, las mejores prácticas y las tecnologías en una estructura unificada para apoyar la comunicación entre los socios de la Cadena de Suministro y para mejorar la eficacia de la gestión de la Cadena de Suministro.

Según este trabajo, un modelo de referencia de procesos contiene:

- Una descripción estándar de los procesos de gestión.
- Un marco de las relaciones entre los procesos estándares.
- Indicadores estándar para medir el rendimiento de los procesos.
- Las prácticas (o ejemplos de aplicación) que consiguen mejores resultados.
- Alineamiento estándar de características y funcionalidad.

Según Kosanke y otros (1999b), los modelos son abstracciones de una realidad dada. El grado de abstracción depende del uso que se le quiera dar al modelo.

Para Ong y otros (2005), un modelo de proceso es una representación de un conjunto de actividades.

Según Kosanke y otros (1999b), los modelos de Procesos de negocio describen, tanto las funcionalidades, como el comportamiento operacional de la empresa e identifican toda la información generada y requerida. Estos modelos son representaciones de los procesos que capturan las relaciones internas y externas. Utilizando técnicas de modelado, es posible representar con los Procesos de negocio el trabajo que se ha cumplimentado. Cada proceso tiene un suministrador que suministra las entradas y un cliente que recibe las salidas. La información que hace falta recoger en un proceso es: qué se hace, quién lo hace, cómo se hace y qué o quien depende de él.

En esta misma línea, Curtis y otros (1992) apuntan que un modelo de proceso es una descripción abstracta de un proceso actual o propuesto que representa aquellos elementos del proceso que se consideran importantes para el propósito del modelo y puede representarse o ejecutarse por un humano o una máquina. Por otra parte, en Giaglis (2001) se cita que los procesos pueden ser vistos como colecciones de modelos de decisión, cada uno de los cuales se identifica por un tipo de decisión y contiene una secuencia de tareas de procesado.

En Ortiz y otros (1999c), se indica que modelado es la técnica de generar modelos. Un modelo se define como “una representación de algo”, “una abstracción de una realidad expresada por medio de un lenguaje” o, citando a Pidd (1996) “una representación externa y explícita de una parte de la realidad tal y como la ve la gente que desea utilizarlo para entender, cambiar, gestionar y controlar esa parte de la realidad”.

2.3.2.6.3.1 Modelo General, Parcial, Particular, Concreto, Conceptual y de Referencia

Los modelos genéricos de CIMOSA (Figura 2-22), según Bernus y Nemes (1996), constan de definiciones semánticas de los conceptos que pueden utilizarse en la descripción de un caso concreto. Estos modelos genéricos describen el significado de los conceptos comunes relacionados con un único

tema o área temática. Los modelos genéricos empresariales capturan o describen conceptos que son comunes a todas las empresas.

La explicación de estos términos se puede encontrar, fundamentalmente, en los trabajos relacionados con CIMOSA (Abdmouleh y otros, 2004; Berio y Vernadat, 1999; Kosanke y Zelm, 1999).

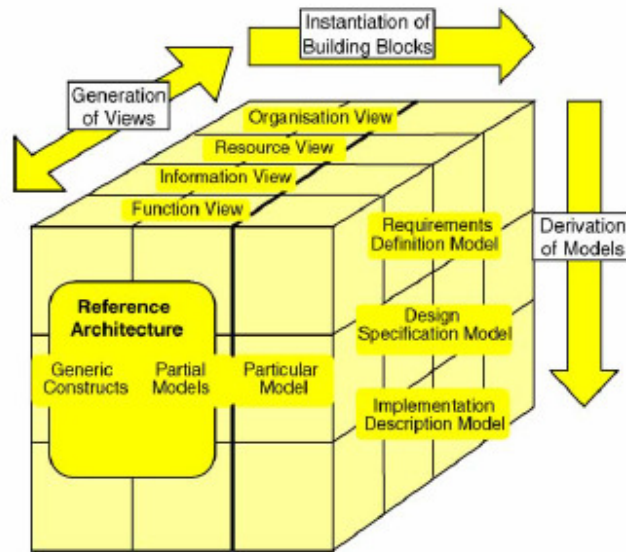


Figura 2-22. Marco de modelado de CIMOSA (Ortiz y otros, 2003)

En Ortiz y otros (2003) se indica que, para capitalizar el conocimiento empresarial y entender mejor cómo trabaja la empresa, se necesita una representación de la misma. También, para alcanzar la integración, es necesario que cada unidad empresarial entienda a las demás y comparta conocimiento. Por ello, la necesidad de representar y formalizar las operaciones y el conocimiento empresarial en forma de modelo es obvia. Un modelo parcial es una colección estructurada de constructores que describen un tipo de segmento o sector empresarial y se utiliza (como un marco abierto) para construir una gran variedad de casos particulares.

En Ortiz y otros (1999c), se indica que un modelo de referencia, según Willians (1989), es algo anteriormente aprobado, un documento estándar definitivo o una representación conceptual de un sistema.

Según Ortiz y otros (1999a), un modelo de referencia es un modelo parcial que puede utilizarse como base para desarrollo o evaluación de modelos particulares. También puede utilizarse como una referencia para obtener modelos particulares a partir de modelos predefinidos ¹⁰.

En el trabajo de Chen y otros (1997), se utiliza el término modelo conceptual para una figura de GRAI.

2.3.2.6.4 Proceso

Chan y Choi (1997) utilizan en su trabajo la definición de Hammer y Champy (1993b), “un proceso es una colección de actividades que utiliza uno o más tipos de inputs y crea un output que tiene valor para el cliente”.

Melao y Pidd (2000) indican que, la mayoría de la literatura, simplemente utiliza (o adapta) las definiciones aproximadas que han empleado los pioneros de la reingeniería, “un Proceso de negocio es un conjunto de actividades relacionadas que tienen valor para el cliente”.

Otros autores, sin embargo, argumentan que un Proceso de negocio se puede ver mejor como una transformación de entradas, provenientes de los suministradores, en salidas, dirigidas a los clientes, y que esta transformación puede descomponerse jerárquicamente en subprocesos y actividades. Otros autores entienden los Procesos de negocio como redes en las cuáles un número de roles colaboran e interactúan para alcanzar un objetivo¹¹. Como conclusión de la revisión de definiciones de Procesos de negocio, estos autores indican que el entendimiento de qué es un proceso influye, determina y condiciona el modelado de Procesos de negocio.

Abdmouleh y otros (2004) indican que es fundamental distinguir el concepto de actividad del de proceso. Una actividad define una pieza de funcionalidad de la empresa, mientras un proceso define una pieza de comportamiento de la empresa. Una actividad se define por lo tanto, como una acción que utiliza tiempo y recursos para realizar una tarea, con el fin de transformar una entrada en una salida. Cada tarea requiere capacidades o habilidades. Por otra parte, un proceso es un conjunto ordenado de actividades, cuya ejecución logrará algún objetivo de la empresa. Esta ejecución necesita activarse por algún motivo, llamado evento. Un proceso puede planificarse pero sólo en algunos casos programarse. Las actividades pueden programarse y necesitan la asignación de recursos.

¹⁰ El Modelo Analítico de Referencia planteado en el último apartado de este capítulo tendría como referencia lo indicado en esta última afirmación.

¹¹ Este hecho se verá claramente reflejado en la Visión Organizacional del Marco propuesto.

En el trabajo de Cheng-Leong y otros (1999) se citan siete elementos básicos para el modelado de un proceso, en el contexto de IDEF (Figura 2-23): proceso (conjunto de pasos o acciones que transforman un objeto), responsable del proceso (persona o agente responsable de la ejecución del proceso), autoridad (descripción, especificación o justificación de un proceso), control (condiciones que activan el proceso), entradas (objeto que entra al proceso), salida (objeto que sale del proceso) y mecanismos (recursos que utiliza el proceso).

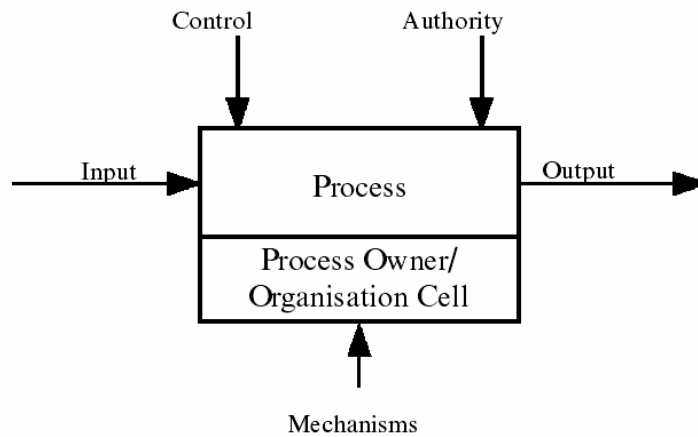


Figura 2-23. Elementos básicos para el modelado de procesos según IDEF (:Cheng-Leong y otros, 1999)

Según Ortiz (1998) un proceso se puede definir como “un conjunto de actividades relacionadas lógicamente que usan los recursos de cualquier tipo de la organización para proporcionar un producto de valor para el cliente”, entendiendo que actividad es el conjunto de tareas necesarias para la obtención de un resultado. Otras definiciones mencionadas en el trabajo citado son las de Harrington (1993), Morris y Brandon, (1993), Hammer y Champy, (1993a) y Spurr y otros (1994).

2.3.2.6.5 Arquitectura

Para Bernus y Nemes (1996) una Arquitectura y Metodología de Referencia empresarial genéricas incluye aquellos métodos, modelos y herramientas que se necesitan para construir empresas integradas. La Arquitectura es genérica porque se aplica a la mayoría, y potencialmente a todos, los tipos de empresa.

Bernus y Nemes (1996) enumeran en su trabajo los cuatro requerimientos principales que cualquier Arquitectura y cualquier metodología de referencia empresarial debería satisfacer, entre los cuales se cita, la existencia de un entorno de modelado consistente que conduzca al código ejecutable. El modelado debería poder cubrir un conjunto mínimo de vistas, pero este conjunto debería ser extrapolable a nuevas vistas. Las vistas de modelado deberían basarse en una teoría común, o meta-modelo, mediante el cual, las

vistas puedan relacionarse. El entorno de modelado ideal debería ser modular y extensible, más que un conjunto cerrado de modelos.

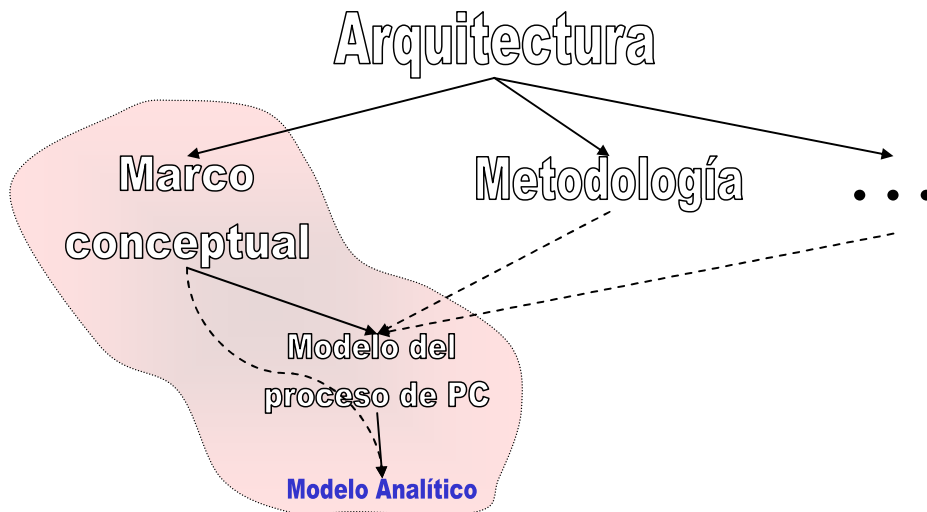


Figura 2-24. Relaciones entre los conceptos de Arquitectura, Metodología y Marco Conceptual. (Alarcón, 2007) ¹²

Doumeingts y Chen (1992) definen Arquitectura, en un contexto de CIM, como un conjunto estructurado de modelos que representan los bloques constructivos invariantes de todo el sistema CIM. La Arquitectura CIM se considera la base para el diseño y la implementación de sistemas CIM. Para estos autores, una buena Arquitectura CIM debería especificar sin ambigüedad, a un nivel alto de abstracción y en términos genéricos, una organización de la producción como una configuración de componentes. Ello asume que el propósito de una Arquitectura es mostrar cómo se puede integrar y controlar la organización de la producción.

Kosanke y otros (1999a) describen una Arquitectura y un marco de modelado para la ingeniería e integración empresarial (Figura 2-25). Dicha Arquitectura, no sólo proporciona un concepto de modelado único, sino también una infraestructura de integración.

¹² Esta figura será especialmente relevante en el esquema seguido en la presente Tesis, sobre todo en lo que concierne a la definición de los capítulos “base” de la propuesta (capítulos 4, 5 y 6).

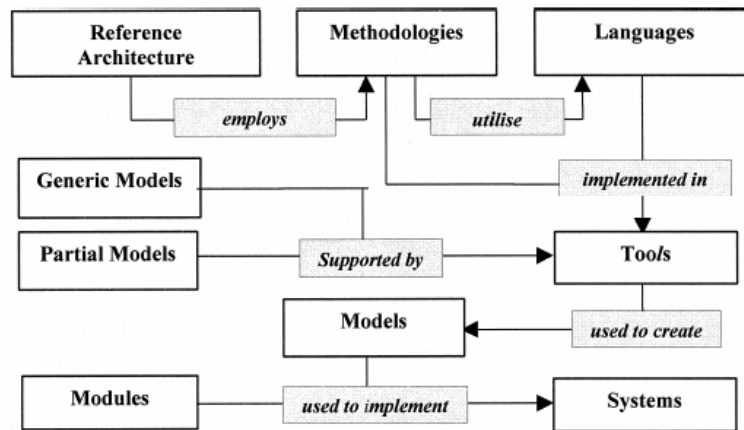


Figura 2-25. Arquitectura GERAM y Metodologías en el Marco EE&I. (Kosanke y otros ,1999a)

2.3.2.6.6 Formalismos de modelado

Doumeingts y Chen (1992) definen formalismos de modelado como un medio para representar piezas de conocimiento que deben transmitirse sin ambigüedad, y que permiten construir modelos según unos conceptos asociados. Las bases teóricas para los formalismos de modelado se pueden encontrar en la teoría de grafos, la teoría de lenguajes y estructuras lógicas, etc. Los formalismos de modelado que se usan para modelar sistemas de producción están asociados frecuentemente con herramientas gráficas; “un buen diagrama es normalmente mejor que un amplio discurso”.

Giaglis (2001) habla de los formalismos de representación, haciendo alusión a las características de la notación que se emplea para dicha representación. En este mismo trabajo se hacen mención algunos de los formalismos de modelado para las redes de Petri: nociones de color, tiempo y jerarquía.

2.3.3 Marcos Conceptuales

No es fácil localizar trabajos que definan o utilicen el término “Marco Conceptual”. Por otra parte, los trabajos en los que aparece dicho término, no suelen definirlo ni aclarar el significado que le conceden, limitándose a la aplicación del mismo. Por ello, no es fácil conocer el significado de dicho término, ni tampoco lo que conlleva la definición de un Marco Conceptual o de qué está formado normalmente, todo lo cual parece depender del punto de vista de quién los utiliza.

En la literatura consultada aparecen y se utilizan algunos términos que se acercan, o incluso se asemejan, al de Marco Conceptual, tales como Arquitectura, Arquitectura de referencia o Modelo de

referencia. Esta literatura se identifica, mayoritariamente, con el área de investigación sobre integración empresarial (IE).

En Ortiz y otros (1999c), por ejemplo, en donde se presentan y analizan conceptos relacionados con la IE y se muestran las características fundamentales de las propuestas más significativas que se han desarrollado en este campo (CIMOSA, GRAI y PERA), se indica que hay tres elementos muy relacionados con el concepto de IE: Modelado, Metodología y Arquitectura.

Para los autores citados, y en un contexto de IE, una Arquitectura es cualquier método (dibujo, modelo, descripción, etc.) para obtener la estructura que muestra la interrelación de todas las partes y/o funciones de un dispositivo, sistema o empresa. Una Arquitectura de referencia es una colección de las funciones genéricas totales, descripciones o comportamientos de muchos tipos de sistemas (a ser posible de todos) y sus estructuras asociadas.

A continuación se enumeran las características deseables de una Arquitectura de referencia, de entre las cuales se podría destacar, por su relevancia para esta Tesis, la posibilidad de generar modelos para empresas existentes así como para el diseño de nuevas empresas. Según se apunta, en muchos casos, cuando se utiliza el término Arquitectura, se hace referencia tanto a una Arquitectura como a una Metodología, lo cual indica cierta confusión respecto al entendimiento y empleo de ambos términos. En el trabajo de Ortiz y otros (1999a), citando a Vernadat (1996b), se define Arquitectura como “un conjunto finito de componentes interrelacionados unidos para formar un conjunto consistente definido por su funcionalidad”.

Por otra parte, también se indica en Ortiz y otros (1999c) que el consorcio CAM-I (Computer Aided Manufacturing Internacional) considera que una Arquitectura CIM no está destinada a dar respuesta a las complejidades de implementación de un sistema CIM, sino que debe usarse para construir un lenguaje común sobre algunos de los elementos identificados que comprenden un sistema CIM.

Una de las Arquitecturas más importantes, en lo que respecta a la Integración Empresarial (IE), es la Arquitectura abierta CIMOSA (Abdmouleh y otros, 2004; Berio y Vernadat, 1999; Kosanke y Zelm, 1999; Kosanke y otros, 1999a; Kosanke y otros, 1999b; Ortiz y otros, 1999a; Ortiz y otros, 1999c; Vernadat, 1996a; Vernadat, 1996b; Zelm y otros, 1995). Para CIMOSA, una Arquitectura abierta se compone de un conjunto de conceptos y reglas para facilitar la construcción de futuros sistemas CIM.

Los dos principales resultados del Proyecto ESPRIT 688, a partir del cual se propone CIMOSA, son la Estructura de Modelado y la Infraestructura de Integración. La estructura de modelado apoya todas las fases del ciclo de vida del sistema CIM, desde la definición de requerimientos, mediante la especificación de diseño, ejecución y descripción de implementación del funcionamiento diario de la empresa. Por otra parte, la Infraestructura Integradora provee de tecnología específica de información para

la ejecución del modelo particular de implementación, pero lo que es más importante, provee al vendedor portabilidad e independencia.

La “estructura de modelado” o “esqueleto de modelado” de CIMOSA se compone de tres dimensiones: dimensión de Generación o Bloques Constructivos, la cual representa el grado de particularización que identifica el conjunto de modelos posibles; dimensión de Vistas o Panoramas que representa la estructura y comportamiento de un modelo, considerando diversos aspectos de una empresa; y la dimensión Modelos de Empresa, mediante la cual se representa el ciclo de vida del modelo a partir de un punto de partida, que es la definición de los requisitos del modelo.

Abdmouleh y otros (2004) revisa distintos marcos o aproximaciones de modelado empresarial, tales como IDEF, GRAI, CIMOSA, PERA, GERAM, ARIS, Olympios o ACNOS, dando prioridad a los métodos que se centran en los Procesos de negocio. Entre ellos, CIMOSA fue el primero en proponer el concepto de sistema de modelado y control en base a los Procesos de negocio y no sólo sobre las actividades (como hacen previamente, por ejemplo, GRAI o IDEF)

En base al modelo conceptual de CIMOSA, se propone un meta-modelo para desarrollar los componentes de negocio requeridos en la propuesta que se desea hacer. El objetivo de este meta-modelo es ayudar en la gestión y diseño de Procesos de negocio durante la etapa de ingeniería empresarial. El meta-modelo cubre los aspectos funcional, informacional, de recursos y organizacional de las entidades de negocio de fabricación. Para representar la estructura estática del meta-modelo se utiliza un diagrama de clases expresado en UML (Unified Modeling Language).

Kosanke y otros (1999b) describen una Arquitectura y un marco de modelado para la Ingeniería e Integración Empresarial. La Arquitectura propuesta no sólo aporta un concepto de modelado unificado sino también una infraestructura. La infraestructura da soporte a la ingeniería completa de la empresa y utiliza modelos de procesos en las operaciones.

En la siguiente figura (Figura 2-26), del trabajo de Kosanke y otros (1999b), se relacionan varios de los términos relevantes, tales como Arquitectura de referencia, Modelos, Lenguajes o Metodologías.

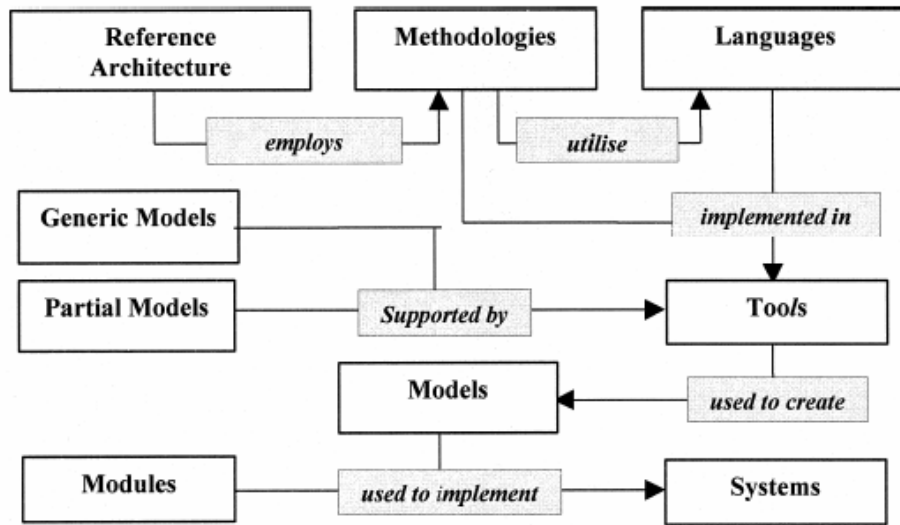


Figura 2-26. Esquema del marco GERAM (Kosanke y otros, 1999b)

PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) es una Arquitectura de referencia empresarial y es considerada otra de las tres Arquitecturas más importantes para la IE (según Ortiz y otros (1999c)). La estructura metodológica para la aplicación de la Arquitectura PERA consiste en cinco fases: conceptual, definición, ingeniería, construcción y operaciones. Si bien en las dos primeras fases, conceptual y definición, las actuaciones se organizan en dos grandes ramas o apartados, “estructura de información” y “estructura de fabricación”, a partir de la fase de ingeniería, y de cara a la implantación de lo definido hasta el momento, estas dos ramas se convierten en tres ramas o Arquitecturas de implantación: Arquitectura del sistema de información, Arquitectura de organización y recursos humanos, y Arquitectura de equipamiento para producción.

Por último, en el trabajo de Ortiz y otros (1999c), se analiza también la propuesta (concepto utilizado por los autores para hacer referencia a la suma de Arquitectura y Metodología) GRAI-GIM (GRAI – GRAI Integrated Methodology). El objetivo de GRAI-GIM es dar soporte a las fases de análisis y diseño de un sistema avanzado de fabricación. La primera parte proporciona las especificaciones orientadas al usuario y consiste en la construcción del modelo conceptual del sistema actual (fase de análisis) y su transformación en el modelo conceptual del modelo futuro (fase de diseño). La segunda parte proporciona las especificaciones orientadas a la tecnología, lo cual permite traducir el modelo conceptual del sistema futuro en tres categorías de especificaciones: tecnología de la información (software y hardware), tecnología de fabricación (equipos) y organización (sistema físico y estructura de gestión).

El elemento fundamental de esta propuesta es el modelo GRAI13. Este modelo tiene por objetivo proporcionar una descripción de un sistema de fabricación, incidiendo en la parte de control del mismo, y utilizando una visión global desde la perspectiva de los centros de decisión. En la siguiente figura (Figura 2-27) se representa el modelo conceptual de GRAI, en el que se pueden apreciar las tres perspectivas consideradas y sus conexiones.

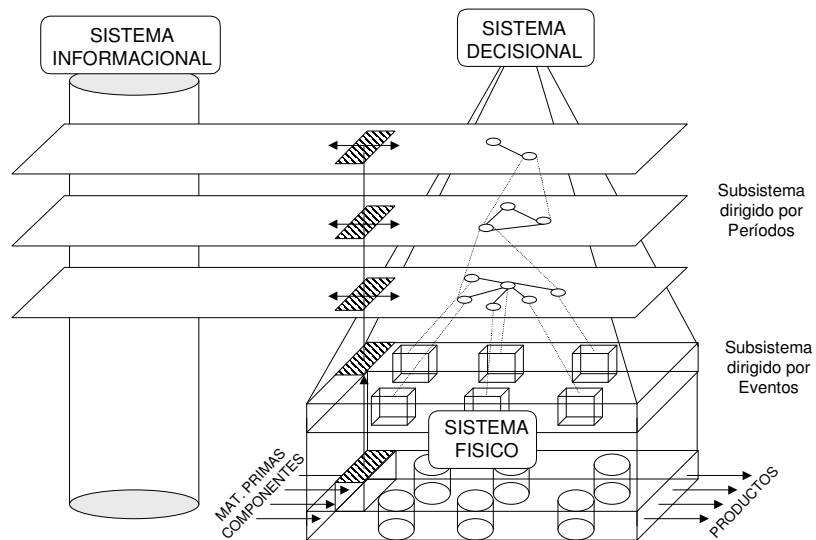


Figura 2-27. Modelo conceptual de LABGRAI (Ortiz y otros, 1999c)

El modelo conceptual GRAI representa tres sistemas o, lo que es lo mismo, se compone de tres vistas básicas: el sistema físico, el decisional y el de información. A estas tres vistas utilizadas en GRAI, se le añade una cuarta que es la funcional (GRAI-GIM), mediante la cual se muestran las principales funciones del sistema de fabricación y los flujos, de cualquier tipo, entre estas funciones (Figura 2-28).

¹³ Como se verá posteriormente en la Propuesta de Marco, el Modelo GRAI (adaptado a las características de la presente Tesis) también ha sido una de las principales referencias para la consideración de las diferentes Visiones que lo integran y en particular la Visión Decisional.

		DECISIONAL		FISICO		
		Actividades dirigidas por periodo	Actividades dirigidas por evento	Control de proceso	Rendimiento	
CONCEPTUAL	FUNCIONAL					
	INFORMACIONAL					
ESTRUCTURAL						
		IDEFO	Rejillas y Redes GRAI		GRAICO	IDEFO

Figura 2-28. GIM: su estructura de modelado y los formalismos utilizados (Ortiz y otros, 1999c)

En el trabajo de Biswas y Narahari (2004) se propone un Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (tanto estratégicas, como tácticas u operativas) y al modelado de redes y cadenas de suministro orientado al uso de Objetos. El sistema propuesto consta de dos tipos de objetos: objetos estructurales, mediante se puede modelar la estructura de la red de suministro y objetos para políticas, mediante los cuales se pueden especificar las políticas de funcionamiento de cada uno de los objetos estructurales (por ejemplo, para el objeto “planta de fabricación” puede haber una política de fabricación bajo pedido). Se indica que, cuando se crea un objeto de una Cadena de Suministro concreta, se crean instantáneamente un conjunto de variables asociadas a dicho objeto. A partir de este conjunto de variables asociadas a cada objeto, la creación de modelos analíticos para la ayuda a la toma de decisiones es automática.

En el trabajo de Biswas y Narahari (2004) se propone una infraestructura para el modelado de redes y cadenas de suministro que, llamada también Arquitectura por sus autores, se compone de una librería de objetos (se trata de una Arquitectura orientada a objetos) y de la descripción de las relaciones entre dichos objetos. En este sentido, la librería propuesta contiene objetos estructurales y objetos para políticas.

Reijers y Mansar (2005) proponen un marco para el rediseño de Procesos de negocio. Para ellos, el marco debe servir de ayuda para la identificación de los temas que deberían considerarse y cómo dichos temas se relacionan. En su trabajo sostienen que un Marco no es un Modelo de Procesos de negocio, es

más bien un conjunto explícito de ideas que ayuda a pensar en los Procesos de negocio, en un contexto de reingeniería.

Chan y Choi (1997) proponen un Marco Conceptual (y también Analítico), llamado SSM. Este marco, en base a las preguntas de qué es y cómo es, identifica y define claramente los principales aspectos y conceptos de la BPR (Business Process Reengineering), clasificados a partir de las propias características de la BPR (análisis fundamental, rediseño radical, mejoras espectaculares, orientación a procesos). El marco también se puede usar para identificar los roles de las tecnologías de la información en el marco de la BPR.

Abdmouleh y otros (2004) proponen un repositorio y una Arquitectura distribuida para el Modelado de Componentes Empresariales (EMC). Los componentes se utilizan por los diseñadores para la reingeniería de modelos particulares de negocio. Cada componente representa una parte de conocimiento del negocio de alguna parte de la empresa o de la red de empresas. El repositorio permite que los componentes se puedan compartir por los actores de la red de empresas.

Para estos autores hay muchas definiciones distintas de componentes, especialmente en un contexto de tecnología de software. Pero existen puntos comunes a todas las definiciones: los componentes deben ser independientes (que puedan ser manipulados por una única entidad) entregables (que producirá los resultados esperados) y reutilizables. Para los autores, un componente de negocio se define como un componente operacional cuya función es realizar servicios para uno o varios objetos de negocio empresariales. Aunque el trabajo de estos autores parece centrarse más en el diseño e implementación de aplicaciones, y el manejo de componentes necesario para ello, que en el diseño concreto y detallado de un Proceso de negocio.

En lo que respecta al Modelado Empresarial o de Cadenas de Suministro, Lejeune y Yakova (2005) indican en su trabajo que ninguno de los marcos conceptuales consultados proporcionan una caracterización de las distintas formas de la cadena. Estos autores proponen un Marco/Clasificación que se puede utilizar para comprender las distintas formas de Cadenas de Suministro, en especial aquellas que operan en contextos No-Centralizados (con distintos grados de relación/interdependencia), basado en las 4 C's: comunicación, coordinación¹⁴, colaboración, y cooperación.

Pontrandolfo y Okogbaa (1999) proponen una especie de Marco Conceptual para el desarrollo sistemático de modelos de empresas multinacionales ("global corporation") basados en la coordinación de la fabricación y de la logística. el Marco Conceptual propuesto permite modelar la Cadena de Suministro Global, modelar una etapa genérica de la Cadena de Suministro mediante el conjunto de variables que

¹⁴ En el trabajo de Romano (2003) también se definen los conceptos de coordinación e integración.

caracterizan la etapa y las principales relaciones entre ellas e identificar aquellas variables de cada etapa relacionadas con la coordinación global. Una de las principales utilidades del marco es la de facilitar la identificación y clasificación de las variables involucradas en la planificación de la fabricación de una multinacional.

Para ellos, el modelado de la Cadena de Suministro se basa en la consideración de cuatro etapas básicas: suministro de componentes, logística de entrada, plantas de ensamblaje final y logística de salida, señalando únicamente los nodos o plantas en cada una de las etapas consideradas (visión física) y las conexiones entre estos nodos en cuanto a flujo de materiales. El modelado de una etapa genérica de la cadena representa las interacciones mediante las relaciones entre las variables logísticas inherentes a cada etapa. Las variables se clasifican en grupos: variables de decisión (global o local), variables de rendimiento (externo e interno de la etapa), variables dependientes de otras etapas (previas o subsecuentes) y variables externas. A partir de una amplia lista de variables genéricas relacionadas con la planificación de la producción y la logística, se pueden identificar y clasificar las variables significativas de cada etapa en un problema o escenario de planificación global.

2.3.4 Proceso de Planificación Colaborativa en contextos de RdS/D.

Como ya se ha apuntado, Erenguc y otros (1999) establecen un marco de trabajo para el análisis de las Cadenas de Suministro desde una perspectiva operacional. Estos autores ofrecen una revisión y evaluación crítica de la literatura relevante sobre planificación de la producción/distribución en cada etapa de la cadena: etapa de suministro, etapa de fabricación (redes de transformación-fabricación, decisiones de transformación/asignación e inventario) y etapa de distribución (redes de distribución, decisiones de localización/asignación e inventario)

Según Chopra y Meindl (2001), en la fase de planificación, las empresas definen un conjunto de políticas de funcionamiento (políticas de operación) que determinan el desarrollo de las operaciones a corto plazo. Las decisiones que se toman en esta fase están acotadas por la configuración de la Cadena de Suministro determinada en la fase estratégica. Esta configuración establece las restricciones dentro de las cuales se debe realizar la planificación.

En Schiegg y otros (2003) se presenta un modelo de referencia que supone un marco para las actividades de planificación en un contexto de Cadena de Suministro. Este modelo tiene dos dimensiones: por un lado las actividades de la RdS/D pueden dividirse en tres niveles diferentes: configuración, planificación y control y por otro lado, las actividades de planificación se caracterizan por los Procesos de negocio al cual pertenecen: comprar, hacer, vender y entregar.

Fleischmann y Meyr (2002) y, de forma más amplia, Stadtler y Kilger (2002) incluyen una lista estructurada de los atributos que son relevantes en la función de planificación, a partir de la cual se pueden

clasificar las Cadenas de Suministro. La clasificación propuesta por estos autores enumera y categoriza en dos grandes bloques los atributos más importantes que caracterizan una Cadena de Suministro desde la óptica de la planificación: atributos funcionales y atributos estructurales. Asimismo, Stadtler y Kilger (2002) profundizan sobre el concepto de APS (Advanced planning system) en un contexto de Cadena de Suministro.

En el trabajo de De Kok y Fransoo (2003) se aborda detalladamente el problema de la SCOP (Supply Chain Operations Planning), tanto desde un punto de vista estocástico como determinista. Estos autores citan las actividades de planificación como una de las más importantes, junto con las de fabricación y transporte.

Zoryk-Schalla y otros (2004) profundizan en el proceso de planificación, en sus distintos niveles, desde la experiencia que aporta un Proyecto de modelado del proceso de planificación de una empresa y su Cadena de Suministro. En este trabajo se apunta la importancia del proceso de agregación, el cual incluye la agregación de productos y recursos, y también de la agregación del propio proceso de toma de decisiones (se define la agregación como un proceso para simplificar un problema mediante la definición condensada o agregada de datos y variables de decisión).

Parece clara la dificultad del proceso de planificación como uno de los principales procesos decisionales que tiene lugar en la Cadena de Suministro. En este sentido, Biswas y Narahari (2004) apuntan algunas de las razones por las que la toma de decisiones en la Cadena de Suministro es un proceso complejo: la propia naturaleza, en cuanto a su magnitud y tamaño, de las Cadenas de Suministro, la estructura jerárquica de las decisiones, la aleatoriedad de varias de las entradas y operaciones, y la naturaleza dinámica de las interacciones entre los elementos de la misma.

Está aceptado por la mayoría de los investigadores consultados que la planificación es un proceso. En Scholz-Reiter y Höhns (2003), por ejemplo, se dice que planificación “es un proceso que intenta adaptar los recursos en función de los requerimientos de demanda esperados”.

Alarcón (2005) define la Planificación Colaborativa como “un proceso interactivo, en el que los clientes y proveedores de una cadena de valor, colaboran continuamente y comparten la información sobre la demanda para planificar conjuntamente sus actividades”.

Sin embargo, se han encontrado muy pocos trabajos que hablen detalladamente de las actividades que componen dicho proceso (de Planificación), aunque son más numerosos los que ubican el proceso en el marco de la actividad de la Empresa/Cadena de Suministro, tales como Chase y otros (2000); Chopra y Meindl (2001); Mize y otros (1973); Stadtler y Kilger (2002) y Vollmann y otros (1995).

Para Chopra y Meindl (2001), las empresas suelen comenzar la fase de planificación con una previsión de la demanda de los períodos a planificar en los diferentes mercados. La planificación incluye

decisiones dentro de las cuales están: los mercados que hay que suministrar desde cada localización, la acumulación de inventarios, la subcontratación o fabricación, las políticas de aprovisionamiento e inventario que se seguirán, las políticas de actuación en caso de roturas de stocks (por ejemplo, de qué otras localizaciones se puede servir a un determinado mercado que ha consumido todas las existencias del almacén más cercano) y la duración y tamaño de las promociones de marketing. La planificación agregada (que, dependiendo del nivel de agregación, se correspondería con la planificación táctica o, incluso, con la planificación estratégica), es un proceso mediante el cual una empresa determina los niveles de capacidad, producción, subcontratación, inventario, roturas de stock, e incluso el precio durante un horizonte específico de tiempo.

Graves y otros (1998) afirman en su trabajo que, la mayoría de las empresas que fabrican productos o piezas discretas, planifica su producción con sistemas MRP, o al menos con una lógica que se basa en los principios del MRP. Un sistema de planificación típico empieza con una previsión multiperiodo de demanda para cada producto final. El sistema de planificación desarrolla entonces un plan de fabricación (o programa maestro) para cada producto final en función de la previsión de demanda.

En Stadtler y Kilger (2002) y Fleischmann y Meyr (2002)¹⁵ se realiza un análisis de las diversas tareas de planificación en la Cadena de Suministro a partir de la Matriz de Planificación de la Cadena de Suministro (SCP-Matrix, Supply Chain Planning Matrix). Este análisis propone una clasificación de tres niveles para las decisiones de gestión en la Cadena de Suministro. Según esto y el horizonte de planificación, las tareas de planificación se relacionan con uno de los tres niveles de planificación siguientes: planificación a largo plazo, a medio plazo y a corto plazo.

Según Scholz-Reiter y Höhns (2003), el proceso de planificación balancea de forma agregada la demanda y el suministro, considerando un horizonte de planificación consistente, repetido en intervalos periódicos y regulares, que puedan hacer posible la respuesta a tiempo de la empresa.

2.4 Conclusiones

En este capítulo se ha realizado en primer lugar un análisis del significado del término **Planificación de Operaciones en Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)**, como uno de los principales procesos que se llevan a cabo en la Gestión (en su término más amplio) de RdS/D.

Asimismo, se ha constatado el interés actual por abordar la Planificación de Operaciones en contextos colaborativos (ó simplemente **Planificación Colaborativa**), como consecuencia de la necesidad de integración

¹⁵ Como se verá posteriormente en la Propuesta de Marco, estos trabajos también han sido de especial relevancia en la Tesis.

entre los diferentes actores pertenecientes a dichas RdS/D, ya sea **con menor o mayor grado de centralización**.

En este contexto de Planificación Colaborativa, se ha abordado en primer término qué significa el concepto de “Colaboración”, recogiendo todas las interpretaciones y matices y los distintos **grados** con las que ésta se puede dar. En segundo término, cuáles son las **ventajas/desventajas** que conlleva Planificar Colaborativamente y en tercer y último término qué tipos de **integración** pueden existir en el citado contexto.

En cuanto a esto último, la Planificación Colaborativa requiere de dos tipos de integración que, en el caso más general, deberán combinarse adecuadamente: la integración temporal y la integración espacial.

Con respecto a la **integración temporal** se observa la necesidad de coordinar adecuadamente decisiones de planificación en diferentes escalas temporales. Para conseguirlo existen dos visiones claramente diferenciadas: la planificación simultánea de los niveles y la planificación jerárquica. Son diversos los autores (Fleishmann y Meyr 2003; Schneweiss 1999) que apuntan diferentes razones para abordar la anterior cuestión según el enfoque jerárquico. A la hora de lograr una integración temporal exitosa según la filosofía jerárquica, los principales obstáculos a evitar son el tema de la infactibilidad y la suboptimalidad.

Por su parte la **integración espacial** pretende coordinar a nivel de planificación las diferentes entidades de la RdS/D. Según el grado de coordinación (colaboración) entre las diferentes entidades de la RdS/D para un nivel de planificación dado (táctico u operativo) se puede plantear una planificación centralizada o descentralizada. Muy estrechamente relacionado con este tema se encuentra el tema de la información disponible por cada una de las entidades integrantes de la RdS/D. De especial interés para abordar este tema se ha considerado el marco propuesto por Schneweiss (2003 a y 2003 b) que habla de la toma de decisiones distribuida para aquellas situaciones en las que se encuentran involucrados más de un decisor. Este autor presenta una clasificación de dichos sistemas DDM de acuerdo al número de decisores implicados, la simetría o asimetría de la información y el carácter de equipo o no equipo. Dentro de dicho marco, se lleva a cabo una caracterización de los problemas DDM según el grado de conectividad decreciente, empezando con los aliados más estrechamente relacionados para acabar con las unidades decisionales débilmente coordinadas.

De los trabajos consultados parece claro que el punto de partida a la hora de abordar la Planificación Colaborativa en el medio y corto plazo (sin llegar al máximo nivel de detalle) viene dado por las restricciones establecidas al nivel de configuración. Partiendo de dichas limitaciones se encuentra ampliamente aceptada una planificación de la RdS/D en varias fases y de modo jerárquico (Kreipl y Pinedo, 2004): una primera fase que implicaría un proceso de planificación multietapa a medio plazo que trabajaría con datos agregados y una última fase, más a corto plazo, de las entidades por separado. Sin

embargo, a la hora de establecer el número de niveles intermedios entre los dos anteriores se plantean diferentes opciones que contemplan la posibilidad de trabajar con la SC como un todo, a nivel de etapa o incluso a nivel de entidad de la etapa. Es por ello por lo que será importante la **estructura organizativa de la RdS/D, lo cuál supeditará en gran parte, cómo se tomen las decisiones de Planificación,**

Una vez contextualizado el Proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D, se ha hecho un análisis bibliográfico de los **diferentes Marcos (conceptuales)**¹⁶ **que existen para el Modelado de dicho Proceso.**

La mayoría de la literatura que puede aportar información relevante para el desarrollo de un Marco Conceptual de ayuda al Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa (PC) (y en su caso, para su posterior Modelado Analítico) en contextos de RdS/D proviene del **área de Modelado, Ingeniería e Integración Empresarial.** En dicha área, y según Ortiz y otros (1999c), la metodología CIMOSA adopta un marco de modelado uniforme y es considerada la más estándar de entre las metodologías de Integración Empresarial más importantes.

Según Berio y Vernadat (1999), a pesar del gran progreso que había experimentado el modelado empresarial hasta esa fecha, las aproximaciones propuestas hasta entonces seguían siendo descriptivas, utilizando su propia notación gráfica y centradas, sobre todo, en aspectos funcionales e informacionales. Sólo en fechas muy próximas a la publicación del citado trabajo se habían desarrollado aproximaciones orientadas a workflow o basadas en procesos para representar el comportamiento de la empresa de manera precisa. Además, para evitar situaciones de confusión en este campo, existe la necesidad de desarrollar un lenguaje de modelado empresarial unificado con sintaxis y semántica precisa, la cual podría utilizarse como un “interface” estándar para todas las herramientas en este campo. El vínculo entre un nivel alto de modelado (por ejemplo los modelos de procesos) y un modelado analítico detallado (por ejemplo, las redes de Petri o los diagramas de transición de estados) necesitan ser más explícitos.

La gran mayoría de literatura encontrada en esta área se centra en un **ámbito de uni-empresa,** aunque algunos trabajos demuestran la utilidad de propuestas de Integración Empresarial en contextos de Cadena de Suministro o Cadena Extendida, como el caso de CIMOSA (Kosanke y otros, 1999a).

Sin embargo, la literatura consultada no precisa ni aclara:

- qué conceptos deberían utilizarse para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa.
- qué actividades forman parte de dicho proceso.

¹⁶ Si bien algunos de los Marcos incluían aspectos analíticos.

- qué características especiales tiene el modelado del proceso de Planificación Colaborativa en entornos colaborativos.

Lo que sí parece estar claro en la literatura consultada es la **complejidad de los Marcos que incluyen todos los aspectos necesarios para la obtención de modelos integrados** (Kosanke y Zelm, 1999). Esta complejidad radica, fundamentalmente, en que cada tipo de modelo o vista utiliza una simbología y formatos y/o elementos de representación distintos y difícilmente integrables, en el volumen de información que se debe manejar en un modelo que integre varias vistas, y en la dificultad de decidir un nivel de detalle homogéneo y coherente para cada una de las vistas que conforman un modelo integrado. Por todo ello, algunos trabajos hablan de **elegir un modelo o vista base sobre la cual ir añadiendo las demás vistas o modelos**¹⁷. Lógicamente, la elección del modelo base condicionará el aspecto final del modelo integrado, reforzando y resaltando aquella vista o modelo que se considera más importante, aunque enriqueciéndola con las demás, que pudieran ser parcialmente sacrificadas o adaptadas con el fin de lograr una integración y un enriquecimiento global. En este sentido, Melao y Pidd (2000) apuntan cuándo es aconsejable utilizar cada una de las cuatro visiones de Procesos de negocio que explican en su trabajo.

Un asunto importante en la temática abordada es el de la **terminología y la semántica utilizada**. Aguilar-Saven (2004) hablan, por ejemplo, de la confusión que se puede llegar a crear entre técnicas de modelado y metodologías. Aunque la confusión abarca más términos y conceptos, además de los dos citados anteriormente, tales como Arquitectura, Marco Conceptual o Modelo de Referencia. CIMOSA por ejemplo es una Arquitectura que incorpora o incluye una metodología para la Integración Empresarial y técnicas de modelado propias, entre otras cosas. IEM (Integrated Enterprise Modelling) es una metodología para el modelado que utiliza, como técnica de modelado, a IDEF0, mientras que la metodología GRAI para el modelado empresarial utiliza su propia técnica llamada “rejilla GRAI” para el modelado de los procesos, desde una perspectiva fundamentalmente decisional.

Otros aspectos que se derivan de la revisión realizada son:

- el Marco Conceptual no debería llegar a concretar qué técnica y lenguaje de modelado se debe utilizar, sino qué conceptos deben manejarse por la técnica y lenguaje de modelado que finalmente se escojan, aunque en ocasiones se integra esto último.
- usar el modelo correcto requiere tener en cuenta el propósito del análisis que se desea llevar a cabo y conocer las técnicas y herramientas de modelado de procesos disponibles (Aguilar-Saven, 2004).

¹⁷ Esta idea será determinante en la propuesta de Marco realizada.

- crear un modelo requiere métodos y herramientas para la abstracción, representación y manipulación del modelo. Los métodos de modelado deben guiar en el proceso completo de modelado, desde la observación de una realidad hasta el uso del modelo y su mantenimiento (Kosanke y otros, 1999b).
- Dada la complejidad de los modelos a utilizar, tanto en términos de número de componentes como en cuanto a las relaciones existentes entre ellos, a menudo se recomienda una aproximación de modelado modular e incremental (Berio y Vernadat, 1999).

En cuanto a la **vista de información**, se desprende que las Arquitecturas proceden de distintas áreas de conocimientos, y esto hace que existan algunas Arquitecturas más orientadas al modelado de los procesos empresariales y su posible re-ingeniería, y otras orientadas a la implementación de Tecnologías de la Información en la empresa. La vista de información es una perspectiva en la que coinciden las Arquitecturas revisadas. Aunque no coinciden en el contenido, ya que para algunas Arquitecturas (CIMOSA, ARIS) se limita a la identificación y representación de los objetos de información, y para otras (GRAI, ISO/DIS 19439) incorpora, además, el procesamiento y transformación de la información.

Finalmente, como **conclusiones finales**, que ayudarán en la elaboración de la propuesta de Marco y Metodología desarrolladas en los capítulos 4, 5 y 6 de la Tesis, reseñar:

- La necesidad cada vez mayor de que **los procesos de Planificación de Producción/Operaciones en Redes de Suministro/Distribución se adapten a “contextos colaborativos”**, en las que las diferentes Empresas, aunque separadas y de diferentes características, con sus propios objetivos y voluntad en cuanto a intercambio de información, están dispuestas a “colaborar” entre sí en aras de mayores beneficios. Lo anterior ha hecho que hayan aparecido muchos trabajos que tengan como objetivo su **Modelado**.
- La ausencia en la literatura de **Marcos que integren todos los elementos que afecten al Modelado del proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D**. El desarrollo de los Modelos se ha focalizado fundamentalmente en aspectos puramente decisionales (Vista Decisional) directamente ligados a aspectos físicos (Visión Física), dejando de lado, en muchas ocasiones, otras igualmente importantes como son las Vistas Organizacional e Informativa y la típica de Procesos o Visión Funcional.
- La escasez de trabajos en la literatura que consideren **simultáneamente la integración de tipo temporal y espacial** en cualquier escenario decisional que pueda establecerse en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, ya sean escenarios centralizados o

descentralizados/distribuidos. La mayoría de los trabajos consultados sólo son válidos para situaciones muy específicas o sólo consideran un tipo de Interdependencia al mismo tiempo.

- La **escasez de Marcos que incluyan tanto** aspectos/elementos puramente **conceptuales** que faciliten el Modelado integrado del Proceso, como aspectos/elementos **analíticos** que faciliten el Modelado Analítico del mismo.

En el **siguiente capítulo**, para completar el Estado del Arte, se realiza un **análisis de los Modelos Analíticos (en contexto determinista) existentes de ayuda a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D**, y más específicamente aquellos Modelos basados en Programación Matemática. Su análisis permitirá detectar cuáles son sus principales carencias con respecto a lo que la realidad sugiere.

Lo anterior permitirá complementar los aspectos conceptuales del Marco propuesto (capítulo 4), para el Modelado integrado del Proceso, con todos aquellos aspectos analíticos que faciliten también su Modelado Analítico.

2.5 Bibliografía

Abdmouleh, A.; Spadoni, M.; Vernadat, F. (2004). "Distributed client/server architecture for CIMOSA-based enterprise components". *Computers in Industry*, Vol. 55 (3), pp. 239-253.

Aguilar-Saven, R. S. (2004). "Business process modelling: Review and framework". *International Journal of Production Economics*, Vol. 90 (2), pp. 129-149.

Akintoye, A.; McIntosh, G.; Fitzgerald, E. (2000). "A survey of supply chain collaboration y management in the UK construction industry". *European Journal of Purchasing Management*, Vol. 6, pp. 159-168.

Akkermans, H.; Bogerd, P.; Doremalen, J. (2003). "Travail, transparency and trust: A case study of computer-supported collaborative supply chain planning in high-tech electronics". *European Journal of Operational Research*. Science Direct. Elsevier.

Alarcón, F.; Ortiz, A.; Alemany, M. M.; Lario, F.C. (2004). "Planificación Colaborativa en un contexto de varias cadenas de suministro: ventajas y desventajas". VIII Congreso de Ingeniería de Organización, Leganés, Madrid.

Alarcón, F. (2005). "Desarrollo de una Arquitectura para la definición del proceso de Comprometer Pedidos en contextos de Redes de Suministro Colaborativas. Aplicación a una Red compuesta por Cadenas de Suministro en los Sectores Cerámico y del Mueble". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Alemany M.M. (2003). "Metodología y Modelos para el Diseño y Operación de los Sistemas de Planificación Jerárquica de la Producción (PJP). Aplicación a una Empresa del Sector Cerámico". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Albino, V.; Izzo, C.; Kühtz, S. (2002). "Input-output models for the analysis of a local/global supply chain". *International Journal of Production Economics*, Vol. 78, pp. 119-131.

Angerhofer, B.J.; Angelides, M.C. (2000). "System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review". *Proceedings of the 2000 winter simulation conference*. Editado por Joines, Barton, Kang y Fishwick.

Berio, G.; Vernadat, F. (2001). "Enterprise modelling with CIMOSA: functional and organizational aspects". *Production Planning & Control*, Vol. 12 (2), pp. 128-136.

Berio, G.; Vernadat, F. B. (1999). "New developments in enterprise modelling using CIMOSA". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 99-114.

Bernus, P.; Nemes, L. (1996). "A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology". *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 9 (3), pp. 179-191.

Biswas, S.; Narahari, Y. (2004). "Object oriented modeling and decision support for supply chains". *European Journal of Operational Research*, Vol. 153 (3), pp. 704-726.

Cakravastia, A.; Nakamura, N. (2002). "Model for negotiating the price and due date for a single order with multiple suppliers in a make-to-order environment". *International Journal of Production Research*, Vol. 40 (14), pp. 3425-3440.

Calderón, L.; Lario, F. (2005). "Análisis del modelo SCOR para la Gestión de la Cadena de Suministro". IX Congreso de Ingeniería en Organización, Gijón .

Callioni, G.; Billington C. (2001). "Effective Collaboration". *OR/MS Today*, (<http://lionhrtpub.com/orms/orms-10-01/callioni-bilingtonfr.html>).

Chan, S. L.; Choi, C. F. (1997). "A conceptual and analytical framework for business process reengineering". *International Journal of Production Economics*, Vol. 50 (2-3), pp. 211-223.

Chase, R.; Aquilano, N.; Jacobs, R. (2000). "Administración de Producción y Operaciones". Ed. Mc Graw Hill.

Chen, D.; Vallespir, B.; Doumeingts, G. (1997). "GRAI integrated methodology and its mapping onto generic enterprise reference architecture and methodology". *Computers in Industry*, Vol. 33 (2-3), pp. 387-394.

Cheng-Leong, A.; Pheng, K. L.; Leng, G. R. K. (1999). "IDEF*: a comprehensive modelling methodology for the development of manufacturing enterprise systems". *International Journal of Production Research*, Vol. 37 (17), pp. 3839-3858.

Chopra, S.; Meindl, P. (2001). "Supply Chain Management". Prentice Hall. Cap. 2 y 5.

Christopher, M. (1998). "Logistics and Supply Chain Management: strategies for reducing cost and improving service". Second ed. London.

Christopher, M. (1998). "Logistics and Supply Chain Management: strategies for reducing cost and improving service". Second ed. London.

Cieminski, G.; Begemann, C.; Lutz, S.; Schneider, M.; Wiendahl, H.-P. (2003). "Collaborative Supply Chain Planning – A case study from the german cutting tool industry". Jagdev, Wortmann, & Pels, eds., pp. 83-97

CIMOSA Association, (1996). "CIMOSA Technical Baseline. Version 3.2." http://www.cimosa.de/Modelling/FRB_BusMod97.html . 1996. 16-5-2006.

Croom, S.; Romano, P.; Giannakis, M. (2000). "Supply chain management: an analytical framework for critical literature review". *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 6, pp. 67-83.

Cuenca, L.; Ortiz, A.; Vernadat, F. (2006). "From UML or DFD models to CIMOSA partial models and enterprise components". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19 (3), pp. 248-263.

Curtis, B.; Kellner, M. I.; Over, J. (1992). "Process Modeling". *Communications of the Acm*, Vol. 35 (9), pp. 75-90.

Dekker, H.C. (2003). "Value chain analysis in interfirm relationships: a field study". *Management Accounting Research*, Vol. 14, pp. 1-23.

De Kok, Ton G.; Fransoo, Jan C. (2003). "Planning Supply Chain Operations: Definitions and Comparison of Planning Concepts". Chapter 12 in *Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, Volume 11 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, A.G. de Kok and S.C. Graves Editors.

Disney, S.M.; Naim, M.M.; Porter, A. (2003). "Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics". *International Journal of Production Economics*.

Doumeingts, G.; Chen, D. (1992). "State-Of-The-Art on Models, Architectures and Methods for Cim Systems-Design". *Ifip Transactions B-Applications in Technology*, Vol. 3, pp. 27-40.

Dzielinski B.P.; Baker C.T.; Mann A.S.(1963). "Simulation Tests of Lot Size Program". *Management Science*, Vol. 9 (2), pp. 310-321.

Dzielinski B.P.; Gomory R.E.,(1965). "Optimal programming of lot sizes inventory and labor allocations". *Management Science*, Vol. 11 (9), pp. 874-890.

Equi L.; Gallo, G.; Marziale, S. (1997). "A combined transportation and scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 1, 94-104.

Erengüc S.; Simpson N.; Vakharia A. (1999). "Integrated production-distribution planning in supply chains: and invited review". *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp. 219-236

Fink, A. (2004). "Supply Chain Coordination by Means of Automated Negotiations". *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-37)*, IEEE.

Fleischmann, B.; Meyr, H. (2002). "Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning". Ed. North-Holland, Amsterdam.

Fleishmann B.; Meyr H., (2003). "Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems". Handbooks in OR&MS, Vol. 11, pp. 457-523, Kok and Graves (eds.), Elsevier B.V.

Ganeshan, R.; Jack, E.; Magazine, M. J.; Stephens, P. (1999). "A taxonomic review of supply chain management research". Quantitative models for Supply Chain Management, S. Tayur, R. Ganeshan, y M. J. Magazine, eds., pp. 839-879.

Giaglis, G. M. (2001). "A taxonomy of business process modeling and information systems modeling techniques". International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 13 (2), pp. 209-228.

Glykas, M.; Valiris, G. (1999). "Formal methods in object oriented business modelling". Journal of Systems and Software, Vol. 48 (1), pp. 27-41.

Gnoni, M. G.; Iavagnilio, R.; Mossa, G.; Mummolo, G.; Di Leva, A. (2003). "Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modelling: A case study from the automotive industry". International Journal of Production Economics, Vol. 85 (2), pp. 251-262.

Graves S.C. (1982). "Using Lagrangian techniques to solve hierarchical production planning problems", Management Sciences, Vol. 28 (3), pp. 260-275.

Graves, S. C.; Kletter, D. B.; Hetzel, W. B. (1998). "A Dynamic Model for Requirements Planning with Application to Supply Chain Optimization". Operations Research, Vol. 46 (3), pp. 35-49.

Grossmann, I. (2005). "Enterprise-wide Optimization: A new frontier in Process System Engineering". AIChE Journal, Vol. 51 (7), pp. 1846-1857.

Hammer, M.; Champy, J. (1993a). "Re-engineering the corporation". Ed. Harper Collins.

Hammer, M.; Champy, J. (1993b). "Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution". Ed. Harper Business New York.

Harrington, H. J. (1993). "Business Process Improvement". Ed. McGraw-Hill.

Heikkilä, J. (2002). "From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction". Journal of Operations Management, Vol. 20, 747-767.

Holt C.C.; Mondigliani F.; Muth J.F.; Simon H.A., (1960). "Planning Production, Inventories and Workforce". New Jersey: Ed. Prentice Hall.

Kettinger, W. J.; Teng, J. T. C.; Guha, S. (1997). "Business process change: A study of methodologies, techniques, and tools". Mis Quarterly, Vol. 21 (1), pp. 55-80.

Kim, B. (2000). "Coordinating an innovation in supply chain management". European Journal of Operational Research, Vol. 123, pp. 568-584.

- Kosanke, K.; Vernadat, F.; Zelm, M. (1999a). "CIMOSA: CIM open systems architecture evolution and applications in enterprise engineering and integration". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 79-81.
- Kosanke, K.; Vernadat, F.; Zelm, M. (1999b). "CIMOSA: enterprise engineering and integration". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 83-97.
- Kosanke, K.; Zelm, M. (1999). "CIMOSA modelling processes". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 141-153.
- Lambert, D. M.; Cooper, M. C. (2000). "Issues in Supply Chain Management". *Industrial Marketing Management*, Vol. 29, pp. 65-83.
- Lamming, R.; Johnsen, T.; Zheng, J. R.; Harland, C. (2000). "An initial classification of supply networks". *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20 (5-6), pp. 675-691.
- Lasdon L.S.; Tertung R.C.(1971). "An efficient algorithm for multi-item scheduling". *Operations Research*, Vol. 19 (4), pp. 946-969.
- Law, A. M.; Kelton, W. D. (1991). "Simulation Modelling and Analysis". Ed. McGraw-Hill, New York.
- Lejeune, M. A.; Yakova, N. (2005). "On characterizing the 4 C's in supply chain management". *Journal of Operations Management*, Vol. 23 (1), pp. 81-100.
- Malone, T.W.; Crowston, K. (1994). "The Interdisciplinary Study of Coordination". *ACM Computing Surveys*, Vol. 26 (1), pp. 87-119.
- Manne A.S. (1958). "Programming economic lot sizes". *Management Science*, Vol. 4 (2), pp. 114-135.
- Mansar, S. L.; Reijers, H. A. (2004). "Best practices in business process redesign: survey results amongst dutch and uk consultants". *International Research Conference on Innovations in Information Technology*.
- Mansar, S. L.; Reijers, H. A. (2005). "Best practices in business process redesign: validation of a redesign framework". *Computers in Industry*, Vol. 56 (5), pp. 457-471.
- Mansar, S. L.; Reijers, H. A.; Ounnar, F. (2005). "BPR Implementation: a Decision-Making Strategy". III *International Conference on Business Process Management*, Nancy.
- Manthou, V.; Vlachopoulou, M.; Folinias, D. (2003). "Virtual e-Chain (VeC) modelo for supply chain collaboration". *International Journal of Production Economics*.
- Mckay K.N.; Safayeni F.R.; Buzacott J.A. (1995). "A Review of Hierarchical Production Planning and its Applicability for Modern Manufacturing". *Production Planning & Control*, Vol. 6 (5), pp. 384-394.
- Mesarovic M.D.; Macko D.; Takaharra Y.(1970). "Theory of Hierarchical Multilevel Systems". Academic Press, Inc. New York.

- Min, H.; Zhou, G. G. (2002). "Supply chain modeling: past, present and future". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43 (1-2), pp. 231-249.
- Mize, J. H.; White, C. R.; Brooks, G. H. (1973). "Planificación y Control de Operaciones". Ed. Prentice Hall.
- Morris, D.; Brandon, J. (1993). "Reingeniería". Ed. McGraw-Hill.
- Nagi R. (1991), "Design and Operation of Hierarchical Production Management Systems". Tesis Doctoral, University of Maryland, College Park.
- Neiger, D.; Churilov, L. (2005). "A notion of a Useful Process Model Revisited: a Process Design Perspective", III International Conference on Business Process Management, Nancy.
- Nesheim, T. (2001). "Externalization of the core: antecedents of collaborative relationships with suppliers". *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 7, pp. 217-225.
- Ong, M. H.; West, A. A.; Monfared, R. P.; Harrison, R. (2005). "Application of enterprise modelling technique for specifying a component-based system". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B- Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 219 (9), pp. 649-664.
- Ortiz, A. (1998). "Propuesta para el desarrollo de programas de integración empresarial en empresas industriales. Aplicación a una empresa del sector cerámico". Universidad Politécnica de Valencia.
- Ortiz, A.; Lario, F.; Ros, L. (1999a). "Enterprise Integration-Business Processes Integrated Management: a proposal for a methodology to develop Enterprise Integration Programs". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 155-171.
- Ortiz, A.; Lario, F.; Ros, L.; Hawa, M. (1999b). "Building a production planning process with an approach based on CIMOSA and workflow management systems". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 207-219.
- Ortiz, A.; Poler, R.; Lario, F. C.; Vicens, E. (1999c). "Situación y líneas de investigación futuras en integración empresarial". *Información Tecnológica*, Vol. 10 (4).
- Phalp, K. T. (1998). "The CAP framework for business process modelling". *Information and Software Technology*, Vol. 40 (13), pp. 731-744.
- Pidd, M. (1996). "Tools for thinking". Ed. John Wiley.
- Poler, R.; Lario, F. C.; Doumeings, G. (2002). "Dynamic modelling of Decision Systems (DMDS)". *Computers in Industry*, Vol. 49 (2), pp. 175-193.
- Pontrandolfo, P.; Okogbaa, O. G. (1999). "Global manufacturing: a review and a framework for planning in a global corporation". *International Journal of Production Research*, Vol. 37 (1), pp. 1-19.
- Poundarikapuram S.; Veeramani D., (2004). "Distributed decision-making in supply chains and private E-marketplaces". *Production and Operations Management*, Vol. 13 (1), pp. 111-121.

Reijers, H. A.; Mansar, S. L. (2005). "Best practices in business process redesign: an overview and qualitative evaluation of successful redesign heuristics". *Omega*, Vol. 33, pp. 283-306.

Reyneri, C. (1999). "Operational building blocks for business process modelling". *Computers in Industry*, Vol. 40 (2-3), pp. 115-123.

Ribes I. (2005). "Estado del arte de la Planificación Colaborativa. Contexto determinista e incierto". X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia.

Romano, P. (2003). "Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks". *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, pp. 119-134.

Sabri, E. H.; Beamon, B. M. (2000). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design". *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 28 (5), pp. 581-598.

Scheer, A. V. (1992). "Architecture of integrated information systems. Foundations of enterprise-modelling". Ed. Springer-Verlang.

Schiegg, P.; Roesgen, R.; Mittermayer, H.; Stich, V. (2003). "Supply chain management systems – A survey of the state-of-the-art". Collaborative systems for production management, Ed. Jagdev, Wortmann y Pels (IFIP).

Schneeweiss, Ch. (1999). "Hierarchies en Distributed Decision Making". Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Schneeweiss, Ch. (2003a). "Distributed decision making in supply chain management". *International Journal of Production Economics*, Vol. 84, 71-83.

Schneeweiss, Ch. (2003b). "Distributed-Decision Making: a unified approach". *European Journal of Operational Research*. Vol. 150, 237-252.

Schneeweiss, Ch.; Zimmer K. (2004). "Hierarchical coordination mechanism within the Supply Chain". *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, pp. 687-703.

Scholz-Reiter, B.; Höhns, H. (2003). "Agent-based collaborative supply net management". Collaborative systems for production management, Ed. Jagdev, Wortmann y Pels (IFIP).

Seidmann, A.; Sundararajan, A. (1997). "The effects of task and information asymmetry on business process redesign". *International Journal of Production Economics*, Vol. 50 (2-3), pp. 117-128.

Shah, N. (2005). "Process industry supply chains: Advances and challenges". *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 29, pp. 1225-1235

Shapiro, J.F. (1999). "Bottom-up vs. Top-down approaches to Supply Chain Modelling". *Quantitative Models for Supply Chain Management*. Ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, Vol. 7, pp. 737-759.

- Shapiro, J.F. (2004). "Challenges of strategic supply chain planning and modelling". *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 28, pp. 855–861.
- Shen, H.; Wall, B.; Zaremba, M.; Chen, Y. L.; Browne, J. (2004). "Integration of business modelling methods for enterprise information system analysis and user requirements gathering". *Computers in Industry*, Vol. 54 (3), pp. 307-323.
- Småros, J.; Fåmling, K. (2003). "Peer-to-peer information systems - An enabler of collaborative planning, forecasting and replenishment". The ECOMLOG research program (www.tuta.hut.fi/ecomlog), Helsinki University of Technology.
- Spitter, J.M.; Hurkens C.A.J, De Kok A.G.; Lenstra J.K.; Negenman E.G. (2005). "Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning". *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 706–720.
- Spurr, K.; Layzell, P.; Jennison, L.; Richards, N. (1994). "Software Assistance for Business Re-Engineering". Ed. John Wiley&Sons.
- Stadtler, H.; Kilger, C. (2002). "Supply Chain Management and Advanced Planning". Hartmut Stadtler, Christoph Kilger, Editors, Springer.
- Stadtler, H. (2005). "Supply chain management and advanced planning - basics, overview and challenges". *European Journal of Operational Research*, Vol. 163 (3), pp. 575-588.
- Stockon D. J.; Quinn, L. (1995). "Aggregate Production Planning Using Genetic Algorithm". *Proc. Instn. Mech. Engrs*, Vol. 209, pp. 201-209.
- Supply Chain Council. (2006). "Supply-Chain Operations Reference-model". http://www.supply-chain.org/galleries/default-file/SCOR%20Overview%207.0%201_06.pdf. 2006. 5-5-2006.
- Tan, K.C. (2001). "A framework of Supply Chain Management literature". *European Journal or Purchasing & Supply Management*, Vol. 7, pp. 39-48.
- Thonemann, U.V. (2002). "Improving supply-chain performance by sharing advance demand information". *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, pp. 81-107.
- Toh, K. T. K. (1999). "Modelling architectures: a review of their application in structured methods for information systems specification". *International Journal of Production Research*, Vol. 37 (7), pp. 1439-1458.
- Tyler, B.B. (2001). "The complementarity of cooperative and technological competencies: a resource-based perspective". *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 18 (1), pp. 1-27.
- Valiris, G.; Glykas, M. (1999). "Critical review of existing BPR methodologies. Need for a holistic approach". *Business Process Management Journal*, Vol. 5 (1), pp. 65-86.

Van Landeghem, H.; Vanmaele, H. (2002). "Robust planning: a new paradigm for demand chain planning". *Journal of Operations Management*, Vol. 20 (6), pp. 769-783.

Veen, J.A.A.; Venugopal, V. (2001). "Win-Win situations in Supply Chain partnerships: a tutorial". <http://ideas.repec.org/p/dgr/nijrep/2000-01.html>. Acceso en nov-2003.

Vernadat, F. B. (1996a). "Enterprise integration: On business process and enterprise activity modelling". *Concurrent Engineering-Research and Applications*, Vol. 4 (3), pp. 219-228.

Vernadat, F. B. (1996b). "Enterprise modelling and integration: principles and application". Ed. Chapman and Hall, London.

Vicens E.; Alemany M.M.; Andrés C.; Guarch J.J. (2001). "A design and application methodology for hierarchical planning decision support systems in an enterprise integration context". *International Journal of Production Economics*, Vol. 74 (1-3), pp. 5-20.

Vollmann, T. E.; Berry, W. L.; Whybark, D. C. (1995). "Sistemas de Planificación y control de la fabricación" Ed. Irwin.

Willians, T. J. (1989). "A reference Model for Computer Integrated Manufacturing (CIM). "A description from the Viewpoint of Industrial Automation, CIM Reference Model Committe". *International Purdue Workshop on Industrial Computer Systems*, Ed. T. J. Willians, Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina.

Winters, P.R. (1962). "Constrained inventory rule of production smoothing". *Management Sciences*, Vol. 8 (4), pp. 470-481.

Zelm, M.; Vernadat, F. B.; Kosanke, K. (1995). "The Cimos Business Modeling Process". *Computers in Industry*, Vol. 27 (2), pp. 123-142.

Zoryk-Schalla, A. J.; Fransoo, J. C.; de Kok, T. G. (2004). "Modeling the planning process in advanced planning systems". *Information & Management*, Vol. 42 (1), pp. 75-87.

3 . Estado del Arte de los Modelos Analíticos deterministas para la Planificación Colaborativa en Redes de Suministro/Distribución

3.1	Introducción.....	7
3.2	Modelos para la Gestión de Redes de Suministro/Distribución	7
3.2.1	Clasificación de los Modelos para la Gestión de RdS/D.....	7
3.2.1.1	Según Tipo de Problema.....	8
3.2.1.2	Según Enfoque de Modelado.....	8
3.2.2	Modelos Conceptuales y Analíticos & Modelos de Configuración y Coordinación	9
3.2.3	Modelos Conceptuales	10
3.2.3.1	Problemas de tipo Configuración	10
3.2.3.1.1	Modelo SCOR.....	10
3.2.3.1.2	Modelo de Empresa Extendida.....	11
3.2.3.1.3	Modelo de Empresa Virtual.....	11
3.2.3.1.4	Modelo Integrado de GCS.....	11
3.2.3.1.5	Modelo AMT.....	11
3.2.3.2	Problemas de tipo Coordinación.....	12
3.2.3.2.1	Metodología basada en la matriz SCP y Sistemas Avanzados de Planificación .	12
3.2.3.2.2	Metodología IE-GIP	12
3.2.3.2.3	Arquitectura MASCOT	12
3.2.3.2.4	Modelo MOMENT	12
3.2.3.2.5	Modelo ECR.....	13
3.2.3.2.6	Modelo CPFR.....	13
3.2.3.2.7	Modelo QR.....	13
3.2.3.2.8	Modelo VMI.....	13
3.2.3.2.9	Modelo de posicionamiento estratégico del Punto de Desacople	14
3.2.3.2.10	Modelo de Fabricación Colaborativa.....	14
3.2.4	Modelos Analíticos	14
3.2.4.1	Problemas de tipo Configuración	14
3.2.4.1.1	Selección de Proveedores y Subcontratación	14
3.2.4.1.2	Diseño de RdS/D considerando aspectos Tácticos-Operativos	15
3.2.4.1.3	Diseño de la Red de Producción-Distribución.....	15
3.2.4.1.4	Diseño de RdS internacionales	16
3.2.4.2	Problemas de tipo Coordinación.....	16
3.2.4.2.1	Compras y Contratos	16
3.2.4.2.2	Políticas de Reaprovisionamiento.....	17

3.2.4.2.3	Planificación y Programación de la Producción Colaborativas	18
3.2.4.2.4	Sistemas de Producción-Distribución Integrados.	18
3.3	Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D.....	19
3.3.1	Introducción.	19
3.3.2	Metodología para el análisis de la bibliografía	21
3.3.3	Utilización de MAD para la PC. Parámetros para su clasificación.	21
3.3.4	Propuesta para la clasificación de los MAD para la PC.....	31
3.3.5	Clasificación y principales características de los MAD analizados.....	33
3.4	Conclusiones	41
3.5	Bibliografía	44

Índice de Figuras

Figura 3-1. Clasificación del sistema analizado en diferentes tipos de redes (Rudberg y Olhager, 2003)..	25
Figura 3-2. La coordinación dependiente de la configuración de la red (Rudberg y Olhager, 2003)	25
Figura 3-3. Contribución de las diferentes ciencias a la SCM (Schneweiss, 2003a).....	27

Índice de Tablas

Tabla 3-1. Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia)	8
Tabla 3-2. Ubicación de los Modelos analizados en la Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia)	10
Tabla 3-3. Ubicación del Estado del Arte sobre “Modelos Analíticos para la Planificación Colaborativa en contexto Determinista” en la Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia).....	20
Tabla 3-4. Tabla resumen con las principales características de los Modelos Analíticos Deterministas analizados (elaboración propia)	34
Tabla 3-5. Tabla resumen (continuación) con las principales características de los Modelos Analíticos Deterministas analizados (elaboración propia)	35

3.1 Introducción

Tal y como se comentó en el primer capítulo, y en particular en el apartado correspondiente a la Metodología de Investigación, el Estado del Arte contemplaba dos grandes bloques:

- Marcos Conceptuales para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de RdS/D (capítulo 2)
- Modelos Analíticos (deterministas) del Proceso de Planificación Colaborativa de RdS/D (capítulo 3).

En este capítulo 3, por tanto, se realiza una revisión bibliográfica de los **Modelos Analíticos de ayuda a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación de Operaciones en RdS/D, en contextos más o menos colaborativos**.

En primer lugar se ha creído conveniente realizar un análisis de los Modelos (en general) que abordan la Gestión de Redes de Suministro/Distribución, “paraguas” bajo el cual se encuentra un proceso de Negocio específico, el de la Planificación Colaborativa.

En segundo lugar se realizará propiamente el Estado del Arte sobre **Modelos Analíticos (Deterministas)** para el proceso de Planificación Colaborativa, para lo cual se ha propuesto una **Metodología** de actuación, definiéndose una **taxonomía propia para la clasificación de los diferentes artículos**.

3.2 Modelos para la Gestión de Redes de Suministro/Distribución

3.2.1 Clasificación de los Modelos para la Gestión de RdS/D

A partir del análisis de algunas clasificaciones de los Modelos existentes para la Gestión de RdS/D, se optó por aquella en la que se distinguen 2 dimensiones: el tipo de problema (TP) y el enfoque de modelado (EM) (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Dicha taxonomía de clasificación se ha tomado como punto de partida inicial para clasificar los modelos de los artículos analizados.

TP / EM	M. Conceptuales	M. Analíticos	M. I. Artificial	M. Simulación
Configuración				
Coordinación				

Tabla 3-1. Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia)

3.2.1.1 Según Tipo de Problema

La 1ª dimensión (TP) distingue entre problemas de Configuración y problemas de Coordinación.

Los **problemas de Configuración** abarcan, principalmente, decisiones en el nivel estratégico relativas al diseño de la red de la RdS/D, como puedan ser, entre otras, las decisiones acerca de comprar o fabricar, la estrategia de suministro, la selección del proveedores, el diseño de la red de producción-distribución, la subcontratación o el tipo de canal de distribución. Resolver un problema de configuración supondría, por tanto, determinar los nodos y conexiones de la RdS/D e identificar los recursos que la hacen funcionar.

Los **problemas de Coordinación**, se refieren, predominantemente, a decisiones de tipo táctico y operativo. Se han identificado diferentes tipos de Coordinación: intra-funcional / inter-funcional / inter-organizacional (Ballou y otros, 2000), general / multiplanta (Bhatnagar y otros, 1993), centralizada / descentralizada (Radjou, 2002), etc.

3.2.1.2 Según Enfoque de Modelado

La segunda dimensión (EM) distingue entre modelos Conceptuales, Analíticos, basados en Inteligencia Artificial y de Simulación.

Los **Modelos Conceptuales** consisten en herramientas descriptivas, que subrayan los aspectos principales y las variables relevantes implicadas en un problema específico, y/o estructuras empíricas que proponen directrices para abarcar los problemas de la RdS/D. La gran mayoría están pensados para resolver los problemas de Configuración. Los modelos Conceptuales para los problemas de Coordinación, generalmente, conciernen también a los problemas de Configuración. Sin embargo, su objetivo final es el logro de un enfoque orientado a procesos para la RdS/D.

Los **Modelos Analíticos** se basan en diferentes técnicas de la Investigación Operativa. Entre ellas cabe destacar la programación matemática, teoría de inventarios, teoría de la decisión, procesos de Markov y procesos jerárquicos, entre otros. Entre dichos Modelos Analíticos se consideran los que son aplicables a

contextos deterministas y de incertidumbre (Beamon, 1998). Estos Modelos se aplican tanto a problemas de Configuración como de Coordinación.

Las **Modelos basados en Inteligencia Artificial** se han aplicado para resolver diferentes problemas de la RdS/D. En general, estas técnicas se utilizan más frecuentemente para resolver problemas de Configuración que de Coordinación.

Entre estas técnicas se encuentran los Sistemas Expertos, la Teoría de los Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets), la Lógica Difusa, las Redes Neuronales, los Algoritmos Genéticos, el Aprendizaje por Refuerzos y los Sistemas Multi-Agente.

La Inteligencia Artificial se ha aplicado mucho más al caso de una Empresa que a las RdS/D, donde no se han encontrado demasiadas referencias, aunque en la última década están apareciendo cada vez más trabajos de investigación en este contexto (Mula, 2003).

Otro enfoque son los **Modelos de Simulación**, que si bien pueden representar una gran variedad de problemas, no pueden ser usados para optimizar un problema dado, sino tan solo para evaluar una medida de desempeño.

Los modelos de Simulación tienen la ventaja de que pueden tratar los problemas de una forma más detallada y realista. En este sentido, los modelos de simulación para la RdS/D se utilizan para comprobar soluciones de problemas específicos. Alternativamente, se pueden derivar directrices generales al simular el comportamiento de un sistema general bastante simplificado.

En este enfoque de modelado, los límites entre los dos tipos de problemas para la RdS/D (Configuración y Coordinación) no están tan claros como en otros enfoques de modelado.

Por otra parte, los modelos de simulación se pueden considerar “híbridos” (Budnick y otros, 1988; Silver, 1981; Zipkin, 2000), ya que tratan tanto aspectos deterministas como estocásticos.

3.2.2 Modelos Conceptuales y Analíticos & Modelos de Configuración y Coordinación

En la presente Tesis sólo se han analizado los Modelos Conceptuales y los Analíticos ya que el objetivo final es desarrollar Modelos Analíticos (deterministas) a partir de un Marco conceptual/analítico que tenga en cuenta el carácter doblemente jerárquico (temporal y espacial) del proceso de Negocio de la Planificación Colaborativa. No se han analizado pues, los Modelos basados en Inteligencia Artificial ni los Modelos de Simulación.

Se ha creído conveniente además analizar también los de Tipo Configuración, por su alta conexión con los problemas de Tipo Coordinación, dentro de los cuales se ubicaría el proceso de Planificación Colaborativa (capítulo 2).

Así pues, la revisión inicial de la bibliografía se ha delimitado en la zona sombreada de la Tabla 3-2. Posteriormente, ya en apartado siguiente, se realizará una revisión mucho más detallada de los Modelos sobre los cuales se basa la presente Tesis.

TP / EM	M. Conceptuales	M. Analíticos	M. I. Artificial	M. Simulación
Configuración				
Coordinación				

Tabla 3-2. Ubicación de los Modelos analizados en la Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia)

3.2.3 Modelos Conceptuales

3.2.3.1 Problemas de tipo Configuración

En lo que respecta a los Problemas de Configuración se han identificado y analizado los siguientes modelos conceptuales: SCOR, Empresa Extendida, Empresa Virtual, Modelo Integrado de GCS y Modelo AMT.

3.2.3.1.1 Modelo SCOR

El modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference model) es una herramienta de Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) que sirve para representar, analizar y configurar Cadenas de Suministro (CS). Fue desarrollado en 1996 por el Supply-Chain Council (SCC). El Modelo proporciona un marco que une Procesos de Negocio (BP), Indicadores de Gestión (KPI's), Mejores Prácticas y Tecnologías en una estructura para apoyar la comunicación entre los Socios de la CS y mejorar la eficacia de la GCS y de las actividades de mejora de la CS relacionadas. No tiene descripción matemática ni métodos heurísticos, estandariza la terminología y los BP de una CS permitiendo modelar y, usando KPI's, comparar y analizar diferentes alternativas y estrategias de las entidades y de toda la CS.

3.2.3.1.2 Modelo de Empresa Extendida

Según Browne y otros (1995), los Sistemas de Fabricación actuales están sujetos a tremendos cambios y presiones debido a los incesantes cambios en el mercado. Concluyen que las empresas individuales deberían de trabajar conjuntamente con la finalidad de formar Redes Inter-Empresa a lo largo de la Cadena de Valor del producto para así poder sobrevivir y conseguir ventajas competitivas que las hagan ser exitosas. Esta clase de cooperación es denominada “Empresa Extendida”. Una Empresa Extendida puede darse entre dos o más empresas a lo largo de la Cadena de Valor, y requiere una integración más fuerte que una simple Colaboración Inter.-Empresas (Lario y otros, 2002).

3.2.3.1.3 Modelo de Empresa Virtual

El Modelo de Empresa Virtual forma parte del Proyecto Europeo V-Chain (Ortiz y Hawa, 2002), el cual tenía como objetivo crear un Modelo de GCS lo más eficiente posible para gestionar actividades relacionadas con la Planificación y Secuenciación en la CS, así como los Procesos de Negocio que estuvieran relacionados. Se creó una plataforma tecnológica que permitió la comunicación en tiempo real entre una Empresa de Fabricación y Montaje de automóviles y sus principales proveedores, considerando todos los miembros de la Cadena de Suministro como “actores” de la misma importancia que debían compartir información y colaborar entre sí.

3.2.3.1.4 Modelo Integrado de GCS.

Cooper y otros (1997) presentan un modelo para la Gestión de la Cadena de Suministro que consistía en 3 grandes bloques claramente interrelacionados. Por una parte la “Estructura de la CS” (configuración de las Empresas a lo largo de la CS, apareciendo conceptos como estructura horizontal o vertical), por otra parte “los Componentes de la Gestión” (componentes con los que se estructuran y gestionan los Procesos de Negocio) y finalmente los “Procesos de Negocio” (actividades con una salida específica que añade valor al cliente).

3.2.3.1.5 Modelo AMT.

Asset Management Tool (AMT) fue desarrollada como una herramienta estratégica de soporte a la decisión que hiciera posible la Gestión de la Cadena de Suministro en un contexto de Empresa Extendida en IBM Personal Systems Group (PSG) (Lin, 2000). Se deben tener en cuenta 2 aspectos principales para la modelización: reducir y gestionar la posible incertidumbre de la Cadena de Suministro y mejorar su flexibilidad para hacer frente de mejor manera a los cambios en el Mercado.

3.2.3.2 Problemas de tipo Coordinación

En cuanto a los Problemas de Coordinación se han identificado y analizado los siguientes modelos conceptuales: Modelo basado en la matriz SCP y Sistemas Avanzados de Planificación, IE-GIP, MASCOT, MOMENT, ECR, CPFR, QR, VMI, Modelo Ajustado, Modelo de posicionamiento estratégico del Punto de Diferenciación-Desacople y Modelo de Fabricación Colaborativa.

3.2.3.2.1 Metodología basada en la matriz SCP y Sistemas Avanzados de Planificación

En esta metodología se distinguen 3 etapas: identificación del Tipo de Cadena de Suministro, construcción de la Matriz de Planificación de la Cadena de Suministro (matriz SCP), e identificación y ubicación de los Módulos APS (Advanced Production Systems) en dicha matriz.

Una vez identificado el Tipo específico de CS, se realiza un análisis de las diversas tareas de Planificación en la Cadena de Suministro a partir de la Matriz de Planificación de la Cadena de Suministro (SCP-Matrix, Supply Chain Planning Matrix) (Stadtler, 2002). Este análisis propone una clasificación de tres niveles para las decisiones de gestión en la cadena de suministro: planificación a largo plazo, a medio plazo y a corto plazo, identificando en cada uno de esos niveles unas tareas de planificación específicas. Finalmente se proponen una serie de módulos que encajarían en cada una de las tareas de planificación definidas antes.

3.2.3.2.2 Metodología IE-GIP

Se trata de una Metodología de Integración Empresarial que aunque inicialmente se aplicó al caso intra-Empresa (Ortiz y otros, 1998), posteriormente fue “extendida” al caso de RdS/D (Ortiz y otros, 1999). Dicha Metodología se desarrolla en tres niveles: Negocio, Ingeniería y Operación / Ejecución.

3.2.3.2.3 Arquitectura MASCOT

MASCOT (“Multi Agent Supply Chain cOrdination Tool”) se trata de una Arquitectura reconfigurable, multinivel y basada en agentes que apoye la coordinación de RdS/D, sobre todo en lo que se refiere a los Procesos de Planificación y Programación (Sadeh y otros, 1999).

3.2.3.2.4 Modelo MOMENT

Fue desarrollado por medio de un proyecto financiado por la Unión Europea, denominado MOMENT, con el objetivo de dar soporte a cualquier cambio que se pudiera dar en los Procesos de

Negocio conjuntos entre diversas Empresas pertenecientes a una Red de Suministro y Distribución (RdS/D). Permite una visualización simple e intuitiva de cualquier RdS/D y contiene tanto una descripción estándar de los Procesos de Negocio como una métrica también estándar para la medición del rendimiento de los mismos.

3.2.3.2.5 Modelo ECR

El Modelo ECR (Efficient Consumer Response) se define como “una estrategia del Sector de los ultramarinos en la que distribuidores, proveedores y terceras empresas cooperan conjuntamente con el objetivo de incrementar al Valor de la Cadena” (Salmon, 1993). Se intenta fomentar la colaboración entre Empresas, la cual sólo se puede conseguir eliminando las fronteras entre las mismas. La tecnología es también un aspecto clave ya que hará posible una comunicación efectiva y eficiente entre las citadas áreas.

3.2.3.2.6 Modelo CPFR

A partir del concepto básico de Planificación Colaborativa surge el término de CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment). CPFR es un Modelo de Procesos de Negocio que trata de reducir las variaciones entre la demanda y los suministros (McKaige, 2001). La misión de CPFR es crear relaciones colaborativas entre compradores y vendedores mediante procesos co-dirigidos y compartiendo información (Songini, 2002).

3.2.3.2.7 Modelo QR

El modelo QR (Quick Response) se desarrolló en la Industria Textil motivado por el gran stock que se acumulaba, al tratarse de productos con ciclos de vida cortos, alta estacionalidad y gran complejidad. Sus objetivos eran sincronizar compradores y vendedores y eliminar los costes a través de un reaprovisionamiento centralizado en el cliente final (Lowson, 2002). La clave reside en capturar la demanda en tiempo real y lo más próximo al cliente final. La respuesta logística resultará a partir de dicha información (Christopher, 1998).

3.2.3.2.8 Modelo VMI

VMI (Vendor Manager Inventory) es un modelo de negocio donde la información se comparte entre 2 eslabones de la Cadena de Suministro, lo que permite al proveedor sincronizar sus operaciones según la demanda del cliente, y no mediante las órdenes de compra del eslabón aguas abajo (Lee y otros, 2000). En teoría, VMI puede eliminar los impactos negativos de trabajar en lotes, mitigando el conocido “bullwhip effect” (Disney y otros, 2003). La información mejorará las previsiones de demanda de los

vendedores, lo que incidirá positivamente en los planes de producción-reaprovisionamiento, además de establecer un marco de confianza que puede resultar en relaciones a largo plazo.

3.2.3.2.9 Modelo de posicionamiento estratégico del Punto de Desacople

Lowson (2002) describe el Modelo “Strategic Postponement” como una estrategia que tiene como objetivo retrasar al máximo las actividades hasta que se puedan identificar los atributos exactos de la demanda. Esta estrategia puede basarse en 3 factores: tiempo (retrasando las actividades hasta que se reciben las órdenes), lugar (retrasando el movimiento de productos hasta que se reciben las órdenes), formato (retrasando las actividades que conforman las particularidades de los productos finales hasta que la demanda es conocida).

3.2.3.2.10 Modelo de Fabricación Colaborativa

El Modelo de “Fabricación Colaborativa” pretende automatizar, unir, complementar o apoyar los procesos de negocio existentes en una Empresa Extendida (McClellan, 2003). Dicho Modelo tiene como principal objetivos la difusión de la Información tanto en la propia Empresa como con los demás miembros (en un contexto de Empresa Extendida) de manera que ésta esté siempre disponible. Por tanto, las Tecnologías de la Información y Comunicación se convierten en pieza clave. Mucho del interés actual en estos temas se debe al gran abanico de posibilidades y de ahorros inherentes a la disponibilidad de información y de los sofisticados análisis de la misma (Simchi-Levi y otros, 2003).

3.2.4 Modelos Analíticos

3.2.4.1 Problemas de tipo Configuración

En lo que respecta a problemas de Configuración se han identificado 4 bloques en los cuales se han clasificado los Modelos Analíticos de los diferentes artículos analizados: selección de Proveedores y subcontratación, diseño de la RdS considerando aspectos tácticos-operativos, diseño de la Red de Producción-Distribución y diseño de RdS internacionales.

3.2.4.1.1 Selección de Proveedores y Subcontratación

Los Modelos analizados tratan de:

- seleccionar proveedores para la subcontratación tanto desde un aspecto táctico como operativo (Narasimhan y otros, 2003)
- seleccionar un conjunto óptimo de ofertas y proponer estrategias de negociación efectiva para las menos eficientes convirtiéndolas en competitivas (Talluri, 2002)

- evaluar a los proveedores e incorporar al mismo tiempo medidas de variabilidad del rendimiento (Talluri y Narasimhan, 2003)

3.2.4.1.2 Diseño de RdS/D considerando aspectos Tácticos-Operativos

Los Modelos analizados tratan de:

- crear un modelo de Programación Entera-Mixta que se centra en la localización y asignación de plantas de producción y distribución en un mercado nacional, donde se consideran demandas deterministas. Se demuestran los ahorros generados al utilizar una metodología que incorpora al mismo tiempo tanto decisiones de tipo estratégico como táctico, en vez de utilizar una metodología jerárquica. Para resolverlo se utiliza de forma bastante eficiente métodos basados en la descomposición primal que descomponen aspectos ligados a la producción y por otra parte ligados al transporte (Goetschalckx y otros, 2002)
- crear un modelo de Programación Multiobjetivo para diseñar RdS/D efectivas, eficientes y flexibles y/o poder evaluarlas ante posibles escenarios. El modelo incorpora al mismo tiempo la incertidumbre ligada a la producción, transportes y demanda. Se resuelve mediante la descomposición en dos sub-modelos que son resueltos de manera eficiente mediante un proceso iterativo que converge para problemas reales en un tiempo razonable (Beamon y Sabri, 2000)

3.2.4.1.3 Diseño de la Red de Producción-Distribución

Los Modelos analizados tratan de:

- evaluar la eficiencia de la estrategia computacional basada en la “Descomposición de Bender” para localizar de manera óptima los centros de distribución entre fabricantes y clientes finales (Geoffrion y Graves, 1974)
- desarrollar un procedimiento de optimización para diseñar sistemas de distribución bietapa y multiproducto (Robinson y otros, 1993)
- optimizar la localización de plantas y la escala de operaciones para diferentes productos (Camm y otros, 1997)
- resolver la política óptima de localización incorporando tanto objetivos cuantitativos como cualitativos. Simultáneamente se resuelve también el problema de asignación de la demanda a diferentes sectores de demanda (Jayaraman, 1999)

- maximizar el ROI considerando restricciones de capacidad, múltiples productos, costes fijos de transporte e interacciones espaciales entre plantas y almacenes (Revelle y Laporte, 1996)
- crear un modelo de Programación Lineal Entera-Mixta estocástico y Multiobjetivo para el diseño de una RdS/D (plantas de producción, almacenes, mercados y redes de distribución) considerando no sólo el beneficio y el nivel de servicio al cliente, sino también la incertidumbre. Resuelto con métodos de ramificación y corte (Guillén y otros, 2004)

3.2.4.1.4 Diseño de RdS internacionales.

Los Modelos analizados tratan de:

- presentar un modelo de Programación Matemática Bilineal para el diseño de RdS/D internacionales incluyendo la determinación de los precios de transferencia entre países. Se describe un algoritmo de solución heurístico muy eficiente (Goetschalckx y otros, 2002)
- modelizar mediante una propuesta de ámbito general denominada GSCM una CS multietapa de fabricación-distribución y multiproducto. Se utiliza la Lista de Materiales global (Arntzen y otros, 1995)

3.2.4.2 Problemas de tipo Coordinación

En cuanto a los problemas de Coordinación se han identificado 4 bloques en los cuales se han clasificado los modelos analíticos de los diferentes artículos analizados: compras y contratos, políticas de reaprovisionamiento, planificación y programación de la producción colaborativas y sistemas de producción-distribución integrados.

3.2.4.2.1 Compras y Contratos

Los Modelos analizados tratan de:

- determinar las cantidades óptimas de compra en un sistema de inventario multinivel (Clark y Scarf, 1960)
- determinar políticas de inventario óptimas a la hora de asignar cantidades de aprovisionamiento entre 2 o más proveedores (Anupindi y Akella, 1993)

- determinar cantidades de compra óptimas mediante modelos de inventario multinivel (Clark y Scarf, 1960)
- analizar la eficacia de los descuentos por cantidad como un mecanismo de coordinación en compras y producción (Munson y Rosenblatt, 2001)
- optimizar conjuntamente parámetros relacionados con contratos de suministro y políticas de control de inventario en un contexto de incertidumbre de la demanda (Henig y otros, 1997)
- analizar la eficiencia de un contrato de suministro para un único producto con incertidumbre en la demanda (Bassok y Anupindi, 1997)
- descubrir la relación entre los costes de calidad del vendedor, la calidad de sus “inputs” y las imperfecciones en el proceso de fabricación (Nair y Narasimhan, 2003)
- establecer contratos en base a: la flexibilidad de las cantidades pedidas (Tsay, 1999), “backup agreement” (Eppen y Iver, 1997), políticas de devolución (Emmons y Gilbert, 1998), mecanismos de incentivo (Lee y Whang, 1999), compartir ingresos (Cachon y Lariviere, 2000), reglas de asignación (Cachon y Lariviere, 1999), descuentos por cantidad (Weng, 1995).

3.2.4.2.2 Políticas de Reaprovisionamiento

Los Modelos analizados tratan de:

- determinar los parámetros óptimos en un sistema de inventario multinivel con opciones de reaprovisionarse bien por un canal normal o bien por uno más caro de emergencia (Moinzadeh y Aggarwal, 1997)
- calcular punto de reaprovisionamiento óptimo teórico y frecuencia de envío en el caso de una demanda que sigue una distribución de Poisson y en el caso de sistemas “VMI “ (Cetinkaya y Lee, 2000)
- proponer una heurística que sirva como herramienta de planificación para determinar políticas de reaprovisionamiento entre un almacén central y varios minoristas, con el objetivo de minimizar conjuntamente los costes de inventario y de transporte (Walton, 1996)

3.2.4.2.3 Planificación y Programación de la Producción Colaborativas

Los Modelos analizados tratan de:

- analizar el impacto de las incertidumbres en la demanda y en la producción de productos finales en la planificación de la producción, control de inventarios, mejora de la calidad y planificación de la capacidad (Tang, 1990)
- estudiar los requerimientos de planificación en sistemas multietapa de producción-inventario teniendo en cuenta la estabilidad de la producción y el equilibrio entre la capacidad y los requerimientos de inventario (Graves y otros, 1998)
- planificar la producción en un horizonte dado con cierta periodicidad, a partir de una producción que es variable, rendimientos aleatorios y demanda incierta, con el objetivo de minimizar los costes totales esperados de producción, mantenimiento de inventario y escasez (Wang y Gerchak, 1996)
- evaluar programas de producción integrados para reducir los efectos negativos de las reprogramaciones (Lee y Wei, 2001)
- desarrollar un marco adecuado que permite la toma de decisiones y un rendimiento en lo que se refiere a la Cadena de Material-Producción-Distribución utilizando conjuntamente una serie de submodelos aproximados y un procedimiento de optimización heurístico (Cohen y Lee, 1988)
- analizar el efecto estabilizador de los inventarios en Cadenas de Suministro de Fabricación-Distribución con varias etapas (Bagahana y Cohen, 1998)
- planificar la capacidad de manera robusta a partir de una demanda con incertidumbre con el objetivo de minimizar una función que penaliza la sensibilidad ante diferentes tipos de incertidumbre (Paraskevopoulos y otros, 1991)

3.2.4.2.4 Sistemas de Producción-Distribución Integrados.

Los Modelos analizados tratan de:

- evaluar una metodología que considera cuál debe ser la política a seguir en temas relacionados con producción y distribución y que afectan al control de inventarios, el mix y los planes de producción. Se asumen fijos la localización y la capacidad existente (Cohen y Lee, 1988)

- desarrollar un marco integrado que considere las estrategias de distribución de cada empresa y su mercado por separado, además de los costes de distribución asociados, con el objetivo de crear redes de distribución lo más eficientes posible desde el punto de vista de maximizar beneficios (Robinson y Satterfield, 1998)
- evaluar cómo un sistema descentralizado de minoristas que comparte información (centralización virtual) aumenta los beneficios del fabricante (Anupindi y Bassok, 1996)
- asignar capacidades y programar envíos de un conjunto de productos fabricados por varios vendedores con capacidades distintas e incertidumbre de la demanda (Aggarwal y otros, 2002)

3.3 Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D

3.3.1 Introducción.

Para llevar a cabo el **Estado del Arte sobre “Modelos Analíticos deterministas para el modelado de la Planificación de Operaciones (Colaborativa)”** es necesario primeramente contextualizarlo en el marco de la taxonomía de carácter general utilizada en el apartado anterior para clasificar los Modelos para la Gestión de Redes de Suministro/Distribución en general.

En dicha taxonomía se han distinguido 2 dimensiones: por una parte el tipo de problema y por otra parte el enfoque de modelado.

Respecto del **tipo de problema**, la Planificación Colaborativa formaría parte, entre otros procesos de negocio, de lo que se conoce como problemas de tipo **Coordinación**, frente a los de Configuración.

Respecto al **enfoque de modelado**, los **Modelos Analíticos**, se tratarían de Modelos que tratan de buscar soluciones evaluando valores óptimos de las variables de decisión, de acuerdo a objetivos técnico-económicos dados y una serie de limitaciones debidas a hipótesis restrictivas preliminares. Entre dichos Modelos Analíticos sólo se consideran en la presente Tesis los que son aplicables a contextos **deterministas** y no de incertidumbre, al menos aquellos en los que dicha incertidumbre no se considere explícitamente en el Modelo.

Según se apunta en Gupta y Maranas (2003), la mayor parte de las herramientas tradicionales para modelar problemas de toma de decisiones y en concreto las herramientas basadas en el modelado analítico, son deterministas y dicotómicas. Por determinista se entiende que los datos de entrada del modelo se conocen con precisión y certidumbre. La dicotomía, en este caso, se refiere a decisiones del tipo sí-o-no.

La precisión asume que los parámetros de un modelo representan exactamente la percepción del fenómeno o las características del sistema modelado. Generalmente, la precisión también implica que el modelo no es inequívoco, es decir, que no contiene ambigüedades. La certidumbre indica que se asume que las estructuras y parámetros del modelo se conocen definitivamente y no existen dudas sobre sus valores u ocurrencia.

Entre los Modelos Analíticos deterministas destacan los que se basan en **programación matemática** (Programación Lineal Continua, Programación Lineal Entera-Mixta, Programación no Lineal, etc.), mientras que para tratar explícitamente la incertidumbre se suelen utilizar Modelos basados en Inteligencia Artificial y Modelos de Simulación principalmente y en menor medida la programación matemática (programación estocástica...).

Por tanto, el Estado del Arte quedará focalizado únicamente en el área sombreada en la Tabla 3-3.

TIPO DE PROBLEMA / ENFOQUE DE MODELADO	Modelos Conceptuales	Modelos Analíticos: - <u>Contexto Determinista</u>	Modelos basados en Inteligencia Artificial	Modelos de Simulación
Problemas de Configuración				
Problemas de Coordinación: - <u>Planificación Colaborativa</u>				

Tabla 3-3. Ubicación del Estado del Arte sobre “Modelos Analíticos para la Planificación Colaborativa en contexto Determinista” en la Tabla de clasificación de Modelos para la Gestión de RdS/D (elaboración propia)

Tras haber realizado una revisión general de la bibliografía en el apartado anterior, clasificando los Modelos Analíticos para los problemas de Tipo Coordinación de RdS/D en 4 grandes bloques, se abordan ahora detalladamente en este apartado los Modelos Analíticos Deterministas para un proceso de negocio concreto de la Gestión de RdS/D, el de la Planificación Colaborativa.

Para realizar el Estado del Arte sobre los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D se ha propuesto una metodología, que en última instancia, describe una taxonomía propia para una mejor y más clara clasificación de los mismos, sobre todo en vistas de la propuesta de Marco y Metodología que se realizará en los capítulos 4, 5 y 6.

A continuación se explicita cuál ha sido la **Metodología propia** que se ha utilizado para un **análisis estructurado y ordenado de la bibliografía**.

3.3.2 Metodología para el análisis de la bibliografía

Para el desarrollo de una Metodología que facilite el análisis de la bibliografía se han establecido los siguientes pasos:

1. Se determinó con precisión cual era el ámbito en el cuál se iba a realizar dicho análisis, clarificando los términos Planificación Colaborativa (ver capítulo 2) y Modelos Analíticos Deterministas (ver apartado 3.3.1 del presente capítulo).
2. Se analizaron múltiples propuestas de otros autores en las que se justifica la utilización y en algunos casos se clasifican los Modelos Analíticos Deterministas (MAD) para la Planificación Colaborativa (PC) de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D).
3. Por otra parte, también se analizaron un número importante de MAD concretos para la PC de RdS/D (algunos ya analizados en el apartado anterior).
4. Se observó, que para una mejor clasificación, convenía realizar una propuesta propia, pues muchos de los **MAD no eran fácilmente clasificables**.
5. Se clasificaron los diferentes artículos analizados en el paso 3 además de otros que también fueron analizados posteriormente, algunos de los cuáles hicieron que se redefinieran algunos aspectos de la propuesta elaborada en el paso 4. De esta forma se tenía completado el Estado del Arte.

3.3.3 Utilización de MAD para la PC. Parámetros para su clasificación.

Una vez clarificado el ámbito de estudio (área sombreada de la Tabla 3.3 correspondiente al paso 1 de la Metodología) se procedió en al paso 2 a realizar una revisión bibliográfica sobre la utilización de Modelos Analíticos deterministas como herramientas de ayuda a la toma de decisiones en el ámbito de la Planificación Colaborativa, además de analizar parámetros que pudieran servir para su clasificación posterior.

Entre dichos trabajos, Saphiro y otros (1993) apuntan que el actual énfasis en optimizar la cadena de valor constituye una oportunidad para ampliar el número y el ámbito de las aplicaciones de la programación matemática. Las principales razones para considerar lo anterior son:

- La programación matemática puede proporcionar el poder analítico necesario para evaluar los problemas de planificación integrados complejos. En concreto los basados en Programación Lineal Entera-Mixta son capaces de abarcar un gran número de situaciones.
- Otro beneficio de la utilización de modelos de programación matemática es que proporcionan una estructura a la hora de organizar los datos para la toma de decisiones. El decisor debe distinguir entre los datos corporativos y los datos decisionales. Por tanto, en la etapa de diseño de un proyecto para implementar un Sistema de Ayuda a la Toma de Decisiones avanzado basado en programación matemática, es el generador de modelos el que define la base de datos decisional. Una diferencia importante entre la base datos decisional y la corporativa es el estado de agregación de la información. La forma y el alcance de las agregaciones dependerán de la naturaleza de la aplicación.
- Un tercer beneficio de la utilización de los anteriores modelos es su papel en el presupuesto y el control. La optimización de resultados puede proporcionar estándares y ayuda para establecer presupuestos que reflejen la asignación global de los recursos de la compañía.
- La última razón para la utilización cada vez mayor de los modelos de programación matemática es el rápido avance del hardware y el software que hacen posible a los decisores adquirir, gestionar, y analizar los datos para la planificación integrada en un ordenador personal.

Erengüç y otros (1999) se centran en el análisis de una red de suministro de tres etapas:

1. La primera etapa consiste en múltiples proveedores.
2. La segunda etapa formada por múltiples plantas productoras donde se crea el bien o servicio.
3. La tercera etapa y última formada por varios distribuidores que generan la demanda del bien o servicio.

En su trabajo se justifica que el modo de operación de la toma de decisiones cooperativa es el más adecuado independientemente de la posición competitiva de las compañías en las diferentes etapas. Siendo esta la razón por la que se estudia la toma de decisiones operativa integrada. Se identifican las decisiones

más relevantes que deben considerarse cuando se opta por optimizar integradamente la toma de decisiones relacionadas con la planificación de la producción/distribución en la red completa.

Los autores exponen diversas áreas de investigación futuras:

- consideración de la capacidad, el nerviosismo en la programación, la incertidumbre del “lead time” a nivel de Cadena de Suministro (CS).
- necesidad de desarrollar visiones integradas para abordar las decisiones de inventario en todas las etapas de la CS.
- la utilización de la información compartida en una cadena de suministro con múltiples aliados parece ser una forma aceptada de funcionamiento. Sin embargo, se ha prestado poca atención al diseño de contratos entre miembros de la CS y cómo se debe incentivar a los miembros de la CS a compartir información.

Pontrandlfo y Okogbaa (1999) identifican dos grandes problemas de gestión a los que se enfrentan las Corporaciones Multinacionales (MNCs: Multinacional Corporations): problema de configuración y de coordinación. En su trabajo se revisa la literatura existente sobre ambos temas y se detecta la necesidad de plantear una visión sistemática a la hora de abordar el problema de la coordinación. Se centra en asuntos de la coordinación en el área de la logística de las redes de fabricación globales. En base a los estudios analizados sobre la coordinación global se plantea un marco que sistemáticamente aborda el problema de planificación de producción global (GMP: Global Manufacturing Problem) a través de la clasificación de variables implicadas en dicho problema.

En su trabajo se propone un marco con los siguientes objetivos:

- Proporcionar una base general para poder construir de manera sistemática modelos logísticos apropiados en el contexto de MNCs.
- Proporcionar un esquema para analizar el modo de coordinación actual de una determinada MNC.
- Proporcionar una base sobre la que desarrollar una herramienta GPM con el objetivo de mejorar la coordinación.

El marco anterior se define a través de la especificación de:

1. El modelo de la Cadena de Suministro global.
2. El modelo de una etapa genérica de la cadena a través de la caracterización de subgrupos de variables características de la etapa y las principales relaciones entre ellas.

3. Las variables de los subgrupos en cada etapa (bajo la hipótesis de una coordinación MNC global).

Prasad y Babbar (2000) realizan una revisión de la literatura sobre la Gestión de Operaciones Internacional (IOM). Se analiza la tendencia en la frecuencia de los artículos IOM publicados en una determinada área. Se observa que existe un interés creciente en el tema. El reparto del porcentaje de los artículos según las áreas se mantiene más bien inalterable salvo para las áreas de estrategia (aumenta), planificación agregada (disminuye), compra (aumenta) y JIT (disminuye). De los artículos revisados se puede concluir que la investigación sobre IOM se centra más en países y regiones industrializados, siendo por tanto necesario ampliar el rango de países donde aplicarla para desarrollar teorías internacionales de gestión de operaciones.

Schmidt y otros (2000) revisan la literatura existente respecto a la gestión de las redes logísticas internacionales a tres niveles: el estratégico, el táctico y el operativo. Además la gestión de dichas redes se encuentra relacionada con los sistemas logísticos multiplanta y multiproducto que a su vez abarcan la producción, ensamblaje y distribución. Siendo conscientes de que todos los aspectos de una red logística son imposibles de modelar matemáticamente, centran su trabajo en aquellos aspectos que resultan cuantificables. Establecen que cada uno de los niveles decisionales anteriormente expuestos presentan sus propias particularidades.

Los tres niveles anteriores interactúan de diferentes formas:

- los niveles superiores establecen restricciones que afectan al rendimiento de los niveles inferiores.
- cada nivel abarca un horizonte temporal y periodo que deben ser integrados.

Por otro lado, en su análisis sobre las diferencias y similitudes entre las redes de fabricación y la teoría de la cadena de suministro, Rudberg y Olhager (2003) optaron por tomar una perspectiva de estrategia de operaciones centrándose en dos categorías decisionales estructurales: la primera de ellas está íntimamente relacionada con la red de fabricación y la configuración de las redes, mientras que la segunda a políticas de integración vertical correspondientes a la teoría de la Cadena de Suministro y los asuntos de coordinación de la Red. Así las redes de valor se analizan teniendo en cuenta las anteriores dimensiones.

En cuanto a la Configuración, la literatura existente discute el tema de la configuración en términos de dispersión geográfica. El análisis de las redes de valor desde esta perspectiva se realiza en base a dos dimensiones: número de organizaciones involucradas en el sistema analizado y el número de localizaciones que cada organización controla. Esto da lugar a 4 posibles combinaciones (Figura 3-1).

No. of organizations in network	Multiple	3 Supply Chain (multi-organization, single-site)	4 Inter-firm network (multi-organization, multi-site)
	Single	1 Plant (single-organization, single-site)	2 Intra-firm network (single-organization, multi-site)
		Single	Multiple
		No. of sites per organization	

Figura 3-1. Clasificación del sistema analizado en diferentes tipos de redes (Rudberg y Olhager, 2003)

En cuanto a la Coordinación se establece una dependencia entre el tipo de coordinación y la configuración realizada. En la Figura 3-2 se categoriza el nivel de coordinación característico de cada configuración.

No. of organizations in network	Multiple	3 Synchronize (multi-organization, single-site)	4 Harmonize (multi-organization, multi-site)
	Single	1 Utilize (single-organization, single-site)	2 Optimize (single-organization, multi-site)
		Single	Multiple
		No. of sites per organization	

Figura 3-2. La coordinación dependiente de la configuración de la red (Rudberg y Olhager, 2003)

Según los anteriores autores, para el tipo 1 (una única organización con una única planta) la necesidad de coordinación es extremadamente limitada. Es más bien una cuestión de utilizar los recursos existentes. Por tanto, puede considerarse como un caso especial de optimización reducido a la utilización de una única localización.

Para el tipo 2 (múltiples localizaciones para una única organización) el término optimización es más apropiado. Múltiples localizaciones que trabajan en serie o en paralelo, con una red focalizada horizontalmente o verticalmente necesita ser optimizada. Las cuestiones que deben ser abordadas incluyen la asignación de productos y volúmenes a plantas y la producción y distribución de productos y pedidos en la red.

La visión típica de coordinación para el caso de una Cadena de Suministro con múltiples organizaciones cada una de ellas participando con una única localización (tipo 3) es la sincronización.

Sin embargo, en los casos más complejos, con múltiples organizaciones y múltiples localizaciones por organización (tipo 4), los problemas de coordinación están detrás de la optimización e incluso de la sincronización. El nivel de coordinación en tales redes Inter.-empresa se reduce a la armonización.

En general, múltiples localizaciones y organizaciones añade complejidad a las redes, conduciendo a diferentes tipos de problemas de coordinación, los cuales dependen de la configuración de la red de valor. La coordinación se ha tratado dentro de una organización única o a través de un conjunto de organizaciones. La posibilidad de optimizar la coordinación de la red de valor es más probable para el entorno de una única organización. Por el contrario, en un entorno multi-organización uno debe centrarse en maneras de coordinar la red de forma colaborativa pero no óptima. Finalmente se apunta la importancia de la calidad de la información disponible presentada por los decisores con el objetivo de gestionar la red de valor de manera adecuada.

Por otra parte, Schneeweiss (2003a) establece (Figura 3-3) la aportación de las diferentes disciplinas científicas con respecto a los diferentes tipos de sistemas DDM (“Distributed Decisión Making”).

En resumen, se puede decir que las matemáticas aplicadas y la investigación operativa orientada a la optimización se han preocupado de los escenarios 1-4 (Figura 3-1). Se han empleado varios algoritmos de coordinación para reducir la complejidad y, en particular, los procedimientos de agregación y desagregación han jugado un papel primordial. Como ejemplos se pueden citar los modelos de planificación jerárquica de la producción o el concepto de costes de oportunidad. También los algoritmos de separación en el caso determinista de Benders y Dantzig y Wolf.

Scientific Discipline	Type of DDM System	Focus
(a) Applied Mathematics optimization-oriented OR	constructional, organizational, and cooperative (1),(2),(3),(4)	solution procedures for bi-level deterministic and stochastic programming
(b) Applied OR Production and Logistics	constructional and organizational (1),(2),(3)	concepts and solutions to concrete planning problems in SCM
(c) Micro Economics	cooperative and competitive settings, PA theory, contracts, auctions (4),(5),(6),(7)	concepts and general insights, some concrete applications
(d) Management Accounting	all types of DDM systems (esp. PA models) (1) . . (7)	coordination by financial parameters (budgets, transfer prices)
(e) Artificial Intelligence	all types of DDM systems (esp. organisational multi agent systems) (2),(3),(4)	implementation aspects

Figura 3-3. Contribución de las diferentes ciencias a la SCM (Schneweiss, 2003a)

La investigación operativa aplicada y la logística y producción están principalmente interesadas en el modelado del problema conceptual y en soluciones a problemas DDM concretos en la SCM. A menudo se apoyan en métodos de resolución desarrollados por las matemáticas aplicadas y la investigación operativa orientada a la optimización. El campo de aplicación se restringe normalmente, a una situación de equipo, es decir, se centra en los modelos estocásticos y deterministas de los sistemas DDM constructivos o en el rango completo de sistemas DDM organizacionales. Como ejemplos se pueden citar los procedimientos de lotificación en sistemas multietapa con restricciones de capacidad. En el caso de información asimétrica el algoritmo de Dantzing/Wolfe se aplica a varios departamentos que disponen de información privada pero que forman un equipo. También existen trabajos en contexto de planificación descentralizada (bajo información privada) pero con una coordinación centralizada. Como conclusión decir que los trabajos tradicionales de producción y logística se han centrado en los escenarios 1-3.

Kreipl y Pinedo (2004) en su trabajo se centran en los modelos y métodos de solución utilizados para la planificación y programación en la Cadena de Suministro. Se describen diferentes clases de modelos de planificación y programación de la producción que están siendo utilizados actualmente. Para

ello previamente se realiza una clasificación de las configuraciones principales que se pueden encontrar en la CS.

Establecen una serie de diferencias con respecto a los parámetros y las características de operación de las instalaciones para cada una de las anteriores categorías según los procesos, el horizonte de planificación, la reactividad del plan o el ajuste a cambios y la diferenciación de productos. También se muestran diferentes modelos para cada una de las anteriores áreas y algunas técnicas de solución empleadas.

Normalmente los procedimientos de planificación y programación de la producción en una CS se realizan en varias fases, las cuales han de interactuar estrechamente entre sí:

1. la primera fase implica un proceso de planificación multietapa a medio plazo que trabaja con datos agregados.
2. una segunda fase que realiza la programación de la producción en cada una de las etapas por separado.

Normalmente el proceso de planificación a medio plazo presenta las siguientes características:

- Se minimizan los costes de producción, almacenamiento, transporte, de retraso, de no entrega, de manipulación, de aumento de capacidad tanto de producción como de almacenaje. En ocasiones se puede considerar los cambios de partida pero como algo independiente de la secuencia.
- Los datos utilizados se encuentran agregados.
- Los resultados obtenidos suelen ser las cantidades a producir de cada familia en las diferentes localizaciones y las cantidades a transportar entre cada localización y de cada localización a un área geográfica o cliente.
- Normalmente el modelo resultante es un Modelo basado en Programación Lineal Entera-Mixta (PLEM).
- La salida del medio plazo es la entrada al corto plazo.

Las principales características con respecto al proceso de planificación a corto plazo son las siguientes:

- Los problemas de programación normalmente intentan optimizar cada etapa y cada instalación por separado. Así, en la fase de programación el problema se suele dividir en relación a las diferentes etapas e instalaciones y según los periodos de tiempo.

- El horizonte temporal y periodo son menores, la demanda de los productos se define más precisamente y las instalaciones no se consideran como una única entidad sino como un conjunto de recursos o máquinas.
- El problema de programación puede analizarse como un problema de taller mecánico cuya resolución se puede realizar a través de: reglas de despacho, técnicas de cuellos de botella, procedimientos de búsqueda local, técnicas de programación entera, etc.
- El objetivo considera las fechas de entrega individuales de los pedidos, tiempos y costes de cambios de partida dependientes de la secuencia así como el coste de los recursos.

Se apunta que mientras en la literatura los modelos de planificación han sido analizados en detalle, los modelos de programación se han estudiado con menor detalle en el contexto de una CS, y mucho menos la integración de ambos.

Narasimhan y Mahapatra (2004) ilustran la utilidad de los modelos de ayuda a la toma de decisiones en un contexto de CS global. Se realiza una clasificación de los mismos en función del problema decisional considerado: estratégico, táctico y operativo.

En su trabajo se concluye que mientras las áreas operativas de la SCM han sido investigadas extensamente en la literatura, los aspectos estratégicos y tácticos que se centran en las interacciones organizacionales y las negociaciones no se han investigado adecuadamente.

Chan y Chan (2005) establecen que los métodos de modelado de la SC se pueden clasificar en dos grandes categorías: analíticos y de simulación.

En el caso de los problemas de distribución, planificación y programación de la producción los anteriores autores afirman que aunque la visión analítica es útil para resolver este tipo de problemas, últimamente se han desarrollado diferentes visiones que tratan de resolver algunos problemas inherentes a la visión analítica. En otras palabras, establecen que la visión analítica pura no es suficiente para resolver problemas de la SC. En ese sentido aparecen trabajos que combinan bien procesos jerárquicos analíticos (AHP; Analytical Hierarchy Process) y la programación lineal entera mixta (PLEM) con el objetivo de introducir factores cualitativos. Hay autores que desarrollan una visión híbrida que combina los métodos analíticos y la simulación. A través de la aplicación de un modelo analítico simplificado se obtiene una primera solución. Posteriormente, la solución se ajusta hasta alcanzar un intervalo de confianza del 90%. De esta manera se introduce la incertidumbre en la resolución del problema.

Como la Gestión de RdS/D integra aspectos de la planificación de la producción y distribución multietapa, el esfuerzo computacional a través de la utilización de métodos de modelado centralizados podría ser impracticable para problemas reales. A través de la utilización de las “system wide networks”,

diferentes problemas de la RdS/D se pueden integrar y se pueden resolver simultáneamente para que la solución sea beneficiosa para todas las entidades de la RdS/D a largo plazo. Esto puede conseguirse a través del concepto “distribuido”, “descentralizado” o “heterárquico”. Este paradigma normalmente trata con el problema a través de la descomposición, agregación y mecanismos de realimentación.

Grossmann (2005) define el término EWO (Enterprise Wide Optimization) como una nueva área emergente que establece la “interface” entre la ingeniería química y la investigación operativa. Dicho término engloba la optimización de las operaciones de la cadena, la fabricación (continua o discreta) y la distribución de una compañía. Las principales actividades operacionales incluyen la planificación, programación, la optimización en tiempo real y el control de inventarios. Aunque la Gestión de RdS/D puede considerarse un término equivalente al EWO y es cierto que existe un gran solape entre ambos términos, existe una clara diferencia entre ambos: el primero se centra en un amplio grupo de aplicaciones del mundo real con un especial énfasis en la logística y distribución, que normalmente implica la resolución de modelos lineales, tradicionalmente dominio de la investigación operativa. En contraposición, en la EWO, el énfasis se encuentra en las plantas de fabricación y en concreto su planificación, programación y control que a menudo requiere la utilización de modelos no lineales, y, por tanto, el conocimiento de la ingeniería química.

Uno de los aspectos clave del EWO consiste en la integración de la información y la toma de decisiones entre las diferentes funciones presentes en la CS de una compañía. Aunque esto puede lograrse a través de las modernas herramientas de tecnologías de la información (IT), es necesario el desarrollo de sofisticados modelos de optimización lineal y no lineal en contexto tanto determinista como incierto, así como algoritmos de resolución (herramientas analíticas IT). Además apunta la necesidad de integrar y coordinar la toma de decisiones a través de las diferentes funciones de una compañía, a través de las diferentes organizaciones distribuidas geográficamente y a través de los diferentes niveles decisionales. Los dos primeros aspectos tratan con la integración espacial la cual conlleva la coordinación de las actividades de los diferentes subsistemas de una compañía. El tercer aspecto está relacionado con la integración temporal.

Para lograr los objetivos del EWO, es necesario que las nuevas herramientas computacionales aborden los siguientes retos principales:

- El reto de la modelado: ¿qué tipos de modelos de planificación y programación de la producción deben plantearse para los diferentes componentes de la CS con el objetivo de reflejar fielmente la complejidad de las diferentes operaciones?
- El reto de la optimización multiescala: ¿cómo lograr la integración espacial y temporal a través de los modelos?. Para ello será necesario el desarrollo de procedimientos de

descomposición novedosos que sean capaces de trabajar eficazmente a través de las escalas temporales y espaciales.

- El reto de la incertidumbre: Será necesario desarrollar novedosas, significativas y efectivas herramientas de programación estocástica.
- El reto algorítmico y computacional: dados los tres puntos anteriores, ¿cómo resolver de manera efectiva los diferentes modelos en términos de algoritmos eficientes y modernas arquitecturas computacionales?. Los principales asuntos que se deben abordar consisten en el desarrollo de eficientes algoritmos computacionales y su implementación a través de una red computacional distribuida.

Las visiones de optimización simultánea para la integración entera de la RdS/D conlleva la definición de sistemas centralizados. Sin embargo, en la práctica se observa la necesidad de modelar una RdS/D como un sistema descentralizado.

Con respecto al reto computacional y algorítmico se observa la necesidad de desarrollar procedimientos de resolución potentes para problemas de la SC a gran escala.

Las herramientas más utilizadas son la Programación Lineal Entera Mixta, la programación de restricciones (propagación de restricciones), la programación no lineal, la programación no lineal entera mixta y la optimización disyuntiva.

Según los anteriores autores, una de las áreas más prometedoras se encuentra en la integración de los métodos de propagación de restricciones y programación lineal entera mixta.

3.3.4 Propuesta para la clasificación de los MAD para la PC

Una vez llevados a cabo los pasos 1, 2 y 3 de la Metodología se procedió en el paso 4 a elaborar una **Propuesta propia** que sirviera de marco para una mejor **clasificación de todos los MAD** analizados y todos los que se analizarían posteriormente. Después de la retroalimentación que se produjo en el paso 5, se propuso finalmente una taxonomía de clasificación de acuerdo a los siguientes atributos:

1. **Nivel de Gestión:**
 - a. **Nivel Táctico:** si el problema de PC afecta a decisiones a “medio plazo”, en muchos de los casos afectando a las capacidades y utilizando datos con cierto grado de agregación.
 - b. **Nivel Operativo:** si el problema de PC afecta a decisiones a “corto plazo”, en muchos de los casos afectando ya a decisiones ligadas a la ejecución de las

diferentes actividades (producción, transporte...) y utilizando datos ya desagregados.

- c. **Nivel Táctico - Nivel Operativo:** si el problema de PC afecta tanto a decisiones a “medio plazo” como a “corto plazo”.
2. **Aspectos Físicos:** hace referencia a la estructura de la RdS/D, en cuanto a si el ámbito de aplicación del problema de PC afecta a una o más etapas de la RdS/D, distinguiendo entre el caso:
 - a. **Unietapa:** RdS/D formadas por una única etapa (con uno o más nodos).
 - b. **Bietapa:** RdS/D formadas por dos etapas.
 - c. **Multietapa:** RdS/D formadas por más de dos etapas .
 3. **Tipo de Integración:**
 - a. **Integración Temporal:** si la PC se establece entre diferentes Niveles de Gestión, considerándose la o se establece en un mismo Nivel de Gestión.
 - b. **Integración Espacial:** si la PC se establece en un mismo Nivel de Gestión,
 4. **Toma de Decisiones:**
 - a. **Centralizada:** si en el problema de PC existe un único decisor.
 - b. **Descentralizada:** si en el problema de PC existen varios decisores.
 5. **Información compartida**
 - a. **Asimetría Total:** No existe ningún intercambio de información, ya que ésta se considera privada. Lo único que existe es la decisión que conecta a los decisores en cuestión. La mayor parte de la literatura denomina “Top-Down” a este caso de PC.
 - b. **Asimétrica Parcial:** En este caso la privacidad de la información no es total. Esto puede ser debido a que uno de los decisores es reáceo a compartir cierta información, en principio relevante, por causas estratégicas o de no confianza (también denominada asimétrica fuerte) ó bien a que se considera la integración entre dos Niveles de Gestión diferentes, ya que aunque el Nivel de Gestión inferior esté dispuesto a no tener una actitud de privacidad en la información, las decisiones se toman en distintos instantes de tiempo, por lo que el Nivel de Gestión Superior desconoce a priori cierta información en el momento de la

Toma de Decisiones, independientemente de que exista uno o varios decisores. (también denominada asimétrica débil).

- c. **Simétrica:** se produce cuando un Centro Organizacional puede conocer en el momento de la Toma de Decisiones, toda la información relevante acerca del Centro Organizacional con el cual tiene una relación de “interdependencia” o incluso de “dependencia”. No existe pues información privada que en principio podría ser relevante y la Toma de Decisiones no se realiza en distintos instantes de tiempo. Además de clasificar cada uno de los artículos analizados en base a la propuesta anterior, se procedió posteriormente a desarrollar los aspectos principales del MAD utilizado, describiendo el tipo de Modelo Analítico determinista utilizado y qué tipo de datos, variables de decisión, función objetivo y restricciones formaban parte del mismo.

3.3.5 Clasificación y principales características de los MAD analizados

En las Tabla 3-4 y Tabla 3-5 se puede observar dicha clasificación:

Capítulo 3. Estado del Arte de los Modelos Analíticos deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D.

Artículos	Nivel de Gestión	Aspectos Físicos	Tipo de Integración	Toma Decisiones	Información Compartida
Martin y otros (1993)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Bhatnagar y otros (1993)	Operativo	Multietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Total
McDonald M. y Karimi A. (1997)	Táctico	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Chen y Wang (1997)	Táctico	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Barbarosoglu y Ozgur (1999)	Táctico	Bietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Ozdamar y Yazgac (1999)	Táctico- Operativo	Bietapa	Temporal	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Escudero L. y otros (1999)	Táctico	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Timpe Ch. y Kallrath J. (2000)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Jayaraman y V. y Pirkul H. (2001)	Estratégico-Táctico	Multietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica*
Simpson y Erenguc (2001)	Operativo	Bietapa	Espacial	Centralizada - Descentralizada	Simétrica - Asimétrica Total
Sakawa y otros (2001)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Duni S. (2002)	Táctico	Unietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Berning y otros (2002)	Operativo	Unietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Kallrath (2002)	Táctico-Operativo	Bietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica*
Goetschalckx y otros (2002)	Estratégico-Táctico	Bietapa	Temporal	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Bredström y Rönnqvist (2002)	Operativo	Bietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Lei L. y otros (2003)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Lavoie C. y Abdounour G. (2003)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Ryu J. y otros (2004)	Táctico	Bietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Lin J. y Chen Y. (2004)	Táctico- Operativo	Multietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica*

Tabla 3-4. Tabla resumen con las principales características de los Modelos Analíticos Deterministas analizados (elaboración propia)

Capítulo 3. Estado del Arte de los Modelos Analíticos deterministas para la Planificación Colaborativa en RdS/D.

Artículos	Nivel de Gestión	Aspectos Físicos	Tipo de Integración	Toma Decisiones	Información Compartida
Wu S. y Golbasi H. (2004)	Táctico	Unietapa	Espacial	Centralizada	Completa
Kreipl y Pinedo (2004)	Táctico- Operativo	Bietapa	Temporal	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Lejeune M.A (2004)	Táctico	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Jolayemi y Olorunniwo (2004)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Schneeweiss y Zimmer (2004)	Operativo	Bietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Parcial
Schulz y otros (2005)	Táctico	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Sahin and Robinson, (2005)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada-Descentralizada	Simétrica – Asimétrica Parcial
Park (2005)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada-Descentralizada	Simétrica – Asimétrica Parcial
Chan F. y Chung S. (2005)	Táctico - Táctico	Bietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica *
Kanyalkar y Adil (2005)	Táctico - Operativo	Bietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica*
Spitter y otros (2005a)	Operativo	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Spitter y otros (2005b)	Operativo	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Dudek G. y Stadtler H. (2005,2007)	Táctico	Bietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Total
Ekşioğlu y otros (2006)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Oh y Karimi (2006)	Táctico	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Pibernik y Sucky (2007)	Táctico	Multietapa	Espacial	Descentralizada	Asimétrica Total
Shapiro (2008)	Táctico- Operativo	Bietapa-Multietapa	Temporal	Centralizada	Simétrica *
Tseng y otros (2008)	Táctico	Unietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Rizk y otros (2008)	Operativo	Bietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica
Hamedi y otros (2009)	Operativo	Multietapa	Espacial	Centralizada	Simétrica

Tabla 3-5. Tabla resumen (continuación) con las principales características de los Modelos Analíticos Deterministas analizados (elaboración propia)

Martin y otros (1993) presentan un modelo de PLC para la planificación de la producción, distribución y operaciones de inventario en la industria del sector del vidrio. Su objetivo es la maximización de beneficios.

Bhatnagar y Chandra (1993) utilizan modelos basados en PLEM para mejorar la coordinación global de una Empresa muy “integrada verticalmente” y que posee varias plantas. Los planes son enviados secuencialmente desde las plantas más próximas a los clientes finales hacia las plantas ubicadas “aguas arriba” (planificación “upstream”).

En McDonald y Karimi (1997) se describe un modelo de PLEM multiproducto, multietapa y multiperíodo cuyo objetivo es determinar las fuentes de los recursos limitados de una empresa y la asignación óptima a sus recursos de fabricación para satisfacer las demandas del mercado al mínimo coste. La RdS/D considerada consiste de múltiples plantas de producción, localizadas globalmente, y produciendo múltiples productos. Cada una de las plantas de producción se caracteriza por uno o más recursos de producción semi-continua con capacidad limitada. Los diversos productos, que se agrupan en familias de productos, compiten por la capacidad limitada de esos recursos. Este modelo asume una estructura determinista en la que la incertidumbre de la demanda es abordada mediante el uso de stocks de seguridad.

Chen y Wang (1997) proponen un modelo de PLC para resolver la planificación integrada del aprovisionamiento, producción y distribución en una CS del sector del acero. Su objetivo es la maximización de beneficios.

Barbarosoglu y Ozgur (1999) desarrollan un Modelo de PLEM en una Cadena de Suministro formada por una etapa de Producción y otra de Distribución. Su resolución se lleva a cabo a través de técnicas de relajación lagrangianas y heurísticas, convirtiéndose en un modelo descentralizado de dos etapas, una para la planificación de la producción y otra para el transporte.

Ozdamar y Yazgac (1999) plantean Modelos basados en PLEM para la coordinación entre los planes realizados en los niveles de Planificación a Medio Plazo y a Corto Plazo en una Cadena de Suministro formada por una planta de producción central y varios almacenes dispersos geográficamente.

Escudero et al. (1999) describen un Modelo de PLC multiproducto, multietapa y multiperíodo. Este Modelo que tiene como objetivo optimizar las actividades de fabricación, montaje y distribución de una RdS/D. El citado modelo incluye entre otros aspectos: múltiples fuentes de demanda, listas de materiales alternativas, piezas de sustitución, fechas efectivas de utilización, restricciones de capacidad y modos diferentes de obtención de componentes (estándar y expeditivo). Se considera también la versión estocástica del mismo.

Timpe y Kallrath (2000) describen un Modelo de PLEM multiproducto, bietapa (Fabricantes, Puntos de Venta y Consumidores) y multiperíodo. El Modelo considera aspectos relacionados con producción, distribución y marketing, considerando además diferentes escalas de tiempo y períodos de distinta longitud para la producción y para la distribución.

Javaraman y Pirkul (2001) describen un Modelo de PLEM multiproducto, mutietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores, Consumidores), y multiperíodo. En dicho Modelo se trata de minimizar los costes totales, mediante un modelo integrado que tiene en cuenta al mismo tiempo aspectos estratégicos (estrategias de localización de plantas y almacenes) y aspectos tácticos a Medio Plazo (mix de producción asignados a cada Fabricante, envíos de material desde Proveedores a Fabricantes, envíos de productos finales desde las Fabricantes a Clientes finales a través de Distribuidores...).

Simpson y Erenguc (2001) utilizan modelos basados en PLEM para mejorar la coordinación en una CS en la que se considera la etapa de producción y de distribución. Se compara el caso “Top Down” con el “centralizado” en multitud de escenarios, comprobando la sub-optimalidad del primero.

Sakawa y otros (2001) elaboran un modelo de PLEM para la planificación de la producción y el transporte aplicado a una fábrica japonesa de elementos de construcción. Su objetivo es la minimización de costes.

Duni (2002) trata de resolver un Problema de Lote Económico multiproducto, unietapa, (Fabricantes y Minoristas) y multiperíodo mediante un Modelo de PLEM. En realidad se trata del típico problema de producción-inventario-distribución en el que se trata de minimizar los costes totales satisfaciendo la demanda de todos los períodos, la cual es originada por los propios Minoristas, que en este caso no soportan inventario. Existen costes fijos y capacidad restringida tanto en producción como en transporte. No se permite el transporte entre fabricantes o entre minoristas.

Berning y otros (2002) utilizan un modelo basado en PLEM para mejorar la coordinación entre las diferentes plantas de producción en una CS perteneciente al Sector Químico.

Kallrath (2002) presenta un modelo de PLEM para la planificación de la producción, la distribución y las ventas, con escalas de tiempo diferenciadas para aspectos comerciales y de producción.

Goetschalckx y otros (2002) presentan dos modelos de PLEM, uno para la fase del diseño de una CS y otro para la planificación de la producción, el inventario y el transporte de una CS nacional con demanda estacional. Su objetivo es la minimización de costes.

Bredström y Rönnqvist (2002) plantean dos modelos independientes de PLEM, uno para la planificación de la producción, considerando costes de transporte, y otro para la planificación de la distribución, en un entorno multiperíodo y multiproducto. Su objetivo es la minimización de costes.

Lei y otros (2003) describen un Modelo de PLEM que integra decisiones relacionadas con producción, inventario, transporte-distribución (con posibilidad de rutas o consolidación). Es un modelo uniproducción (aunque se puede generalizar para el caso multiproducción añadiendo complejidad a la ya existente en cuanto a la resolución), bietapa (Fabricantes y Distribuidores) y multiperíodo. Se trata de minimizar costes de producción y de inventario en cada uno de los Fabricantes, los costes de transporte (tanto normales como “extras”) y los costes de inventario en los Distribuidores. Se plantean restricciones de balance de inventario, de capacidades mínimas y máximas para la producción, transporte e inventario y también de conservación de flujo e integridad en cada uno de los “viajes” porque en un mismo período un transporte concreto puede realizar varios viajes (tanto directos como permitiéndose la consolidación).

Lavoie y Abdounour (2003) describen un Modelo de PLEM en la que se consideran 4 proveedores (First-Tier Suppliers) y una Fábrica, los cuales intenta coordinarse a Nivel Táctico (Corto Plazo). Se supone pues que el Nivel Táctico (Medio Plazo) ya ha sido cubierto previamente, ya que se supone que no existen problemas ni con capacidades requeridas por el fabricante ni con los volúmenes-mixes de productos asignados a cada uno de los 4 proveedores. Se trata de un Modelo multiperíodo que trata de minimizar los costes totales de producción-inventario-distribución.

Ryu y otros (2004) describen un modelo de PLC multiproducción, bietapa (fabricantes, distribuidores-consumidores) y multiperíodo de 2 niveles, en el que en el primero se resuelve un problema de producción a nivel de Planta, mientras que en el otro se resuelve un problema de distribución.

Lin y Chen (2004) describen un Modelo de PLE multiproducción, multietapa y multiperíodo. Se trata de un Modelo Monolítico que tiene como objetivo satisfacer las demandas del mercado al mínimo coste y el que se consideran períodos de tiempo de diferente magnitud (diarios y mensuales). Se consideran además restricciones que representan la transformación de los diferentes productos, restricciones de capacidad, de aprovisionamiento de materiales, de balance de inventario, etc.

Wu y Golbasi (2004) describen un Modelo de Programación multiproducción, unietapa (Fabricantes, Consumidores) y multiperíodo (tradicionalmente conocido como el “Multi-item Single-Stage Multi-Facility lot-sizing problem). Dicho Modelo trata de minimizar los Costes Totales (Producción, Inventario y Transporte).

Kreipl y Pinedo (2004) describen diferentes modelos basados en PLEM para un nivel de Planificación y otro de Programación en diferentes tipos de CS pertenecientes a distintos Sectores Industriales. Además, resaltan la importancia de la agregación de datos y las decisiones intercambiadas entre los mismos (condiciones de consistencia).

Lejeune (2004) describe un Modelo Estocástico¹ de PLEM uniproducto, multietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores y Consumidores) y multiperíodo. Dicho Modelo trata de minimizar los Costes Totales a partir de un Nivel de Servicio dado. Permite obtener para cada período la producción en cada Planta, la cantidad enviada desde proveedores a fabricantes y desde los fabricantes a los distribuidores, el inventario requerido en cada uno de los nodos de las distintas etapas, y por último si se necesita o no cierto transportista y qué ruta/s realizará. Además considera la posibilidad de reservar un período para mantenimiento de los distintos medios de transporte. Dicha RdS/D tiene una demanda estocástica, con una distribución probabilística discreta, considerándose que cuando ésta no se satisface en un período, no se puede satisfacer en períodos posteriores y se pierde.

Jolayemi y Olorunniwo (2004) proponen un modelo PLEM para la planificación de la producción y el transporte en un entorno multifábrica y multidistribuidor, para el cual se propone un procedimiento de reducción de su tamaño para facilitar su aplicación. Su objetivo es la maximización de beneficios.

Schneeweiss y Zimmer (2004) utilizan modelos basados en PLEM para la coordinación en una CS formada únicamente por un comprador y un vendedor. Se utilizan mecanismos de coordinación jerárquica para mejorar la coordinación descentralizada tipo “Top-Down”. Cierta información del vendedor es anticipada (excepto la información privada) por el comprador (jerárquicamente superior) de modo que se mejora la coordinación global.

Schulz y otros (2005) describen un Modelo de PNLEM multiproducto, multietapa (Proveedores, Fabricantes, Distribuidores) y multiperíodo. Dicho modelo se aplica en una RdS/D de un complejo petroquímico a gran escala. También se tienen en cuenta los distintos modos de entrega de los productos.

Sahin y Robinson (2005) investigan el impacto de “compartir información” y de la “coordinación de los flujos de materiales” en una RdS/D multiproducto, bietapa (un proveedor y un fabricante) y multiperíodo. Se trata de una RDS/D en la que el Proveedor fabrica bajo pedido y por tanto no posee inventario en cada período. Según el grado de información compartida (si se trata de compartir previsiones, u órdenes ya planificadas, o niveles de inventario...) y de coordinación del flujo de materiales (planificación de la capacidad, reaprovisionamiento de materiales, cantidad transportada entre ambos...) se distinguen 5 estrategias diferentes. Estas estrategias van desde el caso más descentralizado hasta el más centralizado. Para cada una de ellas se plantean Modelos de PLEM más o menos acoplados, cuya resolución permite extraer conclusiones en cuanto a la importancia de dichos factores en lo que se refiere a los Costes. Para cada estrategia se utiliza el concepto de “Rolling Schedule” para simularla y así detectar

¹ Se ha considerado en este apartado, pues se podría considerar determinista haciendo algunas simplificaciones.

cuál es la dinámica del sistema. Se concluye que mientras “compartir información” reduce costes, la principal reducción viene de “coordinar los flujos de materiales”. Por otra parte el estudio anima a que las Empresas tiendan a unificar esfuerzos estratégicos y tecnológicos para emprender acciones de coordinación.

Park (2005) propone primeramente un Modelo de PLEM multiproducto, bietapa (fabricantes y distribuidores-minoristas) y multiperíodo que integra las decisiones de producción y distribución. Posteriormente desacopla el Modelo integrado original, resolviendo primero un Modelo de PLEM ligado a producción y luego a partir de las restricciones impuestas por éste, otro Modelo de PLEM ligado a la Distribución. El objetivo es maximizar las ganancias, sabiendo los ingresos de cada producto y los costes totales, los cuales consideran costes de set-up y variables de producción, de inventario en fábricas y distribuidores-minoristas, fijos y variables de transporte y finalmente de roturas de stock.

Chan y Chung (2005) describen un problema multiproducto, bietapa (Fabricantes, Distribuidores, Consumidores) y uniperíodo. Dicho Modelo trata de minimizar por una parte el Coste Total (Costes de producción, manejo de materiales en los Distribuidores, inventario en Fabricantes y Distribuidores, transporte de dos tipos) y por otra parte el “Lead Time”, la cantidad de demanda que se demora, la suma de todas las demoras, y la desviación absoluta media de las demandas que se demoran. Incide fundamentalmente en ver cómo las fechas de entrega de pedidos finales influyen a la RdS/D y en concreto a los Planes de Producción de los Fabricantes.

Kanyalkar y Adil (2005) presentan un modelo de PL para la planificación agregada y detallada de la producción y la distribución dinámica en una CS multiproducto y multiplanta. Su objetivo es la minimización de costes.

Spitter y otros (2005a) utilizan un modelo de PLEM para la planificación de operaciones en CS con múltiples etapas y con diferentes estructuras de producto. Los mismos autores (Spitter y otros, 2005b) particularizan el anterior modelo para el caso de dos etapas comparando el caso de producir lo “antes posible” o lo “más tarde posible” en un contexto de Horizonte Rodante.

Dudek y Stadtler (2005) describen un problema multiproducto, bietapa (Proveedor, Fabricante ó Comprador, Consumidores), y multiperíodo. Dicho Modelo trata de minimizar los Costes Totales mediante un proceso iterativo de negociación. Al final se llega a un acuerdo en el que ambas partes consiguen más beneficio que si actuaran de forma independiente y no-coordinada. Los Planes generados en cada una de las iteraciones se basan en Modelos de PLEM, en los que pequeñas modificaciones en los mismos permiten evaluar a ambas partes cómo les afecta los Planes generados por el otro, y posteriormente para lanzar una propuesta. Posteriormente, los mismos autores (Dudek y Stadtler, 2007), generalizarán el mismo problema para el caso bietapa, pero en este caso considerando varios Fabricantes ó Compradores. Es de reseñar que los planes son realizados sin considerar (anticipar) ningún tipo de información de la otra

parte (asimetría total) si bien las decisiones provenientes de dichos planes, que permiten la coordinación, vienen acompañadas de cierta información adicional que mejora el proceso de negociación.

Ekşioğlu y otros (2006) muestran un modelo PLEM integrado de planificación de la producción y el transporte en un entorno multiperiodo, multifábrica, monoproducción como una red de flujo o grafo. Su objetivo es la minimización de costes.

Oh y Karimi (2006) proponen un modelo de PLC que integra la planificación de la producción y distribución para una multinacional del sector químico en un entorno multiplanta, multiperiodo y multiproducción. Este modelo considera, además, datos de carácter fiscal y financiero, tales como los impuestos asociados a la actividad o las amortizaciones. Su objetivo es la maximización de beneficios.

Pibernik y Sucky (2007) utilizan diferentes modelos de PLEM para abordar la planificación maestra en CS multietapa en un entorno “Top-Down” pero comparando diferentes escenarios de “centralización parcial”.

Shapiro (2008) plantean Modelos de PLEM para abordar la coordinación/integración entre el Nivel de Planificación y el de Programación en CS con diferentes número de etapas, destacando la dificultad de resolución de Modelos monolíticos de tanto tamaño.

Tseng y otros (2008) plantean un Modelo de PLEM a nivel Estratégico-Táctico para la coordinación entre diferentes plantas de producción, sobre todo en lo que se refiere a cómo afectan cambios en el “diseño” de ciertos productos en la planificación conjunta.

Rizk y otros (2008) proponen un modelo PLEM para la planificación de la producción y la distribución en un entorno de fabricación con una única planta de producción y varios centros de distribución. Su objetivo es la minimización de costes.

Hamedi y otros (2009) proponen un modelo de PNLEM (aunque es transformado posteriormente en un PLEM), para la coordinación centralizada de las diferentes etapas (proveedores, producción-transmisión, distribución) en una RdS/D del sector de Gas Natural. Su objetivo es la minimización de costes.

3.4 Conclusiones

En este capítulo se ha realizado una revisión bibliográfica de los **Modelos Analíticos Deterministas de ayuda a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa en RdS/D**.

Para ello, en el primer y gran apartado del capítulo (Lario y Pérez, 2005) se ha realizado un análisis de los **Modelos (en general) que abordan la Gestión de Redes de Suministro/Distribución (GRdS/D)**, “paraguas” bajo el cual se encuentra el proceso de Negocio de la Planificación Colaborativa.

Se ha utilizado la taxonomía propuesta por Giannoccaro y Pontrandolfo (2001) para analizar los Modelos existentes para la GRdS, en la que se distinguen 2 dimensiones: el tipo de problema (TP) y el enfoque de modelado (EM). En la 1ª dimensión (TP) se han considerado los problemas de Configuración y los de Coordinación. En la 2ª dimensión (EM) se han considerado los modelos Conceptuales, Analíticos, basados en Inteligencia Artificial y de Simulación.

A partir de las dos dimensiones anteriores se ha realizado la búsqueda bibliográfica clasificando los diferentes Modelos analizados.

Una vez realizado el análisis de los Modelos (en general) que abordan la GRdS/D, en el segundo y gran apartado del capítulo (Pérez y otros, 2006) se ha realizado el **Estado del Arte sobre los Modelos Analíticos Deterministas (MAD) para la Planificación Colaborativa en RdS/D**, teniendo en cuenta que:

- Respecto del **tipo de problema**, la **Planificación Colaborativa** formaría parte de lo que se conoce como problemas de tipo **Coordinación**, frente a los de Configuración.
- Respecto al **enfoque de modelado**, los **Modelos Analíticos Deterministas**, se tratarían de Modelos que tratan de buscar soluciones evaluando valores óptimos de las variables de decisión, de acuerdo a objetivos técnico-económicos dados y un conjunto de restricciones. Únicamente se consideran aquellos en los que no se considera la incertidumbre, o ésta no se considera explícitamente en el Modelo.

En este caso, a diferencia del anterior, se ha estimado conveniente proponer una **Metodología** para un análisis estructurado de la bibliografía. Dicha Metodología describe en última instancia una **taxonomía de clasificación de los diferentes MAD analizados** en base a:

1. **Nivel de Gestión:** Táctico, Operativo, Táctico - Operativo.
2. **Aspectos Físicos:** Unietapa, Bietapa, Multietapa.
3. **Tipo de Integración:** Temporal, Espacial.
4. **Toma de Decisiones:** Centralizada, Descentralizada.
5. **Información compartida:** Asimétrica Total, Asimétrica Parcial, Simétrica.

Dicha clasificación se ha realizado tomando como base que la mayoría de los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa se basan en Programación Matemática, tanto PLC, como fundamentalmente PLEM.

Lo anterior ha permitido extraer las siguientes conclusiones:

- La gran mayoría de los Modelos analizados abordan el problema de la planificación Colaborativa desde un punto de vista **Táctico**.
- El caso **centralizado**, en el que se considera un Modelo monolítico en el que se intenta optimizar simultáneamente la integración de todas “las partes” que conforman la RdS/D **ha sido más tratado que el descentralizado**, en RdS/D con estructuras más o menos complejas, desde el caso unietapa al multietapa. Si bien el caso unietapa aparece en muchos trabajos, en la Tabla de Clasificación sólo se han señalado algunos, puesto que este tipo de problemas no se suelen incluir al tratar RdS/D.
- No obstante, en la mayoría de los trabajos se considera la **centralización** anterior entre la **Etapa de Producción y “aguas abajo” de la RdS/D**. Sólo algunos consideran la Etapa de Proveedores integrada dentro de la RdS/D, y se contempla mayoritariamente la estructura formada por nodos de producción/fabricación y distribución.
- En la mayoría de trabajos que abordan el caso **centralizado**, no se describe explícitamente las **condiciones bajo las cuales dicho enfoque sería el adecuado**. Más bien, los Modelos descritos forzarían a que la realidad tuviera que ser diferente, ya que en muchos casos se ignora la estructura organizacional de la RdS/D (en la que existen diferentes “entidades”), o sólo existe una “entidad” que actúa como un único “decisor” pero la información es difícil de centralizar o bien además existen objetivos diferentes entre las diferentes “entidades” a lo largo de la RdS/D.
- Se observa en la última década un número creciente de trabajos que consideran el **caso descentralizado**, y en los que se analizan distintos **Mecanismos de Coordinación** entre los diferentes “decisiones”, siendo el “Top-Down” el más estudiado por su facilidad de aplicación. No obstante, éste se aplica mayormente a **RdS/D sin demasiada complejidad**, y en particular aquellas formadas por dos nodos (vendedor/comprador ó fabricante/distribuidor).
- Sólo unos pocos trabajos consideran el caso descentralizado para abordar **simultáneamente la integración temporal y la espacial**.

- La mayoría de ellos tratan de averiguar (**variables de decisión**), de manera general, qué cantidad se ha de producir en cada período en cada una de las alternativas (las que tengan actividades de producción), así como la cantidad a transportar entre las mismas y el inventario para hacer frente a la demanda (estacional). El **objetivo** suele ser la minimización de costes totales, y en menor medida, la maximización del beneficio. La mayoría de ellos incluyen variables binarias para considerar costes fijos de producción y/o de transporte. Otros costes son los variables de producción, transporte e inventario. Las **restricciones** típicas han sido de balance de inventario (por producto, alternativa y período), de capacidad productiva y de capacidad de transporte (aunque en menos ocasiones que la productiva).
- Los Modelos analizados, sobre todo en el caso centralizado, son bastante complejos y por tanto los Métodos de resolución propuestos (en su caso). También hay que reseñar que en algunos de ellos, por razones de tiempo de computación, se procede a la “relajación” de los mismos, bien no considerando restricciones de capacidad o simplemente considerándolos Uniproducto, o en ocasiones, Uniperíodo. Es de destacar el **uso de algoritmos heurísticos y metaheurísticos para la resolución**², en los que se puede constatar que **existe un mayor número de Modelos propuestos validados/resueltos mediante ejemplos numéricos que con casos de estudio de RdS/D reales.**

3.5 Bibliografía

Aggarwal, N.; Smith, S.S.; Tsay, A.A. (2002). “Multi-vendor sourcing in a retail supply chain. Production and Operations Management”. Vol. 11, pp. 157-182

Alvarado, U. Y.; Kotzab, H. (2001). “Supply Chain Management: The Integration of Logistics in Marketing”. Industrial Marketing Management, Vol. 30. pp. 183-198.

Anupindi, R.; Akella, R. (1993). “Diversification under Supply Uncertainty”. Management Science, Vol. 39, pp. 944-963

Anupindi, R.; Bassok, Y. (1996). “Distribution Channels, Information Systems and Virtual Organization”. Proceedings of MSOM Conference, pp. 87-92

² No obstante, es importante reseñar que el objetivo de la presente Tesis es el **modelado** y no cómo resolver dichos modelos de la forma más eficiente (o en algunos casos simplemente obtener alguna solución).

- Arntzen, B.C.; Brown, G.G.; Harrison, T.P.; Trafton, L. (1995). "Global SCM at Digital Equipment Corporation". *Interfaces*, Vol. 25, pp. 69-93
- Bagahana, M.P.; Cohen, M.A. (1998). "The stabilizing effect of inventory in supply chains". *Operations Research*, Vol. 46, pp. 572-583
- Ballou, R.H.; Gilbert, S.; Mukherjee, A. (2000). "New managerial challenges from supply chain opportunities". *Industrial Marketing Management*, Vol. 29
- Barbarosoglu, G. (2000). "An integrated supplier-buyer model for improving supply chain coordination". *Product Planning & Control*, Vol. 11, pp. 732-741
- Barbarosoglu, G.; Ozgur, D. (1999). "Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system". *European Journal of Operational Research*, Vol. 118, pp. 464-484.
- Bassok, Y.; Anupindi, R. (1997). "Analysis of supply contracts with total minimum commitment". *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 373-381
- Beamon, B.M. (1998). "Supply chain design and analysis: Models and methods". *International Journal of Production Economics*, Vol 55, pp. 281-294
- Beamon B.M.; Sabri E.H. (2000). "A Multi-Objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design". *Omega*, Vol. 28, pp. 581-598
- Berning, G.; Branderburger, M.; Gürsoy, K.; Mehta, V.; Tölle, F.J. (2002). "An integral system solution for supply chain optimization in the chemical process industry". *OR Spectrum*, Vol. 24, pp. 371-402.
- Bhatnagar, R.; Chandra, P.; Goyal, S.K. (1993). "Models for multi-plant coordination". *European Journal of Operational Research*, Vol. 67, pp. 141-160.
- Bredstrom, D.; Ronnqvist, M. (2002). "Integrated production planning and route scheduling in pulp mill industry". *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS*.
- Browne J.; Sackett P.J.; Wortmann J.C. (1995). "Future manufacturing systems - Towards the extended enterprise". *Computers in Industry*, Vol. 25, pp. 235-254.
- Cachon, G.; Lariviere, M.A. (1999). "Capacity choice and allocation: Strategic behavior and supply chain performance". *Management Science*, Vol. 45, pp. 1091-1108.
- Cachon, G.; Lariviere, M.A. (2000). "Supply chain coordination with revenue sharing contracts: Strengths and limitations". Working Paper, The Wharton School of Business, University of Pennsylvania, Philadelphia.

- Camm, J.; Chorman, T.; Dill, F.; Evans, J.; Sweeney, D.; Wegryn, G. (1997). “Restructuring P&G’s Supply Chain”. *Interfaces*, Vol. 27, pp. 128-142.
- Cetinkaya, S.; Lee, C. (2000). “Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems”. *Management Science*, Vol. 46, pp. 217-232
- Chan F.; Chung S. (2005). “Multicriterion genetic optimization for due date assigned distribution network problems”. *Decision Support Systems*, Vol. 39, pp. 661– 675
- Chan F.T.S.; Chan H.K., (2005). “The future trend on system-wide modelling in supply chain studies”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 820-832.
- Chen, M.; Wang, W. (1997). “A linear programming model for integrated steel production and distribution planning”. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 17 (6), pp. 592-610.
- Christopher, M. (1998) “Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing cost and improving Service” Ed. Prentice Hall.
- Clark, A.J.; Scarf, H. (1960). “Optimal policies for a multi-echelon Inventory Problem”. *Management Science*, Vol. 6, pp. 475-490
- Cohen, M.; Lee, H. (1988). “Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems”. *Operation Research*, Vol. 36, pp. 216-228
- Cooper, M. C.; Lambert, D. M.; Pagh, J. D. (1997). “Supply Chain Management. More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*”, Vol. 8, pp.1-14
- Corbett, CJ, de Groote, X. (2000). “A supplier’s optimal quantity discount policy under asymmetric information”. *Management Science*, Vol. 46, pp. 444–450
- Disney, S.M.; Holmström, J.; Kaipia, R.; Towill, D.R. (2003). “Exploitation of information for production planning and inventory control”. *Proceedings from EUROMA/ POMS conference, Como, Italy.*
- Dudek, G.; Stadtler, H. (2005). “Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 668–687
- Dudek, G.; Stadtler, H. (2007). “Negotiation-based collaborative planning in divergent two-tier supply”. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, pp. 465–484
- Duni, S. (2002) “Integrated optimizing production, inventory and distribution problems in supply chain”. *Tesis Doctoral, Universidad de Florida.*
- Ekşioğlu, S. D.; Romeijn, H. E.; Pardalos, P. M. (2006). “Cross-facility management of production and transportation planning problem”. *Computers & Operations Research*, Vol. 33 (11), pp. 3231-3251.

- Emmons, H.; Gilbert, S.M. (1998). „The role of returns policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods”. *Management Science*, Vol. 44, pp. 276–283
- Eppen, G.D.; Iyer, A.V. (1997). «Backup agreements in fashion buying—the value of upstream flexibility”. *Management Science*, Vol. 43, pp. 1469–1484
- Erengüc, S.; Simpson, N.; Vakharia, A. (1999). “Integrated production-distribution planning in supply chains: and invited review”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp. 219-236
- Ertogral, K.; Wu, S.D. (2000). “Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain”. *IIE Trans*, Vol. 32, pp. 931–940
- Escudero, L.; Galindo, A.; García, G.; Gómez, E.; Sabau, V. (1999). “Schumann, a modeling framework for supply chain management under uncertainty”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 119 (19), pp. 14-34
- Fink, A. (2003). “Automatisierte Koordinationsmechanismen zur Ausgestaltung komplexer Verträge im Rahmen mediatisierter Verhandlungsprozesse”. In: W Uhr, W Esswein, E Schoop (Hrsg.), *Wirtschaftsinformatik, Band I, Medien, Märkte, Mobilität*, Springer, pp. 281–301
- Fink, A. (2004). “Supply chain coordination by means of automated negotiations”. *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE
- Fleury, D. (1997). “Best Practices Category Management- Category Tactics”. Presentation at the 2nd Official ECR Europe Conference, Amsterdam, March 13-14.
- Fransoo, J.C.; Wouters, M.J.F.; de Kok, T. (2001). “Multi-echelon multi-company inventory planning with limited information exchange”. *J Oper Res Soc*, Vol. 52, pp. 830–838
- Garg, A.; Tang, C.S. (1997). ”On Postponement Strategies for Product Families with Multiple Points of Differentiation”. *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 641-650
- Geoffrion, A.; Graves, G.W. (1974). “Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition”. *Management Science*, Vol. 20, pp. 822-844
- Giannoccaro, I.; Pontrandolfo, P. (2001). “Models for supply chain management: A taxonomy”. *Proceedings of the Production and Operations Management. Conference POMS mastery in the new millennium*, Orlando, Florida, USA.
- Gjerdrum, J.; Shah, N.; Papageorgiou, L.G. (2002). “Fair transfer price and inventory holding policies in two enterprise supply chains”. *Eur J Oper Res*, Vol. 143, pp. 582–599

- Goetschalckx, M.; Vidal, C.J.; Doganc, K. (2002). "Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms". *European Journal of Operation Research*, Vol. 143, pp. 1-18
- Graves, S.; Kletter, D.; Hetzel, W. (1998). "A Dynamic Model for Requirements Planning with Application to Supply Chain Optimization". *Operation Research*
- Grossmann, I. (2005), "Enterprise-wide Optimization: A new frontier in Process System Engineering", *AIChE Journal*, Vol. 51 (7), pp. 1846-1857.
- Guillén, G.; Mele, F.D.; Bagajewicz, M.J.; Espuña, A.; Puigjaner, L. (2004). "Multiobjective supply chain design under uncertainty". *Chemical Engineering Science*, Vol. 60, pp. 1535-1553
- Gupta, A.; Maranas, C. (2003). "Managing Demand Uncertainty in Supply Chain Planning". *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 1, pp. 1-9
- Hamed, M.; Zanjirani, R.; Moattar, M.; Reza, G. (2009). "A distribution planning model for natural gas supply chain: A case study". *Energy Policy*, Vol. 37 (3), pp. 799–812.
- Henig, M.; Gerchak, Y.; Ernst, R.; Pyke, D. (1997). "An Inventory Model Embedded in Designing Supply a Contract". *Management Science*, Vol. 43, pp. 184-197
- Holmström, J.; Främling, K.; Kaipia, R.; Saranen J. (2002). "Collaborative planning forecasting and replenishment: New solutions needed for mass collaboration". *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 7 (3), pp. 143-145.
- Hven, N.; de Soysa, J. (1998). "Joint ECR-Europe Project Lever/ICA". Presentation at the 3rd Official ECR Europe Conference, Hamburg, April 1-2.
- Jayaraman, V. (1999). "A multi-objective logistics model for a capacitated service facility problem". *International Journal for Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 29.
- Jayaraman, V.; Pirkul, H. (2001). "Planning and coordination of production and distribution facilities for multiples commodities". *European Journal of Operations Research*, Vol. 133, pp. 394-408.
- Jolayemi, J. K.; Olorunniwo, F. O. (2004). "A deterministic model for planning production quantities in a multi-plant, multi-warehouse environment with extensible capacities". *International Journal of Production Economics*, Vol. 87 (2), pp. 99-113.
- Jung, H.; Chen, F.F.; Jeong, B. (2005). "A production–distribution coordination model for third party logistics partnership". *IEEE international conference on automation science and engineering (CASE)*
- Kallrath, J. (2002). "Combined strategic and operational planning - an MILP success story in chemical industry". *OR Spectrum*, Vol. 24 (3), pp. 315-341.

- Kanyalkar, A. P.; Adil, G. K. (2005). "An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming". *International Journal of Production Research*, Vol. 43 (20), pp. 4431-4454
- Kreipl, S.; Pinedo, M. (2004). "Planning and Scheduling in Supply Chains: An overview of issues in practice". *Production and Operations Management*, Vol. 13 (1), pp. 77-92.
- Lario, F.C.; Ortiz, A.; Poler, R. (2000). "La Gestión de la Cadena de Suministro en Contexto de Integración Empresarial". *Ier Workshop de Ing. de Organización*, Vol. 1, pp. 15-22
- Lario, F.C.; Pérez, D. (2005). "Gestión de Redes de Suministro (GRdS): sus Tipologías y Clasificaciones. Modelos de Referencia Conceptuales y Analíticos". *IX Congreso de Ingeniería en Organización*, Gijón.
- Lavoie, C.; Abdul, N. (2003). "SME, networking and supply chain improvement" 32nd International conference on computers and Industrial Engineering. Limerick, Ireland.
- Lee, H.L.; So, K.C.; Tang, C.S. (2000). "The value of information sharing in a two-level supply chain". *Management Science*, Vol. 46, pp. 626-643.
- Lee, K.; Wei, C.J. (2001). "The value of production schedule integration in supply chains". *Decisions Sciences*, Vol. 32, pp. 601-633
- Lei L.; Liu S.; Ruszczyński A.; Sunju, P. (2003). "On the Integrated Production, Inventory and Distribution Routing Problem". *Rutcor Research Report*
- Lin. (2000). "Extended-Enterprise Supply Chain Management at IBM Personal Systems Group". *Interfaces*, Vol. 30, pp. 7-26.
- Lin J.; Chen Y. (2004). "A Supply Network Planning Problem in a Multi-Stage and Multi-Site Environment". *35th International Conference on Computers and Industrial Engineering*
- Lowson, R.H. (2002). "Strategic Operations Management: The new competitive advantage". *Routledge*.
- Lu L (1995). "A one-vendor multi-buyer integrated inventory model". *European Journal of Operation Research*, Vol. 81, pp. 312-323
- Martin, C. H.; Dent, D. C.; Eckhart, J. C. (1993). "Integrated Production, Distribution, and Inventory Planning at Libbey-Owens-Ford". *Interfaces*, Vol. 23 (3), pp. 68-78.
- McClellan, M. (2003). "Collaborative Manufacturing: Using Real-time Information to Support the Supply Chain". *CRC Press LLC*.
- McDonald M.; Karimi A. (1997). "Planning and Scheduling of Parallel Semicontinuous Processes". *Industrial Engineering Chemical Research*, Vol 36, pp. 2691-2700

- McKaige, W. (2001). "Source": IIE Solutions, Vol. 33 (3), pp. 34-38
- Meyer, H.; Rohde, J.; Stadtler, H. (2002). "Basics for Modelling". Ed. Stadtler, H.; Kilger, C. Supply Chain Management and Advanced Planning, Vol. 3, pp. 45-54. Springer, Berlin y otros.
- Moinzadeh, K.; Aggarwal, P. (1997). "An Information Based Multiechelon Inventory System with Emergency Orders". Operation Research, Vol. 45, pp. 694-701
- Mula, F. (2003). "Modelos para la Planificación de la Producción bajo incertidumbre. Aplicación en una Empresa del Sector del Automóvil". Tesis Doctoral.
- Munson, C.L.; Rosenblatt, M.J. (2001). "Coordinating a three-level supply chain with quantity discounts". IIE Transactions, Vol. 35, pp. 371-384
- Nair, A.; Narasimhan, R. (2003). "Product Development and innovation-based competition between collaborating Supply Chain Partners: a differential game based analytical investigation". 14th Annual North American Research Symposium on Purchasing and Supply Management, p. 329
- Narasimhan, R.; Talluri, S.; Mahapatra, S. (2003). "A mathematical model for evaluating multi-factor bids for agile supply base configuration". Working paper
- Narasimhan R.; Mahapatra S. (2004). "Decision models in global supply chain management". Industrial Marketing Management, Vol. 33, pp. 21-27.
- Oh, H. C.; Karimi, I. A. (2006). "Global multiproduct production-distribution planning with duty drawbacks". Aiche Journal, Vol. 52 (2), pp. 595-610.
- Ortiz, A.; Lario F.C.; Ros L. (1998). "Metodología y Arquitectura para el desarrollo de programas de integración empresarial en empresas industriales". Report interno DOEEFC U.P.V.
- Ortiz, A.; Lario, F.C.; Ros, L.; Hawa, M. (1999). "Building a production planning process with an approach based on CIMOSA and workflow managements systems". Computers in Industry, Vol. 40, pp. 207-219
- Ortiz, A.; Hawa, M. (2002). "V-CHAIN (Virtual Enterprise for Supply Chain Management)". European Project. Deliverable 2.1.
- Ozdamar, L.; Yazgac, T. (1999). "A hierarchical planning approach for a production-distribution system". International Journal of Production Research, Vol. 37, pp. 3759- 3772.
- Paraskevopoulos, D.; Karakitsos, E.; Rustem, B. (1991). "Robust capacity planning under uncertainty". Management Science, Vol. 37, pp. 787-800
- Parch, K. (1995). "A Procedural Dilemma for ECR". Supermarket Business, April, 17-20.

- Park, Y.B. (2005). “An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management”. *International Journal of Production Research*, Vol. 43 (6), pp. 1205–1224.
- Pérez, D.; Alarcón, F.; Alemany, M.M.; Lario, F.C.. (2006). “Taxonomía para la Clasificación de los Modelos Analíticos Deterministas para la Planificación Colaborativa de Redes de Suministro / Distribución (RdS/D). Modelos basados en PLC y PEM”. X Congreso de Ingeniería en Organización, Valencia.
- Pibernik, R.; Sucky, E. (2007). “An approach to inter-domain master planning in supply chains”. *International Journal of Production Economics*, Vol. 108, pp. 200–212.
- Pontrandolfo P.; Okogbaa O.G. (1999). “Global manufacturing: a review and a framework for planning in a global corporation”. *International Journal of Production Research*, Vol. 37 (1), pp. 1-19.
- Radjou, N. (2002). “Adapting to Supply Network Change”. Forrester TechStrategy Research
- Rebelle, C. S.; Laporte, G. (1996). “The plant location problem: New models and research prospects”. *Operations Research*, Vol. 44, pp. 864-874.
- Rizk, N.; Martel, A.; D’Amours, S. (2008). “Synchronized production-distribution planning in a single-plant multi-destination network”. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 59, pp. 90-104.
- Robinson, E.P.; Gao, L.; Muggenborg, S.D. (1993). “Designing and Integrated Distribution System at DowBrands”. *Inc. Interfaces*, Vol. 23, pp. 107-117
- Robinson, E.P.; Satterfield, R.K. (1998). “Designing distribution systems to support vendor strategies in supply chain management”. *Decision Sciences*, Vol. 29, pp. 685-706
- Rudberg, M.; Olhager, J. (2003). “Manufacturing networks and supply chains: an operations strategy perspective”. *Omega*, Vol. 31.
- Ryu J.; Dua V.; Pistikopoulos E. (2004). “A bilevel programming framework for enterprise-wide process networks under uncertainty”. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 28 (6-7), pp. 1121-1129
- Sadeh, N.M.; Hildum, D.W.; Kjenstad, D.; Tseng, A. (1999). “Mascot: An agent-based architecture for Coordinated mixed-initiative supply chain planning and scheduling”. *Workshop on Agent-Based Decision Support in Managing the Internet-Enabled Supply-Chain*, at Agents '99, pp. 133-138
- Sahin, F.; Robinson, E. (2005). “Information sharing and coordination in make-to-order supply chains”. *Journal of Operations Management*, Vol. 23, pp. 579–598
- Sakawa, M.; Nishizaki, I.; Uemura, Y. (2001). “Fuzzy programming and profit and cost allocation for a production and transportation problem”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 131 (1), pp. 1-15.

- Salmon, K. (1993). “Efficient Customer Response: Enhancing Consumer Value in the Grocery Industry”. Food Marketing Institute, Washington
- Schmidt, G.; Wilbert, E.; Wilhelm, E. (2000). “Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: a review and discussion of modelling issues”. *International Journal of Production Research*, Vol. 38 (7), pp. 1501-1523.
- Schneeweiss, Ch. (2003a). “Distributed decision making in supply chain management”. *International Journal of Production Economics*, Vol. 84, pp. 71-83.
- Schneeweiss, C.; Zimmer, K. (2004). “Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain”. *European Journal of Operations Research*, Vol. 153, pp. 687–703
- Schulz, E.; Diaz, M.; Bandoni, J. (2005). “Supply chain optimization of large-scale continuous processes”. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 29, pp. 1305-1316
- Shapiro J.; Singhal; Wagner (1993) “Optimizing The Value Chain”. *Interfaces*, Vol. 23, pp. 102-117
- Shapiro, J.F. (2008). “Mathematical programming models and methods for production planning and scheduling”. *Series Handbooks in Operations Research and Management Science*, North-Holland, Amsterdam, pp. 523–558.
- Shirodka, S.; Kempf, K. (2006). “Supply chain collaboration through shared capacity models”. *Interfaces*, Vol. 36, pp. 420–432
- Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E. (2003). “Designing and Managing the supply chain: Concepts, Strategies and Case Studies”. Ed. McGraw-Hill.
- Simpson, N.C.; Erenguc, S.S. (2001). “Modeling the order picking function in supply chain systems: formulation, experimentation, and insights”. *IIE Transactions*, Vol. 33, pp. 119–130.
- Songini, M.L. (2002). “Collaborative planning still eyed with caution”. *Computerworld*, <http://computerworld.com/>
- Spitter, J.M.; Hurkens, C.A.J.; de Kok, A.G.; Lenstra, J.K.; Negenman, E.G. (2005). “Linear programming models with planned lead times for Supply Chain Operations Planning”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 706–720.
- Spitter, J.M.; de Kok, A.G.; Dellaert, N.P. (2005). “Timing production in LP models in a rolling schedule”. *International Journal of Production Economics*, Vol. 93–94, pp. 319–329.
- Stadtler, H. (2002). “Supply Chain Management and Advanced Planning: Basics, overview and challenges”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 575-588

- Steermann, H. (2003). “A Practical Look at CPFR: The Sears-Michelin Experience”. *Supply Chain Management Review*, Vol. 7 (4), pp. 46-54.
- Sucky, E. (2004). “Coordinating order and production policies in supply chains”. *OR Spectrum*, Vol. 26, pp. 493–520
- Talluri, S. (2002). “A buyer-seller game model for selection and negotiation of purchasing bids”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, pp. 171-180
- Talluri, S.; Narasimhan, N. (2003). “Vendor evaluation with performance variability: A max-min approach”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 146, pp. 543-552
- Tang, C.S. (1990). “The impact of uncertainty in a production line”. *Management Science*, Vol. 36, pp. 1518-1531
- Timpe, Ch.; Kallrath, J. (2000). “Optimal planning in large multi-site production networks”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 126 (2), pp. 422-435
- Tsay, A. (1999). “The quantity flexibility contract and supplier–customer incentives”. *Management Science*, Vol. 45
- Tseng, Y.J.; Kao, Y.W.; Huang, F.Y. (2008). “A model for evaluating a design change and the distributed manufacturing operations in a collaborative manufacturing environment”. *Computers in Industry*, Vol. 59, pp. 798–807.
- Walton, L.W. (1996). “Partnership satisfaction: using the underlying dimensions of Supply Chain partnership to measure current and expected levels of satisfaction”. *Journal of Business Logistics*, Vol. 17, pp. 57-75
- Wang, Y.; Gerchak, Y. (1996). “Periodic review production models with variable capacity, random yield, and uncertain demand”. *Management Science*, Vol. 42, pp. 130-137
- Wang, G.; Huang, S.H.; Dismukes, J.P. (2003). “Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology”. *Int. J. Production Economics*. [Internet]
- Weng, Z.K., (1995). “Channel coordination and quantity discounts”. *Management Science*, Vol. 41, pp. 1509–1522
- Wu, D.; Golbasi H. (2004). “Multi-Item, multi-Facility supply chain planning: models, complexities, and algorithms”. *Computational Optimization and Applications*, Vol. 28, pp. 325-356.
- Zinn, W.; Bowersox, D.J. (1988). “Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement”. *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, pp. 117-136

Zipkin, P. (2001). "The Limits of Mass Customization". MIT Sloan Management Review.

4 . Marco para el Modelado del proceso de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución y su Modelado Analítico

4.1	Introducción	7
4.2	Propuesta de Marco	8
4.2.1	Definición y Objetivos	8
4.2.2	Composición	11
4.3	Visión Física	11
4.3.1	Recursos	12
4.3.2	Ítems	14
4.4	Visión Organizacional	15
4.5	Visión Decisional	17
4.5.1	Sub-Visión Macro-Decisional	18
4.5.1.1	Centros de Decisión	18
4.5.1.2	Relaciones de Interdependencia	19
4.5.1.2.1	Conceptos previos	20
4.5.1.2.2	Parámetros de clasificación	23
4.5.1.2.3	Entorno de un Centro de Decisión	26
4.5.1.3	Actividades Decisionales	26
4.5.2	Sub-Visión Micro-Decisional	28
4.5.2.1	Conceptos previos	31
4.5.2.2	Detalle del tipo de decisiones tomadas	34
4.5.2.2.1	Introducción	34
4.5.2.2.2	¿Cómo definir las Variables de Decisión?	35
4.5.2.2.2.1	Alcance y Frontera de un Centro de Decisión	35
4.5.2.2.2.2	Categorías y Tipos de Elementos	37
4.5.2.2.3	Variables de Decisión: tipos en Planificación	38
4.5.2.2.4	Clasificación de las Variables de Decisión en un “contexto colaborativo”	40
4.5.2.2.4.1	Variables Locales & Variables por Interdependencia	40
4.5.2.2.4.2	Variables Globales & Variables no Globales	43
4.5.2.3	Modelo Decisional	46
4.5.2.3.1	Criterio: componentes en “contextos colaborativos”	47
4.5.2.3.2	Campo de Decisión: componentes en “contextos colaborativos”	47
4.5.2.3.3	Criterio: tipos de objetivos en Planificación	49
4.5.2.3.4	Campo de Decisión: tipos de restricciones en Planificación	50

4.6	Visión Informacional.....	52
4.6.1	Información de Entrada de una Actividad Decisional.....	55
4.6.1.1	Información de Entrada Local: Interna & Externa	55
4.6.1.2	Información de Entrada por Interdependencias	56
4.6.1.2.1	Centros de Decisión superiores temporalmente.....	57
4.6.1.2.2	Centros de Decisión superiores espacialmente.....	58
4.6.1.2.3	Centros de Decisión inferiores temporalmente.....	59
4.6.1.2.4	Centros de Decisión inferiores espacialmente	59
4.6.2	Información de Salida de una Actividad Decisional	61
4.6.2.1	Información de Salida Local.....	61
4.6.2.2	Información de Salida por Interdependencias.....	62
4.6.2.2.1	Centros de Decisión superiores temporalmente.....	63
4.6.2.2.2	Centros de Decisión superiores espacialmente.....	63
4.6.2.2.3	Centros de Decisión inferiores temporalmente.....	63
4.6.2.2.4	Centros de Decisión inferiores espacialmente	63
4.6.3	¿Cómo definir los Parámetros?	63
4.6.4	Información: tipos de parámetros en Planificación.....	64
4.7	Modelo Analítico de Referencia	67
4.7.1	Estructura Principal.....	67
4.7.1.1	Criterio.....	67
4.7.1.2	Campo de Decisión.....	68
4.7.2	Estructura de Soporte	69
4.7.2.1	Variables de Decisión.....	69
4.7.2.2	Información de Entrada	69
4.7.3	Información de Salida - Decisiones	71
4.8	Conclusiones	73
4.9	Bibliografía	75

Índice de Figuras

Figura 4-1. Marco y Metodología (I Y II) para el modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D y su modelado analítico (elaboración propia).....	10
Figura 4-2. Proceso genérico de Toma de Decisiones conjunto entre dos Centros de Decisión (Sub-Visión Macro-Decisional) (adaptado de Schneeweiss, 2003)	22
Figura 4-3. Entorno Decisional de un CD^M genérico (elaboración propia)	26
Figura 4-4. Sub-Visión Macro-Decisional: Actividades Decisionales (elaboración propia)	29
Figura 4-5. Sub-Visión Micro-Decisional: Actividades Decisionales (elaboración propia).....	30
Figura 4-6. Proceso genérico de Toma de Decisiones conjunto entre únicamente dos Centros de Decisión (Sub-Visión Micro-Decisional) (adaptado de Schneeweiss, 2003).....	33
Figura 4-7. Sub-Visión Micro-Decisional: Variables de Decisión (elaboración propia).....	38
Figura 4-8. Variables de Decisión (Locales y por Interdependencia) No Globales & Globales de un CD^M genérico (elaboración propia).....	46
Figura 4-9. Sub-Visión Micro-Decisional: Modelo Decisional (elaboración propia).....	48
Figura 4-10. Actividad Decisional: Visión Informacional (elaboración propia).....	53
Figura 4-11. I_k^M de un CD^M para la Actividad Decisional ejecutada en el ciclo k (AD_k) (elaboración propia).....	55
Figura 4-12. Información de Entrada Local de un CD^M genérico (elaboración propia)	56
Figura 4-13. Información de Entrada por Interdependencias de un CD^M genérico (elaboración propia) ..	57
Figura 4-14. Información de Entrada y su relación con la Estructura y la Precisión del Modelo Decisional Z_k^M de un CD^M genérico (elaboración propia).....	61
Figura 4-15. Información de Salida Local de un CD^M genérico (elaboración propia).....	62
Figura 4-16. Información de Salida por Interdependencias de un CD^M genérico (elaboración propia).....	62
Figura 4-17. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico (elaboración propia)	67
Figura 4-18. Información de Entrada Ie_k^M de un Modelo Decisional genérico Z_k^M (elaboración propia). 71	
Figura 4-19. Información de Salida Is_k^M de un Modelo Decisional genérico Z_k^M (elaboración propia) . 73	

4.1 Introducción

Tal y como se ha argumentado en capítulos anteriores, la importancia creciente del proceso de Planificación de Operaciones en contextos más o menos colaborativos¹ justifica la necesidad de su modelado.

No obstante, como se ha podido constatar en el Estado del Arte, no es fácil encontrar Marcos que ayuden, a través de una Metodología, en la tarea de construir modelos integrados para dicho proceso y aún menos cuando se trata de “conectarlos” con su modelado analítico.

Como ya se apuntó en el capítulo 2, en Alarcón y otros (2006) se señalan las diferencias principales de los procesos de negocio colaborativos respecto de los procesos de negocio tradicionales o realizados por una única empresa, los cuales se citan nuevamente:

- La ejecución de las actividades del proceso es responsabilidad de dos o más Entidades (Empresas, Cadenas de Suministro, Redes de Suministro/Distribución, etc.).
- El incumplimiento de las actividades correspondientes a una de las Entidades de la asociación colaborativa afectará al resto de Entidades que participan en la ejecución del proceso y, normalmente, no podrá ser controlado por éstas.
- La problemática de los sistemas de información aumenta. La necesidad de coordinar la ejecución de las actividades que deben ser realizadas por diferentes Entidades requiere la conexión, total o parcial, de los Sistemas de Información individuales de las mismas. Esta conexión puede resolverse mediante un Sistema de Información adicional y de un nivel superior que obtenga/suministre información de/a los sistemas individuales. Todo ello implica también una nueva problemática desde el punto de vista de las infraestructuras tecnológicas que hagan posible este nuevo escenario (TIC's o Tecnologías de la Información y las Comunicaciones).
- El sistema de control asociado al proceso colaborativo debe manejar indicadores que sean compatibles con los sistemas de control individuales de las Entidades que colaboran.

En el presente capítulo, a partir de las carencias identificadas en el Estado del arte, se propone un **Marco para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de RdS/D**, mediante el cual se determinen los aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta para el modelado de dicho proceso y

¹ De aquí en adelante también se lo podrá denominar simplemente Proceso de Planificación Colaborativa.

no sólo eso, sino que también se considerarán los aspectos que sirvan posteriormente de soporte para su Modelado Analítico, por tratarse de un Proceso fundamentalmente decisional.

Mediante el Marco propuesto, las RdS/D que quieran modelar el proceso de Planificación Colaborativa, podrán tener un soporte acerca de la información básica que deberían manejar. Dicho Marco, a través de una **Metodología posterior**, deberá facilitar la creación de un modelo (**conceptual y analítico**) compatible y útil para todas y cada una de las Entidades que “colaboran” para llevar a cabo el proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D.

A continuación se incluye la propuesta, organizada en base a cuatro **Visiones**, ya que si bien este Marco se basa fundamentalmente en la **Visión de Procesos de Negocio**, en su doble aspecto de funcionalidad y comportamiento, estos actúan sobre unos Recursos/Productos (**Visión Física**) y según una determinada Organización en la que las diferentes partes estarán más o menos integradas (**Visión Organizacional**). Por otra parte la propia actividad de la RdS/D genera Información (**Visión Informacional**), necesaria para poder planificar o tomar decisiones, las cuales pueden utilizarse como entradas/limitaciones en decisiones posteriores (**Visión Decisional**).

4.2 Propuesta de Marco

4.2.1 Definición y Objetivos

Se define el Marco como el conjunto de conceptos genéricos que, organizados e interrelacionados, permiten y ayudan a desarrollar aplicaciones particulares y concretas de ellos mismos. Se entiende, por lo tanto, que el Marco facilita la aplicación de conceptos genéricos a realidades específicas, dando lugar a conceptos aplicados.

En la presente Tesis, el Marco tendrá un doble objetivo:

- Por una parte el Marco debería contener un conjunto de conceptos organizados e interrelacionados que **ayudasen a construir un modelo concreto de un proceso**, en particular, el de **Planificación Colaborativa en RdS/D**.
 - Para ello se definirán una serie de Visiones que permitan Modelar dicho Proceso de una forma integrada, en la línea de Integración Empresarial (Ortiz y otros, 1999), como son la Visión Física, Organizacional, Decisional e Informacional. Por el tipo de Proceso tendrá especial importancia la Visión Decisional, aunque “enriquecida” con el resto de Visiones.

- Por otra parte, el Marco, por tratarse de un Proceso en el que sus actividades son de carácter mayoritariamente decisional, aborda en detalle **cómo se produce la Toma de Decisiones en cada una de las actividades decisionales que conforman dicho Proceso.**
 - Para ello en la Visión Decisional se indican también todos los aspectos que faciliten el Modelado Analítico de cada una de las actividades decisionales que lo conforman y por ende de todo el proceso.

Para lograr los dos objetivos anteriores será necesario posteriormente establecer una Metodología, que a partir del Marco propuesto, señale los pasos a seguir para la definición de los Modelos, tanto del Proceso en sí (actividades decisionales) como Analíticos.

En dicha **Metodología** se considerarán dos partes, que, aunque íntimamente relacionadas, se ha creído conveniente separar por mayor claridad:

- **Metodología (I) para el Modelado (conceptual) del propio Proceso de Planificación Colaborativa** en una RdS/D (capítulo 5).
 - se establecerá una primera parte de la Metodología (Metodología (I)) que se basará en las 4 visiones definidas previamente en el Marco: Física, Organizacional, Decisional e Informacional, si bien la Visión Decisional (más específicamente la Sub-Visión Macro-Decisional) será la más importante por el tipo de Proceso de que se trata, pues la mayoría de las Actividades que lo componen son decisionales (de Planificación).
- **Metodología (II) para el Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales** (de Planificación) identificadas y **por ende de todo el Proceso de Planificación Colaborativa** en una RdS/D (capítulo 6).
 - se establecerá una segunda parte de la Metodología (Metodología (II)) para el Modelado Analítico del Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D que se basará por una parte en el propio Modelo (conceptual) del Proceso establecido previamente mediante la Metodología (I) y por otra parte en todos los aspectos definidos en la Visión Decisional del Marco (más específicamente la Sub-Visión Micro-Decisional), indicándose los pasos a seguir para la construcción de Modelos Analíticos, particularizándose para el caso de aquellos que están basados en Programación Matemática determinista² (y en particular

² En el Capítulo 3 se resaltó la importancia de los Modelos Analíticos basados en Programación Matemática, entre otros, como Herramientas de ayuda a la Toma de Decisiones en el proceso de Planificación de Operaciones de RdS/D, en contextos más o menos colaborativos.

Programación Lineal Entera-Mixta), y en contextos jerárquicos y organizacionales, como se explicará en los siguientes capítulos.

En la **Figura 4-1**, se muestra gráficamente todo lo explicado anteriormente.

Se puede observar como el **Marco** sólo contempla los aspectos necesarios para “modelar” (tanto conceptualmente como analíticamente) el Proceso de Planificación de Operaciones Colaborativo ó simplemente de Planificación Colaborativa de una RdS/D, definido éste como los **procesos de planificación de carácter táctico-operativo**. No se incluyen por tanto los procesos de planificación de carácter estratégico (de diseño) ni los procesos de planificación/programación operativa (de ejecución) de la RdS/D.

Además dicho **Marco**, compuesto por las **Visiones Física, Organizacional, Decisional e Informativa**, será la entrada principal de una Metodología posterior, subdividida en **Metodología (I)** para el Modelado del Proceso y **Metodología (II)** para su Modelado Analítico, estando ésta última totalmente relacionada con la primera.

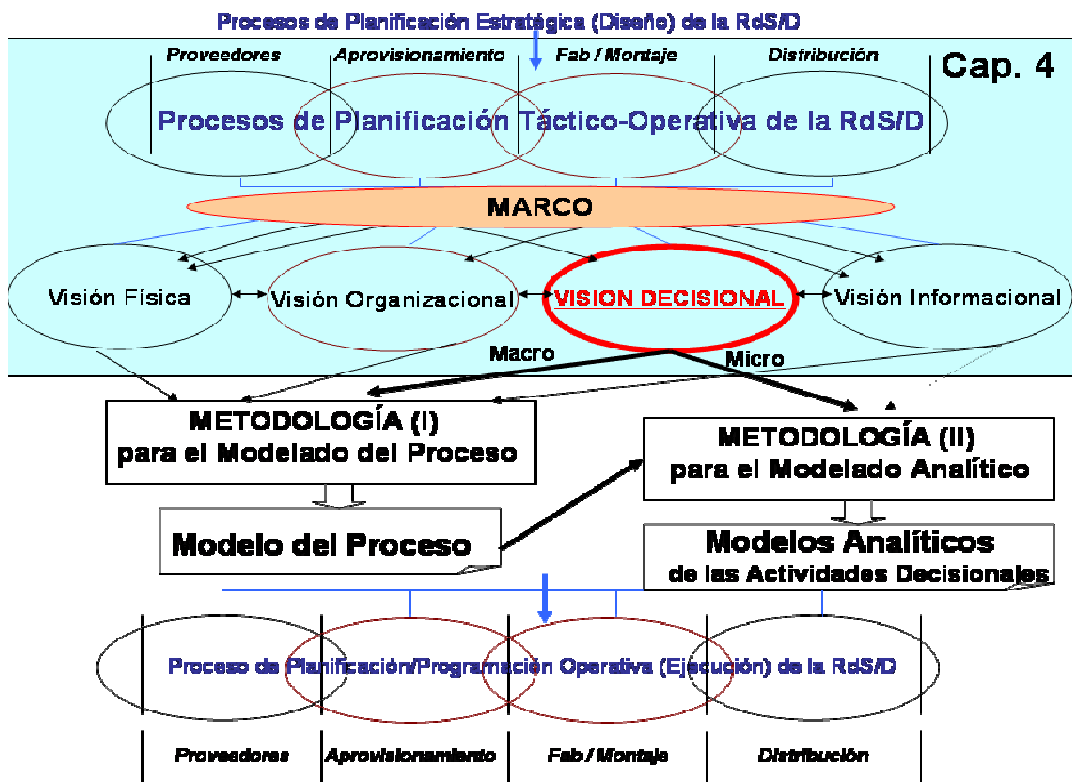


Figura 4-1. Marco y Metodología (I Y II) para el modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D y su modelado analítico (elaboración propia)

4.2.2 Composición

Como ya se ha dicho, el Marco debe estar formado por un conjunto de conceptos organizados, cuyo conocimiento ayude al usuario, mediante la utilización de una Metodología, al Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en contextos de RdS/D y a su Modelado Analítico.

Dicho Marco se estructura inicialmente en 4 bloques, que corresponden a las Visiones anteriormente señaladas y mostradas previamente en la Figura 4-1.

1. **Visión Física:** se trata de identificar cuáles son los Recursos y cuáles son los Ítems sobre los cuáles actuarán las distintas Actividades Decisionales de Planificación que componen el Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D.
2. **Visión Organizacional:** se trata de identificar cuáles son las relaciones organizacionales entre los Recursos definidos en la Visión Física, aspecto muy importante y que condicionará enormemente a la Visión Decisional.
3. **Visión Decisional:** se trata de la **Visión “Base”** sobre la cuál se irán adaptando las demás Visiones, enriqueciéndola, de manera que se pueda obtener un Modelo del Proceso de Planificación Colaborativa (ó más bien un Modelo de las Actividades Decisionales de Planificación que forman parte del Proceso) lo más integrado y realista posible³.
4. **Visión Informacional:** se trata de conocer cuál es el soporte de información que se necesita para las distintas Actividades del Proceso de Planificación Colaborativa.

A continuación se detallan cada una de estas 4 Visiones:

4.3 Visión Física

Con la Visión Física se pretende analizar cómo está configurada (diseñada) una RdS/D concreta, es decir, qué **Recursos** existen, cómo se estructuran físicamente, y qué **Ítems** se generan, aspecto que pudo hacerse o no de manera coordinada en la fase Estratégica, lo cual condicionará en gran medida los

³ Resaltar que aunque la Visión Funcional es aceptada en la mayor parte de la literatura como la “modeladora” de Procesos (Berio y Bernadat, 2001), en el Marco propuesto, ésta se sustituirá por la Visión Decisional (más específicamente la Sub-Visión Macro-Decisional), justificado por el tipo de Proceso específico que se modela, el de Planificación Colaborativa, formado mayoritariamente por Actividades de tipo decisional, y además porque otro de los objetivos principales de la Tesis es el Modelado Analítico de las mismas.

Procesos de Negocio que se desarrollen en dicha RdS/D (Lambert y Cooper, 2000), en particular, el de la Planificación Colaborativa.

4.3.1 Recursos

Los Recursos que se consideran en el Marco se definen de menor a mayor grado de detalle. Cómo se verá posteriormente en la Visión Decisional, el grado de detalle considerado en la Visión Física de la RdS/D dependerá de cómo se tomen las decisiones en el Proceso de Planificación Colaborativa, por lo que decisiones de tipo Táctico requerirán de un grado de detalle a Nivel Físico menor que decisiones de tipo Operativo.

Inicialmente se considera el recurso **Etapas**. En una RdS/D se pueden definir cuatro Etapas:

1. Proveedores de Materias Primas y Productos Intermedios
2. Aprovisionamiento de Materias Primas y Productos Intermedios
3. Fabricación y/o Montaje de Productos Finales.
4. Distribución de Productos Finales.

A su vez cada una de la Etapas anteriores, excepto la de Fabricación/Montaje⁴, podrá subdividirse en **Sub-Etapas**.

A su vez, cada una de dichas Etapas ó Sub-Etapas estará compuestas, en su caso, por uno o varios **Nodos**. Además los Nodos estarán conectados entre sí por **Arcos**.

Los **Nodos/Arcos** llevarán a cabo las denominadas Actividades de Transformación (AT), sobre los diferentes Ítems.

Se consideran 3 tipos de **Actividades de Transformación (AT)**:

1. Producción-Operaciones⁵: transformación en el Estado Físico de los Ítems.
2. Almacenamiento: transformación en el Estado Temporal de los Ítems.
3. Transporte: transformación en el Estado Espacial de los Ítems.

Desde el punto de vista del Marco propuesto sólo se definirán a nivel de Nodo las dos primeras AT, esto es, Producción-Operaciones y Almacenamiento, considerando la AT de Transporte únicamente para los Arcos.

⁴ Como se verá a continuación, cualquier otro Nodo que suministre a un Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje se ubicará o bien en la Etapa Proveedores o bien en la Etapa Aprovisionamiento.

⁵ Por Operaciones se entendería cualquier Actividad que se desarrolla sobre los Ítems sin cambiarles propiamente el estado físico (pues en ese caso se trataría de Producción). Por ejemplo una Actividad de manipulación, de consolidación, etc.

En base a lo anterior, existirán inicialmente 3 tipos de Nodos:

1. Producción-Operaciones
2. Almacenamiento
3. Producción-Operaciones / Almacenamiento⁶

Una vez definidos las Etapas, Sub-Etapas, Nodos y Arcos, se consideran con un mayor grado de detalle los siguientes “Recursos”:

- **Etapas Intra-Nodo:** existirán en un Nodo si la Actividad de Producción-Operaciones se ha identificado en más de una ocasión, y está desacoplada por tanto por la Actividad Almacenamiento. El concepto de Etapa Intra-Nodo incluirá conjuntamente la Actividad de Producción-Operaciones y/o la de Almacenamiento.
- **Alternativas:** éstas se consideran en cada una de las Actividades de Transformación que se consideran en cada Nodo / Arco. Éstas corresponderán a los distintas “opciones” con las cuáles se puede realizar dicha Actividad de Transformación. La Alternativa se consideraría en el Marco como el “Recurso” definido con mayor grado de detalle desde el punto de vista de la Visión Física.

Además de los anteriores “Recursos”, se define por último el denominado **Punto de Venta**, el cuál no se tratará de ningún Nodo/Arco sino que se tratará de un generador de demanda independiente de Items en la RdS/D.

Se distinguen dos tipos de Puntos de Venta:

1. **Puntos de Venta en un Nodo:** en este caso la Demanda Independiente se “adscribe” al propio Nodo, es decir, sería el propio Nodo el que “vende” en sus propias instalaciones.
2. **Puntos de Venta exteriores a un Nodo:** en este caso la Demanda Independiente no se genera en el propio Nodo, de manera que necesariamente existe un Arco que une el Nodo con el Punto de Venta.

Por último, y en base al párrafo anterior reseñar que el grado de detalle recogido en la Visión Física-Recursos, debería corresponderse con el nivel de detalle con el que se tomen las decisiones en el proceso de Planificación Colaborativa.

⁶ Como se verá a continuación un Nodo del tipo “Producción-Operaciones / Almacenamiento” podrá estar formado por más de una Etapa (Intra-Nodo).

4.3.2 Ítems

La Visión Física⁷ considera tres tipos de Ítems:

- Materia Prima
- Productos Intermedios: componentes, submontajes, módulos...
- Productos Finales

La Visión Física deberá indicar qué Ítems se van a tener en cuenta, ya que el proceso de Planificación Colaborativa se tomarán decisiones acerca de unos Recursos e Ítems concretos. Una vez se ha delimitado qué Recursos se consideran en la RdS/D es necesario también hacerlo también para los Ítems.

La Visión Física, por tanto, deber responder claramente a qué Ítems se desea Planificar (colaborativamente), para lo cual es necesario conocer que el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D tendrá como entrada una Previsión de Demanda de Ítems (sólo de Productos Intermedios y/o Productos Finales), la cual se generará en los Puntos de Venta. Se tratará de una **Demanda Independiente** que o bien procederá de Clientes Finales o bien se tratará de otros Nodos (considerados o no inicialmente en la RdS/D analizada), pero que en su caso actuarían como si se trataran de Clientes Finales, pues no existe colaboración alguna con los mismos en el Proceso de Planificación.

Aunque la Demanda Independiente se debería definir mediante la terna Ítem / Mercado / Cliente Final, el Marco considera en su Visión Física que dicha Demanda Independiente se trataría ya de unos Ítems específicos (ya sujetos a un Mercado y Clientes finales específicos) que deben venderse en determinados Puntos de Venta⁸. En base a lo anterior, un Punto de Venta generará Ítems “diferentes” aunque sean idénticos desde el punto de vista de la Lista de Materiales, como se verá a continuación, bien por cuestiones de Mercado o bien de Cliente Final.

Por otra parte, también puede existir una **Demanda Dependiente**, la cual procederá de Nodos con los cuales existe cierto grado de Planificación Colaborativa, de modo que en vez de Previsiones de Demanda de Ítems se tendrán “Planes de Demanda”, lo cual significará que existe al menos algo de “Colaboración” y por tanto redundará favorablemente en la posterior Planificación, al eliminar en gran medida el efecto incertidumbre.

⁷ La inclusión de “Ítems” en la Visión Física es denominada por algunos autores Visión de Productos, entendiéndose por Visión Física únicamente la que hace referencia a los “Recursos”.

⁸ Por tanto, es importante identificar inicialmente esta ubicación/adscripción de la Demanda Final Independiente, supuestamente realizada a un nivel estratégico.

Una vez identificada la Demanda Independiente de Ítems en los Puntos de Venta, es necesario conocer cuáles es la **Lista de Materiales** de cada uno de ellos, o más concretamente, qué Ítems de dichas Listas de Materiales se van a considerar y por tanto “planificar colaborativamente”.

Para ello se definen “Niveles” en las Listas de Materiales:

1. Nivel Superior: correspondiente a los Productos Finales.
2. Nivel/es Intemedio/s: correspondiente/s a los Productos Intermedios.
3. Nivel Inferior: correspondiente a las Materias Primas.

En las Listas de Materiales deberá quedar reflejado qué Ítems pertenecen a cada uno de los anteriores Niveles, y cuál es su Estructura, es decir, qué Ítems “Hijo” (de un Nivel inferior) forman parte de cada Ítem “Padre” (de un Nivel Superior).

Finalmente, la Visión Física del Marco deberá establecer una **relación entre los Ítems y Recursos**⁹ considerados.

Para ello habrá que indicar para cada una de las Alternativas (en caso que las hubiere) consideradas en cada Actividad de Transformación (AT) qué Ítems definidos anteriormente en la Lista de Materiales podrían potencialmente asignarse¹⁰ a cada una de ellas.

Al igual que con los Recursos, el grado de detalle con el que se considerarán los diferentes Ítems definidos en la Visión Física vendrá en función de qué tipo de Decisiones (Planes Tácticos / Operativos) se tomen en las distintas Actividades Decisionales que conforman el Proceso de Planificación Colaborativa.

4.4 Visión Organizacional

Una vez analizada la Visión Física, en esta Visión se pretende analizar cómo se organizan los diferentes Recursos e Ítems analizados en la Visión Física, lo cual supeditará claramente la manera en que se tomen las Decisiones propias del Proceso de Planificación Colaborativa y por tanto a la Visión Decisional.

El Marco considera en esta Visión Organizacional la existencia de **Centros Organizacionales** (COs), en los diferentes Niveles Táctico y Operativo.

⁹ O lo que es lo mismo “relacionar” la estructura del Producto con la estructura de Recursos considerados en la RdS/D en cuestión.

¹⁰ Ya que la Planificación tendrá en cuenta, entre otras cosas, la eficiencia de la asignación.

Se define un **Centro Organizacional** como el responsable de la ejecución/control de una o varias de las Actividades de Transformación (AT) señaladas previamente en la Visión Física.

Es importante considerar la Visión Organizacional antes que la Visión Decisional, ya que como se verá más adelante, se definirán además de los Centros Organizacionales, los **Centros Decisionales (ó Centros de Decisión)**, los cuales tomarán decisiones sobre uno o varios Centros Organizacionales, que serán ejecutadas y controladas por estos últimos.

Así pues, un Centro Organizacional podría ser por ejemplo simplemente responsable de la ejecución y control de la AT de Almacenamiento (por ejemplo del Ítem Materia Prima) y otro Centro Organizacional responsable de la AT de Transporte (desde el punto de vista de Aprovisionamiento) o bien podría existir un único Centro Organizacional responsable de ambas ATs.

Se establece como **Centro Organizacional mínimo** el correspondiente a una AT (referida a un Nodo o Arco), de manera que un Centro Organizacional no podrá corresponder al responsable de una Alternativa de cierta AT.

Partiendo de la definición del proceso de Planificación Colaborativa, y asumiendo que éste está compuesto por Actividades Decisionales que consisten en la Toma de Decisiones / Planes de tipo Táctico y/u Operativo¹¹ sobre unos Recursos/Ítems definidos en la Visión Física de la RdS/D, se definen los denominados **Niveles Organizacionales**, que posteriormente, en la Visión Decisional, coincidirán con los Niveles Decisionales.

El Marco considera inicialmente dos Niveles Organizacionales: Táctico y Operativo.

Cada Nivel Organizacional estará compuesto de uno o más Centros Organizacionales dependiendo de si existe en dicho Nivel un único responsable de la ejecución/control de todas las AT definidas a lo largo de la RdS/D o existen varios.

Por ejemplo, en el Nivel Organizacional Táctico, podría existir un único Centro Organizacional responsable de todas las actividades desarrolladas en la RdS/D. En este caso, bien podría tratarse de la existencia de una Entidad/Grupo Mercantil que englobara a un conjunto de Empresas que dependen tácticamente entre sí.

La existencia de un Grupo/Entidad Mercantil normalmente tendrá como consecuencia que haya (al menos a Nivel Táctico) un Centro Organizacional “responsable táctico” de las diferentes AT de los distintos Nodos/Arcos que componen la RdS/D en cuestión. No obstante, dependiendo de dicho Grupo /

¹¹ No se considera el Nivel Estratégico (diseño de la RdS/D) ni el Nivel muy Operativo (programación-secuenciación).

Entidad Mercantil podría existir más de un Centro Organizacional. A Nivel Operativo normalmente existirán ya varios Centros Organizacionales.

4.5 Visión Decisional

En este apartado se aborda la Visión Decisional, la más importante, pues el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D, y por tanto sus Actividades, están íntimamente ligadas al proceso de Toma de Decisiones.

La propuesta de Marco para la Visión Decisional del proceso de Planificación Colaborativa se compone de dos Sub-Visiones ¹²:

Por una parte la **Sub-Visión Macro-Decisional**, en la cuál se analiza qué Centros de Decisión existen, a partir de los cuales y en función del Nivel Decisional en que se ubican (táctico u operativo) y de sus Relaciones de Interdependencia (Información intercambiada) se podrá conocer de qué Actividades Decisionales se compone el Proceso de Planificación Colaborativa¹³, así como su orden de ejecución, obteniendo por tanto un Modelo (decisional) del Proceso, pero complementado por la relación de éste con el resto de las Visiones.

Lo anterior permitiría establecer las bases para responder a las siguientes cuestiones:

- ¿**Quién** realiza la Actividad Decisional?
- ¿**Cuándo** se realiza la Actividad Decisional?
- ¿**Qué** se realiza en la Actividad Decisional (a nivel Macro)?

Por otra parte la **Sub-Visión Micro-Decisional**, en la cuál se analiza cada Centro de Decisión individualmente (“propietarios” de las Actividades Decisionales), de manera que se establecerán las bases para responder a la siguientes cuestiones:

- ¿**Qué tipo de Decisiones específicas** de “Planificación” se toman en la Actividad Decisional?

¹² Las dos Sub-Visiones tendrían su equivalencia, de alguna forma, con el Nivel de Rejilla y de Celda, respectivamente, en el Modelo GRAI (Doumeingts, 1984).

¹³ Como se dijo anteriormente, el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D se trata de un Proceso en el que las Actividades que lo conforman son mayoritariamente Decisionales, por lo que no se ha considerado la Visión típicamente de Procesos (Visión Funcional), la cual sí incluiría otro tipo de Actividades involucradas (minoritariamente) en dicho Proceso. Además, el objetivo último es el Modelado Analítico de dichas Actividades Decisionales.

- ¿Cómo se realiza la Actividad Decisional o cómo se toman las anteriores “decisiones específicas”?

Además, la **Sub-Visión Micro-Decisional** planteará todos los aspectos y conceptos necesarios para el Modelado Analítico¹⁴ de cada uno de los Centros de Decisión asociados a cada una de las Actividades Decisionales del Proceso de Planificación Colaborativa.

4.5.1 Sub-Visión Macro-Decisional

La **Sub-Visión Macro-Decisional** se estructura en tres bloques:

1. Identificación de los **Centros de Decisión** que intervienen en el Proceso de Planificación Colaborativa.
2. Análisis de las **Relaciones de Interdependencia** entre los distintos Centros de Decisión identificados¹⁵.
3. Identificación de las **Actividades Decisionales** del Proceso de Planificación Colaborativa y **orden de ejecución** de las mismas.

4.5.1.1 Centros de Decisión

Los **Centros de Decisión** corresponderán a decisores¹⁶ que de forma automatizada o no, serán responsables de la Toma de Decisiones (Planes Táctico – Operativos) de uno o más Centros Organizacionales. Dichas decisiones afectarán, en principio, a las Actividades de Transformación (Transporte, Producción-Operaciones y Almacenamiento) de las cuáles eran responsables (ejecución/control) los diferentes Centros Organizacionales.

Es importante reseñar que se parte de la premisa de que un Centro de Decisión puede “abarcar” varios Centros Organizacionales, pero no a la inversa. De ahí la importancia de analizar previamente cuál

¹⁴ Debe recordarse que en la presente Tesis no sólo se desea establecer una Metodología para modelar el Proceso (capítulo 5), sino que también se desea modelarlo analíticamente (capítulo 6), en RdS/D con estructuras suficientemente amplias y complejas.

¹⁵ Han sido de gran utilidad los trabajos de Fleishmann y Meyr (2003), Grossmann (2005), Lejeune y Yakova (2005), Pontrandolfo y Okogbaa (1999), Schneeweiss (2003) y Stadtler (2005).

¹⁶ Aunque podrían existir dos o más Centros de Decisión con el mismo decisor, como se verá posteriormente.

es la “Estructura Organizativa” de la RdS/D antes de analizar propiamente el Proceso de Planificación Colaborativa.

Por otra parte dichos Centros de Decisión estarán ubicados en los denominados **Niveles Decisionales**: Táctico y Operativo.

Cada Nivel Decisional estará compuesto de uno o más Centros de Decisión.

Por ejemplo, podría existir en el Nivel Decisional Táctico, un único Centro de Decisión, el cuál tomaría de forma totalmente centralizada para toda la RdS/D todas las decisiones de carácter táctico (Plan Táctico global), que afectarían a todas las Actividades de Transformación (Transporte, Producción-Operaciones y Almacenamiento) de las cuales serían propietarios el/los Centro/s Organizacional/es definido/s previamente en dicho Nivel.

En cambio, en el Nivel Decisional Operativo podrían identificarse varios Centros de Decisión, de manera que las decisiones de carácter operativo de dicha RdS/D ya no se tomarían centralizadamente, sino que existiría cierta descentralización (Planes Operativos individuales).

4.5.1.2 Relaciones de Interdependencia

A partir de la identificación de los Centros de Decisión, se establece en un segundo bloque qué tipo de Relaciones de Interdependencia existen entre los mismos, tanto desde el punto de vista Temporal como Espacial.

El hecho que existan muchos Centros de Decisión en un Nivel Decisional significa que las Decisiones no se toman de forma centralizada, pero ello no indica que esos Centros de Decisión tomen las Decisiones de forma totalmente descentralizada (sin ningún tipo de Colaboración). Es por ello por lo que la Sub-Visión Macro-Decisional analiza ahora qué tipo de Relaciones de Interdependencia se pueden establecer entre los Centros de Decisión.

Además, el análisis del tipo de Relaciones de Interdependencia será muy importante para posteriormente analizar cómo se realiza la Toma de Decisiones en cada uno de los Centros de Decisión (Sub-Visión Micro-Decisional), pues dichas **Relaciones de Interdependencia serán de diferente índole y conllevarán distintos Grados de Colaboración.**

Para poder caracterizar las diferentes Relaciones de Interdependencia se presenta un glosario de conceptos, los cuales permitirán posteriormente realizar una clasificación de las mismas. No obstante, algunos de ellos se tratarán de manera detallada, cuando proceda, a lo largo del Marco.

4.5.1.2.1 Conceptos previos

La mayoría de dichos conceptos se muestran en la Figura 4-2, en la que se han representado dos Centros de Decisión genéricos y que se han denominado (tal y como se explicará a continuación) CD^T y CD^B ¹⁷.

Se definen los siguientes conceptos:

Centro de Decisión (CD): se trata de decisores que de forma automatizada o no, serán responsables de la Toma de Decisiones de uno o más Centros Organizacionales, responsables a su vez de la implementación/control de dichas decisiones sobre las distintas Actividades de Transformación identificadas en los distintos nodos/arcos. Dicha Toma de Decisiones se verá reflejada en forma de Planes Tácticos y/u Operativos ó de forma genérica Planes Operacionales.

Centro de Decisión Superior (CD^T)¹⁸: Se trataría del CD que iniciaría la interacción (decisional) entre los procesos de Decisión de ambos CDs. Aunque realmente su definición tiene sentido para interacciones de carácter jerárquico, en el que existe claramente un CD superior, también se utilizará en interacciones de carácter no jerárquico, identificando como CD^T el primero que iniciara el Proceso de Decisión, incluso en condiciones de total igualdad. Se utilizará CD^{Tt} en caso de Interdependencia Temporal y CD^{Tc} en caso de Interdependencia Espacial.

Centro de Decisión Inferior (CD^B): Se trataría del CD que tomaría las decisiones a partir del proceso de Decisión iniciado por el CD superior. Se utilizará CD^{Bt} en caso de Interdependencia Temporal y CD^{Bc} en caso de Interdependencia Espacial.

Instrucción (IN_k): Se trataría propiamente de la interacción decisional entre los CDs implicados. En el caso más general se compone de una decisión (véase Variables de Decisión Globales), y de cierta información complementaria (véase Información Global) que el CD^T le envía al CD^B una vez que su Modelo de Decisión ha sido resuelto, es decir, una vez obtenido su Plan Operacional. Esta IN_k influenciará de algún modo u otro el Modelo de Decisión de este último. El **subíndice k** hace referencia al **ciclo**, de tal

¹⁷ Algunos de los conceptos se basan en el Marco que propone Schneeweiss (2003), aunque en este caso muchos de ellos no tienen en cuenta el contexto en el que se desarrolla la presente Tesis, en el que se **intenta describir un Proceso (el de Planificación Colaborativa) con varios Centros de Decisión** (y no una mera interacción entre dos de ellos) y en el que se definen **al mismo tiempo tanto interdependencias a Nivel Espacial como Temporal**.

¹⁸ En el glosario, para mayor claridad, se definirán los distintos conceptos en base a la Figura 4-2, es decir, utilizando un único Centro de Decisión Superior y un único Centro de Decisión Base. En general, podrían existir varios, y las definiciones seguirían siendo válidas.

modo que $k=1$ indicaría la primera IN enviada desde el CD superior. En el caso más general, podrían existir varios ciclos k Instrucción – Reacción.

Reacción (R_k): Al igual que con la IN_k , también se trata de una interacción entre los CDs implicados. Se trataría de una decisión, más en su caso cierta información complementaria que, a modo de contrapropuesta, enviaría el CD^B al CD^T modificando la Instrucción que este último le envía. Al igual que con la Instrucción, el subíndice k hace referencia al ciclo, de tal modo que $k=1$ indicaría la primera R enviada al CD^T .

Función Anticipación (FA_k ó ANT_k): Se trataría de una influencia (en caso que exista) que ejerce el CD^B sobre el CD^T , modificando de este modo el valor de IN_k ($FA_k^T(IN_k)$), o al revés, modificando en este caso el valor de R_k ($FA_k^B(R_k)$). Ésta puede ser de diferentes tipos como se verá más adelante, en función de qué aspectos/información del CD^B tiene en cuenta el CD^T a la hora de resolver su Modelo de Decisión y con qué precisión. Lo anterior estará directamente relacionado, con la simetría-asimetría de la información entre los distintos CDs. Este concepto es clave para evaluar los distintos **mecanismos de coordinación** entre CDs, tal y como se detallará más adelante.

Decisión final (DF): Se trataría de las decisiones (en forma de Planes Operacionales) a implementar por el CD^T y el CD^B después del proceso de decisión conjunto, ya haya sido con sólo una IN o con uno o varios ciclos IN_k - R_k . Las DF se tomarán periódicamente¹⁹, según marque el Período de Replanificación del CD^T y según un Horizonte Rodante, tal y como se detallará más adelante.

Plan Operacional (POP_k): Un CD activará/ejecutará su Modelo Decisional con la Información (véase Información de Entrada) de que disponga en ese momento y obtendrá unos valores concretos para cada una de sus Variables de Decisión. Dichas decisiones tomarán la forma de Plan Operacional (ya sea Táctico y/u Operativo).

Plan de Demanda-Requerimientos (PDE_k) / Plan de Disponibilidad (PDI_k): Una vez obtenido el Plan Operacional (Táctico u Operativo), algunas de las decisiones obtenidas se enviarán a modo de Instrucción (IN_k) o Reacción (R_k) a otros CD con los que existan interacciones decisionales. Dichas decisiones tomarán la forma de PDE_k o bien de PDI_k .

Período de Replanificación (PR): Dicho Período establecería cada cuánto tiempo tendría que iniciarse el proceso de Decisión conjunto, o dicho de otra forma, cada cuánto tiempo un CD debería

¹⁹ Ya que el Marco sólo aborda los sub-procesos táctico-operativos pertenecientes al proceso de Planificación Colaborativa, en los cuales las decisiones se toman periódicamente y no por eventos, como pudiera ocurrir en procesos mucho más operativos, en contextos de programación-secuenciación.

activar/ejecutar su Modelo de Decisión, para con la Información (de Entrada) disponible, obtener nuevamente un Plan Operacional.

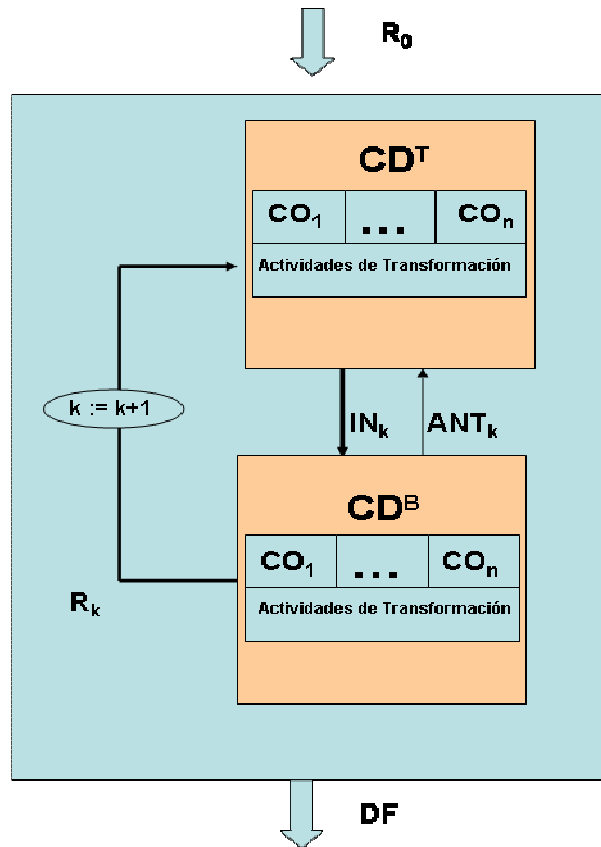


Figura 4-2. Proceso genérico de Toma de Decisiones conjunto entre dos Centros de Decisión (Sub-Visión Macro-Decisional) (adaptado de Schneeweiss, 2003)

Horizonte Rodante (HR): Normalmente, para resolver el Modelo de Decisión de un CD, será necesario determinar el alcance temporal (decisional) del mismo, el cual dependerá mucho del tipo de decisiones que se pretendan tomar y la incertidumbre asociada. Dicho Horizonte estará segmentado en Períodos de Planificación (véase Períodos de Planificación), y es Rodante porque cada vez que se inicia el proceso de decisión conjunto (o se activa/ejecuta el Modelo de Decisión al haber alcanzado el Período de Replanificación) se le añaden los Períodos de Planificación necesarios para que el alcance temporal se mantenga constante.

Período de Planificación (PP): Dicho Período marca sobre qué “segmentos de tiempo” se pretenden tomar las decisiones que conforman el Plan Operacional.

Período Congelado (PG): Se refiere a qué Períodos de Planificación del Horizonte Rodante no se pueden/deben replanificar.

Realimentación (R_0): Se trataría de las condiciones iniciales del Sistema (formado por los dos CDs) cada vez que se aborde el proceso de Decisión Conjunto. Estas condiciones iniciales dependerán fundamentalmente de la DF que se tomó en el anterior PR y de lo que ha ocurrido realmente en el Sistema durante dicho PR. No se ha de confundir este término con el de Reacción.

4.5.1.2.2 Parámetros de clasificación

A partir de todos los conceptos definidos (la mayoría de ellos representados previamente en la Figura 4-2), se puede establecer una clasificación de cómo se realiza la Toma de Decisiones (a nivel Macro) entre los diferentes Centros de Decisión.

Para ello se definen los siguientes parámetros, cada uno con sus correspondientes atributos:

1. Naturaleza de la Interacción

- a. **Temporal:** En este caso la interacción se produciría entre Centros de Decisión situados en los Niveles Decisionales Táctico y Operativo.
- b. **Espacial:** En este caso la interacción se produciría entre Centros de Decisión situados en un Nivel Decisional concreto, ya sea el Táctico o el Operativo.

2. Tipo de Interacción

- a. **Nula:** No existe ningún tipo de interacción en el proceso de Decisión (Planificación). En este caso no tendría sentido el concepto de Instrucción (IN) enviada desde un CD^T a un CD^B .
- b. **Jerárquica:** es el tipo de interacción que se origina cuando los Centros de Decisión no tienen el mismo status, ya sea por cuestiones de liderazgo o porque la propia planificación exija que se haya de respetar una secuencia concreta. En ambos casos, CD^T ²⁰, inicializaría el proceso de Decisión conjunto y enviaría una IN a CD^B . Aunque en muchos de los casos el término “jerárquico” se asocie a aquél en el que sólo exista un ciclo IN-R, en el caso más general podrán existir varios ciclos IN_k-R_k , acotados según dictamine de algún modo u otro CD^T .
- c. **No-Jerárquica:** es el tipo de interacción que se origina cuando los Centros de Decisión tienen el mismo status. En este caso, también CD^T inicializaría el proceso de Decisión

²⁰ En este caso sí que podría particularizarse la definición previamente dada para CD^T y hablarse propiamente de “jerárquicamente superior”.

conjunto y enviaría una IN a CD^B . Normalmente existirán varios ciclos IN_k-R_k acotados, en muchos de los casos, por ciertas reglas de parada.

3. Búsqueda de Objetivo Global

- a. **Organizacional:** en este caso los Centros de Decisión comparten un mismo “objetivo “global”. En este caso tanto el CD^T como el CD^B intentarían “optimizar” el proceso de decisión/planificación conjunto, aunque manteniendo las individualidades propias de cada CD. Se trataría realmente de una Colaboración. En este contexto de “asimetría” aparecerán los denominados **mecanismos de coordinación**, distinguiendo entre aquellos ligados al concepto de Anticipación y aquellos ligados a aquella información complementaria que puede acompañar a las IN, o en su caso R (véase posteriormente Información Global), en la que será común la utilización de incentivos/penalizaciones “ficticios”, sólo utilizados para informar a la otra parte sobre las consecuencias que una acción individual tiene para la “optimización” conjunta. Se hablará más bien de acuerdos (normalmente comandados por el CD superior) que de contratos formales, en los que las ganancias obtenidas por el proceso de decisión conjunto serán repartidas de manera que los CD “ganen” más que haciéndolo de manera individual.
- b. **No-Organizacional:** en este caso los Centros de Decisión, o bien no comparten un mismo “objetivo “global” o bien sólo parte del mismo. Se podría decir que los Centros de Decisión no tienen exactamente los mismos objetivos de Planificación, pero sí son parcialmente compatibles, y por tanto interesa interaccionar en busca de un “objetivo global” que satisfaga o busque un equilibrio entre los “objetivos individuales”. En este caso tanto el CD^T como el CD^B intentarían “optimizar” individualmente, pero entendiendo que dicho proceso de decisión conjunto le favorece. Estas últimas no serían las idóneas para una relación a Medio/Largo Plazo y suelen reflejarse formalmente a modo de Contratos formales, con incentivos/penalizaciones en este caso “reales” y en los que no existe pues ningún “ganancia” conjunta que se intente optimizar ni repartir entre las partes. Normalmente existirán reglas de parada para determinar el final de dicho proceso de decisión “coordinado”.

4. Número de Ciclos

- a. Solo Instrucción: en este caso CD^T únicamente envía una única IN_k (o simplemente IN) a CD^B .
- b. Un ciclo Instrucción-Reacción: en este caso CD^T envía una IN_k (o simplemente IN) a CD^B , pero este último envía una R_k (o simplemente R) como contrapropuesta.

- c. Varios ciclos Instrucción-Reacción: en este caso el número de ciclos IN_k-R_k es mayor que uno, y daría lugar a lo que se denomina normalmente “Negociación”.

5. Grado de Anticipación ²¹

- a. Nula: aunque pueda existir interacción (envío de una IN desde CD^T), en este caso no existe Anticipación, de manera que CD^T no anticipa ningún componente del Modelo de Decisión de CD^B . Análogamente se puede decir de CD^B , si éste envía una R a CD^T .
- b. No-Reactiva: Sí existe Anticipación y ésta se determina mediante un Función Anticipación no-reactiva, es decir, no dependiente de la Instrucción. Lo único que se ha tenido en cuenta han sido algunos aspectos que restringen al CD anticipado (ó como se verá en la Sub-Visión Micro-Decisional que afectan a su Campo de Decisión).
- c. Reactiva: Sí existe Anticipación y ésta se determina mediante un Función Anticipación reactiva, es decir, dependiente de la Instrucción. En este caso se tendría en cuenta además, aspectos que afectan a los objetivos individuales del CD anticipado (ó como se verá en la Sub-Visión Micro-Decisional que afectan a su Criterio).

6. Comportamiento

- a. No-Oportunista: este parámetro se basa en el “fair play²²” entre los distintos CDs y por tanto directamente ligado al grado de confianza existente entre los mismos. Este comportamiento se da normalmente en contextos **organizacionales**, donde la confianza está basada en una fiabilidad demostrada y normalmente con la determinación de mantener relaciones duraderas a Medio/Largo Plazo. No obstante, hay que reseñar que también puede aparecer en contextos **no-organizacionales**, en sistemas en los que pueda existir una confianza basada en la buena voluntad de las partes y donde se persigue una **cooperación** entre las los Centros de Decisión.
- b. Oportunista: Este comportamiento se da siempre en contextos **no-organizacionales**, en los que además el grado de confianza es escaso o nulo y por tanto no existe “fair play”. En este caso, más que de una colaboración o cooperación se podría hablar más bien de una **competición**.

²¹ Para la definición de los distintos grados de anticipación, como uno de los posibles mecanismos de coordinación ha sido importante la clasificación realizada en Schneeweiss y Zimmer (2004).

²² Expresión utilizada para explicar que existe “juego limpio/justo” entre las partes involucradas y no existen comportamientos deshonestos.

4.5.1.2.3 Entorno de un Centro de Decisión

El Entorno de un Centro de Decisión o Entorno Decisional está formado por todos aquellos Centros de Decisión con los que mantiene algún tipo de Interacción Decisional, es decir, todos aquellos Centros de Decisión con los que el parámetro “Tipo de Interacción” **no** toma el atributo “Nula”.

El Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico CD^M estará compuesto de aquellos Centros de Decisión con los que “interactúe” (decisionalmente) a Nivel Espacial y a Nivel Temporal (Figura 4-3)

En lo que respecta al **Nivel Espacial** se consideran:

1. Centros de Decisión superiores (CD^{Te})
2. Centros de Decisión inferiores (CD^{Be})

En lo que respecta al **Nivel Temporal** se consideran igualmente:

1. Centros de Decisión superiores (CD^{Tt})
2. Centros de Decisión inferiores (CD^{Bt})

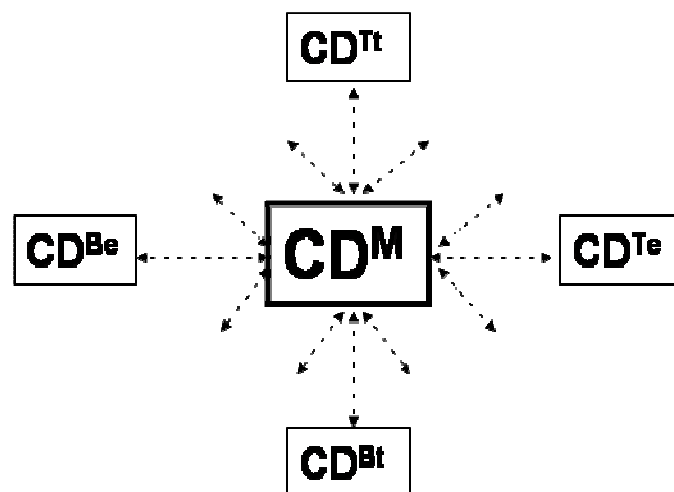


Figura 4-3. Entorno Decisional de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.5.1.3 Actividades Decisionales

Una vez analizadas los distintos tipos de Interdependencia existentes entre todos los Centros de Decisión (Entornos Decisionales) según un conjunto de Parámetros / Atributos, se aborda en este tercer bloque los conceptos necesarios en base a los cuales **se identificarán cada una de las Actividades Decisionales (AD_k)** que conformarán el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D. Además,

también se establecerán las bases para determinar la secuencia de su ejecución, puesto que un contexto de “colaboración” estarán interrelacionadas, formando parte de dicho Proceso.

Por regla general cada Centro de Decisión será “propietario” de una Actividad Decisional, consistente en obtener un Plan Operacional (Táctico u Operativo). Sólo en el caso en el que el parámetro “Número de Ciclos” tome el atributo “Varios ciclos Instrucción-Reacción” dicha Actividad Decisional se ejecutará en más de una ocasión. Por ejemplo, en una negociación (jerárquica o no) de dos CDs con dos ciclos IN_k-R_k , en el que cada uno de los CDs sería “propietario” de una Actividad Decisional que se ejecutaría en dos ocasiones.

No obstante, desde el punto de vista del Proceso, **cada Actividad Decisional sólo se indicará una vez, aunque ésta se ejecute en más de una ocasión.**

Otro asunto importante es la **secuencia** con la que los CDs ejecutarán dichas Actividades Decisionales (AD_k), dando lugar a Planes Operacionales Tácticos u Operativos.

Cada uno de estos **Planes Operacionales** poseen una serie de características Temporales, ya definidas previamente y propias del Nivel Decisional, que vienen dadas por:

- Período de Replanificación
- Horizonte (Rodante)
- Período de Planificación

Con carácter general, el Marco considera que dos CDs situados en el mismo Nivel Temporal (Decisional) presentan el mismo Período de Replanificación y Horizonte. Además, se considerará siempre que el Período de Replanificación es un múltiplo del Período de Planificación, y el Horizonte un múltiplo del primero.

A través del Período de Replanificación es posible conocer en qué instante de tiempo un determinado CD^M genérico situado en cualquiera de los Niveles Temporales (Decisionales) debe tomar sus Decisiones, es decir, cada cuánto tiempo debe ejecutar (en una o varias ocasiones) la Actividad Decisional asociada al mismo.

Por tanto, las **Actividades Decisionales que conforman el proceso de Planificación Colaborativa se ejecutarán todas periódicamente** (y no por eventos), **aunque manteniendo cierto orden/secuencia.**

También se supondrá que el Periodo de Planificación y Replanificación de un CD superior estará compuesto por un múltiplo entero de un periodo detallado de planificación y replanificación, respectivamente, del CD inferior.

A partir de todo lo anterior, se establece el orden/secuencia en el que se ejecutarán las distintas Actividades Decisionales de las que consta el proceso de Planificación Colaborativa.

Dicho orden/secuencia se establecerá a través del análisis acerca de qué Centros de Decisión son “superiores” al resto, lo cual será función de:

1. Un CD situado en el Nivel Decisional Táctico siempre ejecutará su Actividad Decisional antes que cualquier CD situado en el Nivel Decisional Operativo, ya que este último sería inferior²³ desde el punto de vista Temporal.
 - El Horizonte y los Períodos de Replanificación y Planificación de los CDs situados en el Nivel Táctico serán múltiplos de los CDs situados en el Nivel Operativo.
 - Los CDs situados en el Nivel Operativo, revisarán (y por tanto ejecutarán / activarán) sus Planes Operativos con más frecuencia (Período de Replanificación menor), de manera que sólo en ciertos instantes de tiempo, la toma de decisiones de ambos CDs coincidirá.
2. Dado un Nivel Decisional concreto (Táctico u Operativo), un CD ejecutará su Actividad Decisional asociada antes que todos los CDs inferiores al mismo desde el punto de vista Espacial, lo cuál queda determinado por el análisis previo de las Interdependencias entre CDs, y más concretamente el atributo “Jerárquico” asociado al parámetro “Tipo de Interacción”.
 - El CD superior, por tanto, se ejecutaría su Plan Operacional (Táctico u Operativo) un instante antes que el CD inferior a pesar de compartir el mismo Período de Replanificación.
 - En el caso no-Jerárquico se adoptará como CD “superior” indistintamente cualquiera de los CDs que interaccionan decisionalmente.

4.5.2 Sub-Visión Micro-Decisional

A continuación se describe la Sub-Visión Micro-Decisional, la cuál dependerá de algunos de los aspectos desarrollados en la **Sub-Visión Macro-Decisional**, cuyas principales salidas han sido (Figura 4-4):

- ¿**Quién** realiza la Actividad Decisional? ó ¿Quién planifica?
 - En este caso se han definido unos Centros de Decisión (que corresponderían a decisores de tipo humano/informático).

²³ Aunque en el caso Temporal se podría más bien hablar de “jerárquicamente inferior” en vez de “inferior” pues parece clara la jerarquía en este contexto. No obstante, se utilizará ésta última denominación.

- ¿**Cuándo** se realiza la Actividad Decisional? ó ¿cuándo se Planifica?
 - En principio se trata de Actividades dirigidas por “período”, y más específicamente “Período de Replanificación”. No obstante se han definido una serie de pautas para saber el orden/secuencia de ejecución de cada una de ellas.
- ¿**Qué se realiza** en la Actividad Decisional?
 - A este Nivel Macro se conoce que cada Centro de Decisión ejecutará su Actividad Decisional asociada, obteniendo un Plan Operacional (Táctico u Operativo) del que se conoce:
 - sobre qué Actividades de Transformación identificadas sobre los distintos Nodos y Arcos que conforman la RdS/D se tomarán las decisiones oportunas (que serán ejecutadas y controladas por uno o más Centros Organizacionales).
 - Su Horizonte (rodante) y Períodos de Planificación.

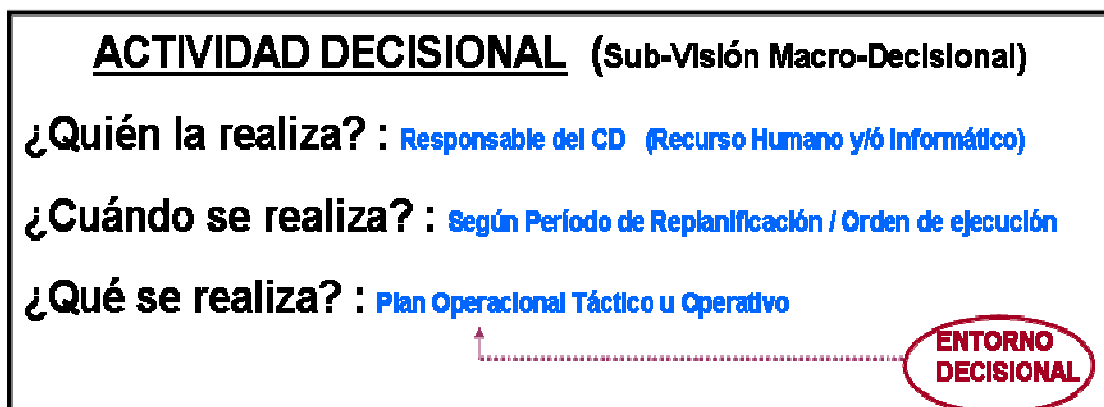


Figura 4-4. Sub-Visión Macro-Decisional: Actividades Decisionales
(elaboración propia)

La **Sub-Visión Micro-Decisional** analiza cada Centro de Decisión (Actividad Decisional) por separado, detallándose en este caso, de manera estructurada, qué aspectos/conceptos se deberían conocer en un CD^M genérico para poder responder a las siguientes cuestiones (Figura 4-5).

- ¿**Qué decisiones específicas / variables de decisión** se toman al realiza cada Actividad Decisional? ó ¿qué tipo de decisiones específicas / variables de decisión forman parte del Plan Operacional obtenido?
- ¿**Cómo** se realiza la Actividad Decisional? ó ¿cómo se Planifica? ó ¿cómo se obtienen las decisiones específicas que forman parte de un Plan Operacional?

- o Mediante un **Modelo Decisional**²⁴ que un CD^M genérico utiliza para dar respuesta a **cómo** se obtienen los valores específicos que tomarán las Variables de Decisión que conforman el Plan Operacional.
- o Por otra parte, la **Información** utilizada por dicho CD^M genérico, cuya cantidad y precisión, como se apuntó anteriormente, dependerá mucho del Entorno Decisional de dicho CD^M. No obstante la Información será tratada de manera independiente en la **Visión Informativa**.



Figura 4-5. Sub-Visión Micro-Decisional: Actividades Decisionales (elaboración propia)

A continuación, se describen algunos conceptos básicos.

²⁴ Dicho Modelo Decisional podría ser desde un Modelo Analítico (basado en Programación Matemática o no), una hoja de Cálculo, unas reglas heurísticas, un simple proceso de sentido común-experiencia por parte del decisor, etc.

4.5.2.1 Conceptos previos

Al igual que se hizo anteriormente en la Sub-Visión Macro-Decisional, se definen inicialmente algunos conceptos que facilitan la comprensión de la Sub-Visión Micro-Decisional y que se abordarán con mayor detalle a lo largo de la misma. La mayoría de dichos conceptos se muestran en la Figura 4-6, en la que también se han representado dos Centros de Decisión genéricos CD^T y CD^B .

Dichos conceptos son los siguientes:

Variables de Decisión del CD^T/CD^B (X_k^T/X_k^B): Los valores de las mismas serán el resultado de resolver el Modelo Decisional del CD en cuestión, a partir de la Información (de entrada) de que se disponga en el ciclo k . Entre dichas Variables de Decisión, se pueden distinguir las Variables de Decisión **Locales** y las Variables de Decisión **por Interdependencias** (propias de contextos de Planificación Colaborativa)²⁵. El Plan Operacional que se obtiene será el resultado de la asignación de valores concretos a cada una de dichas Variables de Decisión.

Modelo de Decisión del CD^T/CD^B (Z_k^T/Z_k^B): Se trataría de todos los elementos que consideraría el CD en cuestión a la hora de tomar el conjunto de decisiones que conforman el Plan Operacional, los cuales son básicamente dos: un Campo de Decisión y un Criterio.

Campo de Decisión del CD^T/CD^B (A_k^T/A_k^B): Se trataría del espacio de acción en el que se podrían ubicar las posibles decisiones del CD en cuestión. Normalmente éste vendrá dado en función de un conjunto de Variables de Decisión cuyos valores estarían delimitados por un conjunto de restricciones, algunas **Locales** y otras **por Interdependencia** (propias de contextos de Planificación Colaborativa)²⁶.

Criterio del CD^T/CD^B (C_k^T/C_k^B): Se trataría principalmente del objetivo u objetivos del CD en cuestión. Dicho Criterio, en el caso más general vendría dado por tres componentes: Función Objetivo²⁷, Coste Informativo y Tiempo de Planificación. La Función Objetivo, al igual que el Campo de Decisión, también vendría expresada en función de las Variables de Decisión, distinguiendo, al igual que con el

²⁵ Las Variables de Decisión Locales (ó simplemente Variables Locales) y las Variables por Interdependencia se definirán en detalle en apartados posteriores del presente capítulo.

²⁶ El Campo de Decisión Local y el Campo de Decisión por Interdependencias se definirán en detalle en apartados posteriores del presente capítulo.

²⁷ Aunque en ocasiones el Criterio puede hacer mención sólo a la Función Objetivo.

Campo de Decisión, entre Criterio **Local** y por **Interdependencias** (propias de contextos de Planificación Colaborativa)²⁸.

Función Objetivo (FO_k): Tanto para el CD^T como para el CD^B se trataría normalmente del componente fundamental del Criterio. Dicha Función Objetivo se intentará “optimizar” a lo largo de un Horizonte (Rodante) concreto, y dependerá del valor que tomen el conjunto de Variables de Decisión pertenecientes a su Campo de Decisión.

Coste Informativo (CI_k): Tanto para el CD^T como para el CD^B, se trataría de un componente complementario a tener en cuenta a la hora de evaluar los valores de sus respectivos Criterios. La Función Objetivo como tal podría ser bastante satisfactoria pero a costa de un coste informativo muy alto, muy relacionado con la dificultad de “trabajar” con más información.

Tiempo de Planificación (TP_k): Tanto para el CD^T como para el CD^B, se trataría de un componente complementario a tener en cuenta a la hora de evaluar los valores de sus respectivos Criterios. La Función Objetivo como tal podría ser bastante satisfactoria pero el tiempo utilizado en el Proceso de Toma de Decisión conjunto (en su caso podrá incluir tanto el modelado como la resolución) ser demasiado alto para el tipo de Decisiones que se tengan que tomar.

Variables Globales del CD^T/CD^B (X_k^{TB}/X_k^{BT}): Se trataría de aquellas Variables de Decisión que conectan el Modelo Decisional de CD^T con el de CD^B y (en su caso) a la inversa. Dichas Variables Globales se consideran la parte principal de la Instrucción, ya que podría ir acompañada de Información Global (véase a continuación Información Global).

Información Global de CD^T/CD^B (I_k^{TB}/I_k^{BT}): Tal y como se apuntó en la Sub-Visión Macro-Decisional, la Instrucción enviada desde CD^T a CD^B (ó a modo de Reacción en sentido inverso) estaría compuesta, en el caso más general, de Variables Globales e Información Global. Esta última se trata de aquellos datos/parámetros, que acompañan a las Variables Globales (o más bien ya Decisiones Globales) y que sirven de mecanismo para la colaboración-coordinación entre los CDs. Normalmente corresponden a ciertas penalizaciones (ficticias o no dependiendo del contexto de colaboración-coordinación) y ciertas cotas superiores e inferiores sobre las Variables/Decisiones Globales, que dotarán de mayor flexibilidad al CD^B para el cumplimiento de la Instrucción. En otros casos, se puede considerar como Información Global cualquier Información que “ayude” al proceso de decisión conjunto, como por ejemplo el Coste Total en el que incurre CD^T en caso que CD^B aceptara como válida las Variables/Decisiones Globales contenidas en la Instrucción.

²⁸ El Criterio Local y el Criterio por Interdependencias se definirán en detalle en apartados posteriores del presente capítulo.

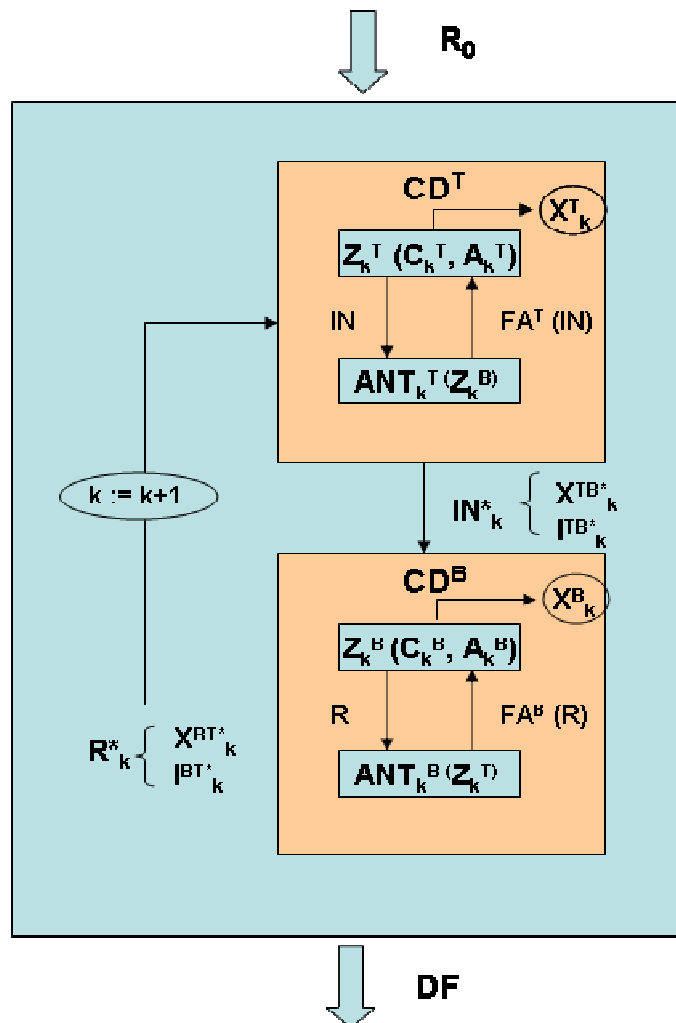


Figura 4-6. Proceso genérico de Toma de Decisiones conjunto entre únicamente dos Centros de Decisión (Sub-Visión Micro-Decisional) (adaptado de Schneeweiss, 2003)

Información de CD^T/CD^B (I_k^T/I_k^B): Este concepto hace referencia a todos los datos/parámetros que el CD en cuestión tiene en cuenta al resolver su Modelo Decisional (Información de Entrada, $I_{e_k^T}/I_{e_k^B}$) así como aquellos resultantes de la resolución de este último (Información de Salida, $I_{s_k^T}/I_{s_k^B}$). Tanto en la Información de Entrada como la de Salida se distinguirá, un componente **Local** y otro **por Interdependencias** (propias de contextos de Planificación Colaborativa)²⁹.

²⁹ La Información Local y la Información por Interdependencias se definirán en detalle en la Visión Informacional.

Niveles de Aspiración (NA): Son los valores de un Criterio que en ningún caso el CD en cuestión quisiera que fallaran, ya sea a causa de la Función Objetivo, por el Coste Informativo o por el Tiempo de Planificación. Este atributo será fundamental a la hora de evaluar la interacción entre los CDs en el Proceso de Decisión conjunto.

Discrepancia (DIS): Existirá siempre y cuando algunos de los valores del criterio no cumplan con los Niveles de Aspiración.

4.5.2.2 Detalle del tipo de decisiones tomadas

4.5.2.2.1 Introducción

Sea CD^M un Centro de Decisión genérico identificado anteriormente.

Dicho CD^M será “propietario” de una Actividad Decisional (repetida en una o más ocasiones) que se materializará en un Plan Operacional que tendrá un Horizonte / Períodos de Planificación concretos.

Se trata ahora de detallar **qué tipo de Decisiones/Variables de Decisión** específicas se toman en un Plan Operacional.

Para definir las anteriores Decisiones/Variables de Decisión es necesario conocer:

- ¿Qué Actividades de Transformación (AT) y de Interconexión (AI)³⁰ “abarca” dicho Plan Operacional³¹?
 - para lo cuál se definen a continuación los conceptos de Alcance y Frontera de un CD.
- ¿Qué Ítems se “hacen”³² en el Plan Operacional?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?
 - para lo cuál se definen a continuación los conceptos de Categoría y Tipos de Elemento.
 -

³⁰ Además de las Actividades de Transformación, ya definidas en la Visión Física (Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte), existen otro tipo, denominadas Actividades de Interconexión, que se ha creído conveniente definir en este momento y que corresponderán a **Compras** y **Ventas**.

³¹ Hay que recordar que un CD “decidía” sobre uno o más COs y que estos a su vez eran “responsables” de la ejecución/control de una o más Actividades de Transformación.

³² Por ejemplo, lo que se “hace” (producción-operaciones, transporte...) son “productos intermedios”, o “productos finales”, etc.

4.5.2.2.2 ¿Cómo definir las Variables de Decisión?

4.5.2.2.2.1 Alcance y Frontera de un Centro de Decisión

Para poder definir cada una de las **Variables de Decisión** que intervienen en un Plan Operacional es necesario definir los conceptos de **Alcance** y **Frontera**.

El **Alcance** de un Centro de Decisión no se trata de un concepto nuevo, ya que establece qué Centros Organizacionales dependen decisionalmente del mismo, o dicho de otra forma, sobre qué AT (Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte) se ha/n de tomar decisiones/planificar, lo cual, ya se analizó anteriormente en las Visiones Física y Organizacional.

El Alcance de un Centro de Decisión hará referencia tanto a los Recursos como a los Ítems, pues un Centro Organizacional era “responsable” de la ejecución/control de una o varias AT, las cuáles se definían previamente sobre unos Recursos e Ítems concretos³³.

Se establece aquí una primera diferenciación entre las **Variables de Decisión**, distinguiendo entre aquellas que **planifican la capacidad** de dónde se ejecutan las Actividades de Transformación y las que **planifican la ejecución** de las mismas, siempre que éstas pertenezcan al Alcance de un Centro de Decisión.

Más concretamente se podrían distinguir:

1. Variables de Decisión ligadas a la Planificación de la AT Producción-Operaciones.
 - a. Capacidad
 - b. Ejecución
2. Variables de Decisión ligadas a la Planificación de la AT Almacenamiento.
 - a. Capacidad
 - b. Ejecución
3. Variables de Decisión ligadas a la Planificación de la AT Transporte.
 - a. Capacidad
 - b. Ejecución

El Alcance de un Centro de Decisión dependerá normalmente del Nivel Decisional en el que esté ubicado. Normalmente éste será igual o mayor en el Nivel Táctico que en el Nivel Operativo, aunque en el

³³ Recursos e Ítems sobre los cuales se desee (en principio) Planificar Colaborativamente.

primero es donde se tomarán propiamente decisiones ligadas a la gestión/planificación de la capacidad, mientras que en el segundo decisiones ligadas a la gestión/planificación de la ejecución.

El otro concepto clave es el de **Frontera** de un Centro de Decisión, el cual establece el nexo de unión entre las AT identificadas en su Alcance y el resto de AT de Centros de Decisión con los que existe interacción desde el punto de Vista Físico. Este concepto viene por tanto implícitamente relacionado con la integración de tipo **Espacial**, entre Centros de Decisión pertenecientes a un mismo Nivel Decisional.

Ligado al concepto de Frontera, tiene sentido en este momento distinguir un segundo tipo de Variables de Decisión, que son aquellas que gestionan/planifican las Actividades de Interconexión (AI), las cuales sirven de nexo de unión (espacial) con otras AT pertenecientes al Alcance de otros Centros de Decisión.

Al igual que con las Actividades de Transformación existirán Variables de Decisión ligadas a la planificación de la capacidad y por otra parte a la planificación de la ejecución.

Más concretamente se podrían distinguir:

1. Variables de Decisión ligadas a la Planificación de la AI Ventas
 - a. Capacidad
 - b. Ejecución
2. Variables de Decisión ligadas a la Planificación de la AI Compras.
 - a. Capacidad
 - b. Ejecución

En cuanto a la AI **Ventas**, todo CD^M ejecutará su Actividad Decisional (Plan Operacional) en función de una Demanda, la cual podrá ser:

- Dependiente: proveniente a modo de Plan de Demanda/Requerimientos de “Compra” a partir de Instrucciones enviadas desde CDs pertenecientes a su Entorno Decisional, en particular CD^{Tc}
- Independiente: proveniente de una Previsión de Demanda, del Consumidor Final o de algún CD identificado inicialmente y con el que no mantiene ningún Tipo de Interacción Decisional, es decir, que no pertenece a su Entorno Decisional.

En cuanto a la AI **Compras**, todo CD^M ejecutará su Actividad Decisional (Plan Operacional) y ello derivará en un Plan de Demanda/Requerimientos de “Compra” que será enviado a modo de Instrucción ³⁴ a los CDs pertenecientes a su Entorno Decisional, en particular CD^{Be}.

4.5.2.2.2.2 Categorías y Tipos de Elementos

El segundo aspecto clave para poder definir las distintas Variables de Decisión que componen un Plan Operacional (y por consiguiente un Plan de Demanda/Requerimientos o bien un Plan de Disponibilidad que se pueda derivar del mismo) hace necesario la definición de dos conceptos adicionales, que son: **Categorías** y **Tipos de Elementos** (Figura 4-7).

Una vez definido el Alcance y la Frontera de un CD, es necesario definir el grado de detalle con el que se tomarán las Variables de Decisión, desde el punto de vista de los Ítems, Recursos y Tiempo (Períodos de Planificación).

Dicho grado de detalle estará íntimamente ligado al Nivel Decisional donde esté ubicado el CD en cuestión. Así, el grado de detalle con el que se considerarán los Recursos y/o Ítems sobre los que se tomarán decisiones (Planes Operacionales) será normalmente menor en el Nivel Decisional Táctico que en el Operativo, del mismo modo que los Períodos de Planificación/Tiempo, los cuales serán normalmente más amplios.

El concepto **Categoría** se define a partir de qué tipo de Decisiones (o Variables de Decisión) han de tomarse. Como ya se ha dicho, una Variable de Decisión en un contexto de Planificación (Planes Operacionales) tiene sentido en cuánto ésta hace incidir sobre unos Ítems y/o Recursos (organizados) y a lo largo del Tiempo.

En base a lo anterior se definen tres Categorías:

- ¿Qué se “hace” en el Plan Operacional?: **Categoría “Ítems en general”**
- ¿Dónde?: **Categoría “Recursos”**
- ¿Cuándo?: **Categoría “Períodos de Planificación”**

El concepto **Tipo de Elemento** depende de la Categoría, es decir, para cada Categoría se definen distintos Tipos de Elementos, dependiendo del grado de detalle (estados de Agregación/Desagregación) con el que se pretendan definir las Variables de Decisión.

Los Tipos de Elementos para cada Categoría son (de mayor a menor grado de detalle):

³⁴ Si no existiera dicha Instrucción significaría que simplemente existen transacciones puntuales de Compra, y que por tanto no pertenece a su Entorno Decisional.

- **Categoría “Ítems en General”:** Ítems y Grupos de Ítems.
- **Categoría “Recursos”:** Alternativas, Etapas (Intra-Nodo), Nodos/Arcos, Puntos de Venta, Grupos de Nodos/Arcos³⁵, Grupos de Puntos de Venta y Centros de Decisión.
- **Categoría “Períodos de Planificación”:** Diario, Semanal, Mensual, Trimestral, Cuatrimestral, Semestral, Anual³⁶, etc.

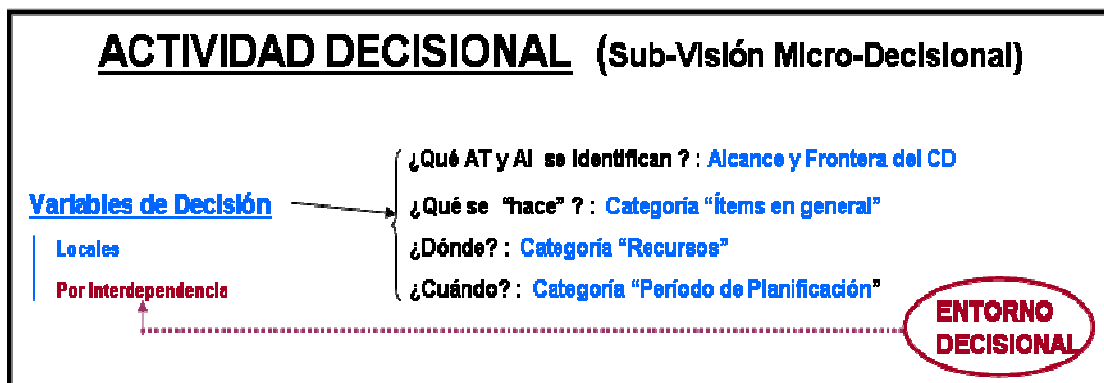


Figura 4-7. Sub-Visión Micro-Decisional: Variables de Decisión (elaboración propia)

4.5.2.2.3 Variables de Decisión: tipos en Planificación

Como se ha comentado anteriormente, las Decisiones tomadas por un CD^M en un Nivel Decisional determinado cada vez que ejecuta una Actividad Decisional inciden sobre cada una de las Actividades de Transformación (AT) y de Interconexión (AI) pertenecientes a su **Alcance** y **Frontera**, respectivamente.

Se citan a continuación en el Marco, y simplemente como una **guía orientativa**, aquellas Variables de Decisión que potencialmente podrían considerarse a Nivel de Planificación de Operaciones en una RdS/D³⁷. A cada una de ella se les ha denominado Variables Específicas en Contextos de Planificación (VECP) y se han agrupado en función de la AT o AI a la que pertenecen.

³⁵ Pertenecientes a la misma Etapa o no, y que normalmente se definirá cuando exista alguna Entidad/Grupo Organizacional que englobe a varios Nodos/Arcos.

³⁶ De manera análoga a las Categorías “Ítems en General” y “Recursos”, un Período de Planificación de un mes correspondería a un “Grupo de Períodos de Planificación semanales”, un trimestre a un “Grupo de Períodos de Planificación mensuales”, etc.

³⁷ Ha sido de gran ayuda la clasificación propuesta en Pontrandolfo y Okogbaa (1999).

A continuación se enumeran las VECP asociadas a cada una de las **Actividades de Transformación (AT)**: Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte.

1. Producción-Operaciones

- a. Cantidad a producir
- b. Número de Lanzamientos
- c. Número de Lotes a producir
- d. Producir o no
- e. Realizarse un cambio de partida o no
- f. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” en un período.
- g. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” al inicio de un período.
- h. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” al final de un período.
- i. Un “Recurso” está activado/encendido o no en un período.
- j. Un “Recurso” se activa/enciende o no al principio de un período.
- k. Un “Recurso” se desactiva/apaga o no al principio de un período.
- l. Un “Recurso” produce más de un “Item en general” o no en un período
- m. Capacidad normal
- n. Capacidad normal por turno
- o. Número de turnos
- p. Capacidad extra
- q. Capacidad extra por turno.
- r. Capacidad ociosa
- s. Capacidad ociosa por turno.

2. Almacenamiento

- a. Cantidad a almacenar/inventariar
- b. Cantidad por debajo del Stock de Seguridad Objetivo

- c. Capacidad de almacenamiento³⁸

3. Transporte

- a. Cantidad a transportar
- b. Modos de transporte a utilizar
- c. Transportar o no
- d. Capacidad de transporte

A continuación se enumeran las VECP asociadas a cada una de las **Actividades de Interconexión (AI)**: Compras y Ventas.

4. Compras

- a. Cantidad a comprar/subcontratar
- b. Comprar o no.

5. Ventas

- a. Cantidad a vender
- b. Cantidad a diferir
- c. Cantidad a rechazar
- d. Vender o no

4.5.2.2.4 Clasificación de las Variables de Decisión en un “contexto colaborativo”

En contextos de Planificación Colaborativa, para definir cuáles son las Variables de Decisión X_k^M de una Actividad Decisional k tomada por un CD^M genérico es necesario distinguir entre:

1. Variables Locales & Variables por Interdependencia
2. Variables Globales & Variables no Globales

4.5.2.2.4.1 Variables Locales & Variables por Interdependencia

Las **Variables Locales** X_{ik}^M se tratarían de aquellas Variables de Decisión que:

³⁸ Siempre que esta decisión pueda tomarse desde un punto de vista Táctico (Medio Plazo).

- Desde el punto de vista **espacial** pertenecen al Alcance/Frontera de un CD^M genérico, ya definido anteriormente.
- Desde el punto de vista **temporal** son Variables de Decisión que pertenecen propiamente al Nivel Decisional en el que se ubica el CD^M genérico en cuestión.
 - o Nivel Táctico: Variables ligadas a la planificación de la capacidad de las AT/AI.
 - o Nivel Operativo: Variables ligadas a la planificación de la ejecución de las AT/AI.

Las **Variables por Interdependencia**, X_{ik}^M , por el contrario, se tratarían de aquellas Variables de Decisión que aparecen, en su caso³⁹, como consecuencia de las interdependencias con otros Centros de Decisión pertenecientes al Entorno Decisional.

Cabe distinguir dos grandes tipos, dependiendo de si dicha interdependencia se origina respecto a CD^T ó a CD^B , respectivamente:

1. Aquellas Variables de Decisión, que planteadas como **desviaciones positivas o negativas**, permiten cierta flexibilidad a CD^M con respecto a las Variables Globales enviadas a modo de Instrucción desde CD^T .
2. Aquellas Variables de Decisión que se plantean como **anticipaciones** respecto a CD^B ⁴⁰
 - a. Desde el punto de vista espacial (CD^{Be}) se trataría de anticipaciones de Variables de Decisión que **no** pertenecen al Alcance/Frontera de dicho CD^M genérico.
 - b. Desde el punto de vista temporal (CD^{Bt}) se trataría de anticipaciones de Variables de Decisión que pertenecen propiamente a un Nivel Decisional diferente en el que se ubica el CD^M genérico⁴¹.

A continuación se realiza una clasificación de las Variables por Interdependencia (X_{ik}^M) dependiendo de la interacción, en su caso, de CD^M con los CD de su **Entorno**:

- a. Para cada CD^{Tt} (X_{ik}^{MTt})

³⁹ Es importante señalar que, como se verá posteriormente, pueden existir interdependencia entre dos CDs sin existir Variables por Interdependencia, como por ejemplo la simple anticipación de cierto parámetro perteneciente a otro CD perteneciente al Entorno Decisional, como se verá en los próximos apartados.

⁴⁰ De alguna manera podrían considerarse como una anticipación de las Variables Locales de un CD^B .

⁴¹ En el contexto en el que se desarrolla la presente Tesis, se tratarán siempre de anticipaciones que el Nivel Decisional Táctico realizará sobre el Operativo.

- i. Instrucciones enviadas desde CD^{Tt}
 1. X_k^{+TtM} : desviaciones positivas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Tt}
 2. X_k^{-TtM} : desviaciones negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Tt}
 - ii. Anticipaciones a la Reacción de CD^M
 1. $ant_X_k^{Tt}$: Variables Locales de CD^{Tt} que anticipa CD^M
- b. Para cada CD^{Te} : (X_{ik}^{MTe})
- i. Instrucciones enviadas desde CD^{Te}
 1. X_k^{+TeM} : desviaciones positivas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Te}
 2. X_k^{-TeM} : desviaciones negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Te}
 - ii. Anticipaciones a la Reacción de CD^M
 1. $ant_X_k^{Te}$: Variables Locales de CD^{Te} que anticipa CD^M
- c. Para cada CD^{Bt} : (X_{ik}^{MBt})
- i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M
 1. $ant_X_k^{Bt}$: Variables Locales de CD^{Bt} que anticipa CD^M
 - ii. Reacciones desde CD^{Bt}
 1. X_k^{+BtM} : desviaciones positivas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de R) desde CD^{Tt}
 2. X_k^{-BtM} : desviaciones negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de R) desde CD^{Tt}
- d. Para cada CD^{Be} : (X_{ik}^{MBe})
- i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M
 1. $ant_X_k^{Te}$: Variables Locales de CD^{Be} que anticipa CD^M
 - ii. Reacciones desde CD^{Be}
 1. X_k^{+BeM} : desviaciones positivas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de R) desde CD^{Te}

2. X_k^{-BeM} : desviaciones negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de R) desde CD^{Te}

4.5.2.2.4.2 Variables Globales & Variables no Globales

Tal y como se definió en apartados anteriores, las **Variables Globales** se tratarían de aquellas Variables de Decisión / Decisiones⁴² que sirven de conexión entre los distintos CDs que planifican colaborativamente. Se tratarían propiamente de las interacciones decisionales.

Para cualquier CD^M genérico, cabe distinguir dos tipos, dependiendo de si se originan a partir de CD^T ó con respecto a CD^B respectivamente:

1. Aquellas que se reciben mediante Instrucciones provenientes de Centros de Decisión superiores desde el punto de vista temporal y espacial (X_k^{TM}) o que son reenviadas, en su caso, mediante Reacciones a estos últimos (X_k^{MT}).
2. Aquellas que se envían mediante Instrucciones a Centros de Decisión Inferiores desde el punto de vista temporal y espacial (X_k^{MB}) o que se reciben, en su caso, a partir de Reacciones provenientes de estos últimos (X_k^{BM}).

Es importante reseñar que las Variables Globales pueden haber sido, en un estadio anterior, tanto Variables de Decisión Locales (o simplemente Locales) como por Interdependencia.

Así por ejemplo, un CD^M podría “decidir” en el Nivel Decisional Operativo sobre la Variable Local “Cantidad a Comprar” y enviarla, en caso de haber algún tipo de Interdependencia, a modo de Instrucción, a un CD^{Be} , de manera que una Variable de Decisión, en este caso Variable Local se ha transformado posteriormente en una Variable Global.

O por ejemplo, el mismo CD^M podría “decidir” sobre la Variable por Interdependencia “Cantidad (anticipada) a Almacenar”⁴³ y enviarla, a modo de Instrucción, a un CD^{Be} , de manera que una Variable de Decisión, en este caso Variable por Interdependencia se ha transformado posteriormente en una Variable Global.

Por otra parte dichas Variables Globales podrán ser: Finales ó no-Finales .

⁴² Se utilizará el concepto de Variables Locales en vez de Decisiones Locales, aunque realmente el valor de las primeras hayan sido ya tomadas y enviadas a modo de información a otros CDs pertenecientes al Entorno Decisional.

⁴³ Se entiende que decir “anticipada” significa que la planificación de la AT Almacenamiento no pertenece inicialmente al Alcance de CD^M .

1. **Variables Globales Finales:** Se tratarían de Variables de Decisión cuyo valor (Decisión) ya no podría cambiarse por el CD que las “recibe” a modo de Instrucción (o en su caso a modo de Reacción). Como se verá posteriormente, este tipo de Variables Globales no pueden considerarse propiamente Variables de Decisión para el CD que las “recibe”.
2. **Variables Globales No-Finales:** Se tratarían de Variables de Decisión cuyo valor (Decisión) sí que podría cambiarse por el CD que las “recibe” a modo de Instrucción (o en su caso a modo de Reacción). Es decir, se tratarían, como su propio nombre indica, de Decisiones No finales ó Tentativas. Este tipo de Variables Globales sí que se considerarán propiamente como Variables de Decisión para el CD que las “recibe”, pudiendo dar lugar al primer tipo de Variables por Interdependencia definido anteriormente, es decir, posibles desviaciones positivas o negativas sobre dicha Variable Global No-Final.

No obstante, conviene hacer una distinción entre las Variables Globales respecto a CD superiores/inferiores desde el punto de vista temporal (X_k^{TiM} / X_k^{MBt}) y respecto a CD superiores/inferiores desde el punto de vista espacial (X_k^{TeM} / X_k^{MBe}).

En el caso de X_k^{TiM} / X_k^{MBt} :

- Cuando son “Finales” (XF_k^{TiM} / XF_k^{MBt}) se trataría de Decisiones definitivas que, normalmente, se han implementado ya en el Sistema Físico y son de obligado cumplimiento por parte de CD^M ó CD^{Bt} respectivamente.
 - Por ejemplo, la Variable de Decisión Local “Capacidad Normal” asociada a la AT Producción de un CD^{Ti} . Éste se la haría saber a modo de Instrucción a CD^M , tratándose en este caso más bien de una Decisión definitiva que debería ser cumplida/respetada por CD^M .
- Cuando son “No-Finales” ($XNF_k^{TiM} / XNF_k^{MBt}$) se trataría también de Decisiones, aunque en este caso tentativas, ya que en principio, admiten posibilidad de cambio, ya que no se trata de decisiones ya implementadas en el Sistema Físico, sino que normalmente se tratarán de “Decisiones” que servirán de referencia/cota y que requerirán de un mayor detalle para su implementación final en el Sistema Físico.
 - Por ejemplo, la Variable de Decisión (en este caso por Interdependencia) “Cantidad a Producir” asociada a la AT Producción de un CD^{Ti} . Éste se la haría saber a modo de Instrucción a CD^M , tratándose en este caso de una Decisión que potencialmente se podría cambiar y que más bien serviría como “marco” para cuando CD^M tomara decisiones ligadas a la AT Producción más operativas.

En el caso de X_k^{TeM} / X_k^{MBe} :

- Cuando son “Finales” (XF_k^{TeM} / XF_k^{MBe}) se trataría, como en el caso anterior, de Decisiones definitivas, pero en este caso no se trataría de Decisiones ya implementadas en el Sistema Físico, sino de decisiones ligadas normalmente a las AI de Compras y Ventas, en este caso de obligado cumplimiento.
 - Por ejemplo, la Variable de Decisión Local “Cantidad a Comprar”, que es aquella con las que el CD^{Te} podría “conectar” con CD^M desde el punto de Vista Espacial⁴⁴. Se entendería más bien como una Decisión Global que ha de cumplirse obligatoriamente por CD^M , o lo que es lo mismo la Variable Local de CD^M que conecta con CD^{Te} , es decir, la “Cantidad a Vender”, debería ser “igual” a la de Compras. En un contexto de Colaboración se entiende que los CD^{Te} habrán anticipado lo suficiente a CD^M , lo cual influirá enormemente en la factibilidad, consistencia y optimalidad del proceso de Decisión conjunto.
- Cuando son “No-Finales” ($XNF_k^{TeM} / XNF_k^{MBe}$) se trataría también de Decisiones, aunque, como en el caso Temporal, de carácter tentativo, ya que en principio, admiten posibilidad de cambio.
 - Por ejemplo, y ligado al ejemplo anterior, la Variable de Decisión Local de CD^M “Cantidad a Vender” no tendría por qué ser “igual” a la Variable Global “Cantidad a Comprar” enviada por CD^{Te} .

En cuanto a las **Variables no Globales** se tratarían simplemente de aquellas Variables de Decisión de CD^M que no se han convertido en Variables Globales.

En la Figura 4-8 se puede observar un CD^M genérico en el que se considera inicialmente el conjunto de Variables de Decisión (X_k^M) que formarán parte de su Modelo de Decisión Z_k^M , distinguiendo tanto las Variables de Decisión Locales (X_{lk}^M) como las debidas a Interdependencias (X_{ik}^M).

A su vez se han considerado cuatro posibles Centros de Decisión pertenecientes a su Entorno Decisional, dos de ellos superiores, desde el punto de vista temporal (CD^{Tt}) y espacial (CD^{Te}) y dos de ellos inferiores, también desde el punto de vista temporal (CD^{Bt}) y espacial (CD^{Be}).

Se puede observar como CD^M “recibe” Variables Globales de los Centros de Decisión superiores (X_k^{TtM} / X_k^{TeM}) y como “envía” Variables Globales a Centros de Decisión inferiores (X_k^{MBt} / X_k^{MBe}).

⁴⁴ En este caso, normalmente, no se tratará de Decisiones que requieran de menor/mayor detalle para su implementación, aunque en el caso más general si que podría haberlo.

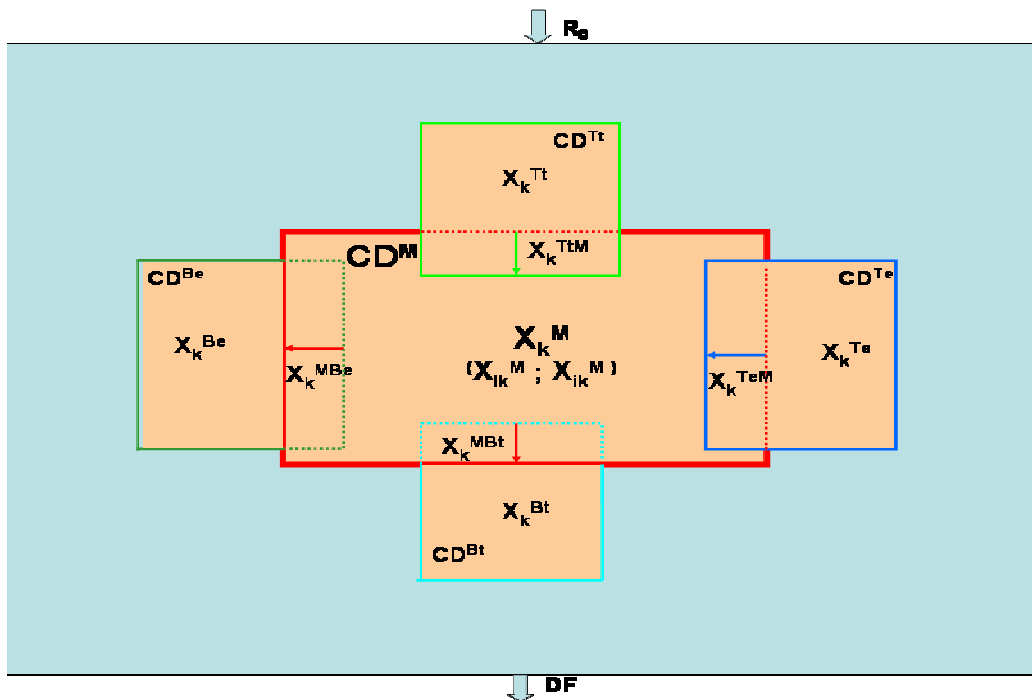


Figura 4-8. Variables de Decisión (Locales y por Interdependencia) No Globales & Globales de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.5.2.3 Modelo Decisional

Sea Z_k^M el Modelo Decisional de un CD^M genérico. Entre el glosario de términos definidos anteriormente, existen dos componentes que caracterizan dicho Modelo Decisional: un **Criterio** (C_k^M) y un **Campo de Decisión** (A_k^M). Se puede representar de la siguiente forma $Z_k^M = Z_k^M(C_k^M, A_k^M)$.

Tanto el Criterio como el Campo de Decisión se definen en función de las **Variables de Decisión** (X_k^M) anteriormente analizadas. Resolver el Modelo Decisional Z_k^M , o dicho de otro modo, ejecutar la Actividad Decisional correspondiente (AD_k) significará encontrar unos valores concretos para cada una de las Variables de Decisión (Plan Operacional), de manera que se encuentre un resultado aceptable⁴⁵ en el Criterio (C_k^M) que satisfaga cada una de las restricciones del Campo de Decisión (A_k^M).

Un CD^M genérico constaría en el caso más general de un Modelo Decisional Z_k^M con la siguiente **Estructura**, en la que habrá que tener en cuenta también las posibles interdependencias con CDs pertenecientes a su Entorno Decisional.

⁴⁵ Igual o mayor que un Nivel de Aspiración concreto.

4.5.2.3.1 Criterio: componentes en “contextos colaborativos”

Se define un **Criterio** (C_k^M) que estaría formado, en el caso más general por los siguientes componentes:

1. Local (C_{ik}^M ó C_k^{MM})
2. Interdependencia (C_{ik}^M)
 - a. CD superiores (C_k^{MT})
 - i. Temporalmente (C_k^{MTt})
 - ii. Espacialmente (C_k^{MTe})
 - b. CD inferiores (C_k^{MB})
 - i. Temporalmente (C_k^{MBt})
 - ii. Espacialmente (C_k^{MBe})

4.5.2.3.2 Campo de Decisión: componentes en “contextos colaborativos”

Se define también un **Campo de Decisión** (A_k^M) que estaría formado, en el caso más general por los siguientes componentes:

1. Local (A_{ik}^M ó A_k^{MM})
2. Interdependencia (A_{ik}^M)
 - a. CD superiores (A_k^{MT})
 - i. Temporalmente (A_k^{MTt})
 - ii. Espacialmente (A_k^{MTe})
 - b. CD inferiores (A_k^{MB})
 - i. Temporalmente (A_k^{MBt})
 - ii. Espacialmente (A_k^{MBe})

Por tanto el Modelo Decisional de un CD^M genérico vendría dado por la definición de Z_k^M :

$$Z_k^M (C_k^M, A_k^M) =$$

$$Z_k^M (C_b^M, C_i^M, A_b^M, A_i^M) =$$

$$Z_k^M (C_k^{MM}, C_k^{MT}, C_k^{MB}, A_k^{MM}, A_k^{MT}, A_k^{MB}) =$$

$$Z_k^M (C_k^{MM}, C_k^{MTt}, C_k^{MTe}, C_k^{MBt}, C_k^{MBe}, A_k^{MM}, A_k^{MTt}, A_k^{MTe}, A_k^{MBt}, A_k^{MBe})$$

Se puede observar que los dos componentes básicos del Modelo de Decisión Z_k^M de CD^M , es decir, el Criterio (C_k^M) y el Campo de Decisión (A_k^M), tendrían una parte “Local” y otra parte por “Interdependencias”, ya que ambos componentes del Modelo Decisional se podrían ver afectados en el instante de resolución de dicho Modelo como consecuencia de las distintas Relaciones de Interdependencia con los CDs pertenecientes a su Entorno Decisional (Figura 4-9).

Además, CD^M , en el caso de que el parámetro “Número de Ciclos” tome el atributo “Varios Ciclos Instrucción-Reacción”, deberá ejecutar en más de una ocasión su Actividad Decisional, o lo que es lo mismo, resolver en más de una ocasión su Modelo de Decisión Z_k^M , pudiendo éste ser distinto en cada ciclo k. De manera general, el Modelo de Decisión Z_k^M de un CD^M genérico dependerá del ciclo k, pudiendo variar algunos de sus componentes (Campo de Decisión A_k^M y/o Criterio C_k^M), como consecuencia de las Instrucciones (o en su caso Reacciones) recibidas.

Dependiendo del tipo de Relaciones de Interdependencia con los CDs pertenecientes a su Entorno Decisional, o lo que es lo mismo, del grado de Planificación Colaborativa actual de dicho CD^M , su Modelo de Decisión Z_k^M se verá más o menos afectado, tanto su Campo de Decisión A_k^M como su Criterio A_k^M .

Por ejemplo, la anticipación de un Centro de Decisión inferior CD^{MB} podría llevar a incluir simplemente alguna restricción en el Campo de Decisión de CD^M (A_k^{MB}) o además incluir algún término en su Criterio (C_k^{MB}). Por tanto dependiendo del tipo de Relación de Interdependencia, se modificará uno de los dos componentes o ambos.

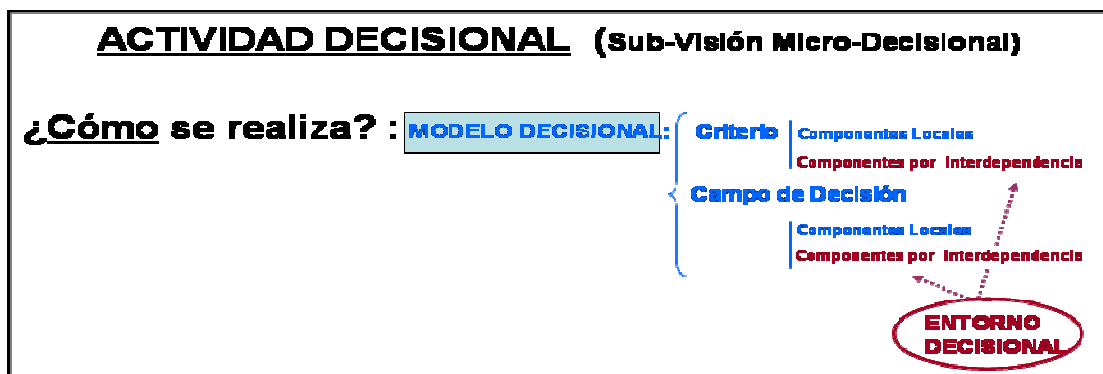


Figura 4-9. Sub-Visión Micro-Decisional: Modelo Decisional (elaboración propia)

4.5.2.3.3 Criterio: tipos de objetivos en Planificación

Como se ha comentado anteriormente, las Decisiones tomadas por un CD^M cada vez que ejecuta su Actividad Decisional (AD_k) o bien resuelve su Modelo Decisional Z_k^M , inciden sobre cada una de las Actividades de Transformación (AT) y de Interconexión (AI) pertenecientes a su Alcance y Frontera, respectivamente

También se ha visto que la manera de plantear esas “futuras decisiones” que conformarán el Plan Operacional definitivo (o propuesto⁴⁶) es por medio de unas Variables de Decisión X_k^M .

Como se ha dicho anteriormente, resolver el Modelo Decisional Z_k^M significará encontrar unos valores concretos para cada una de dichas Variables de Decisión X_k^M , de manera que se encuentre un resultado aceptable en el Criterio C_k^M que satisfaga cada una de las restricciones del Campo de Decisión A_k^M .

Se citan a continuación, al igual que se hizo con las Variables de Decisión, los distintos “conceptos/objetivos” específicos en contextos de Planificación de Operaciones y que potencialmente podrían considerarse (sólo como **guía orientativa**) al plantear el Criterio, distinguiendo entre aquellos que inciden sobre las AT y aquellos que lo hacen sobre las AI.

En primer lugar se enumeran los conceptos/objetivos⁴⁷ asociados a cada una de las **Actividades de Transformación (AT)**: Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte.

1. Producción-Operaciones

- a. Costes de Producción
- b. Costes Fijos / Preparación
- c. Costes Fijos / Activación-Desactivación de Máquinas
- d. Costes Fijos / Aumento-Disminución de Turnos
- e. Costes de Capacidad Extra
- f. Costes de Ociosidad
- g. Costes de Capacidad Normal

⁴⁶ En contextos en los que el parámetro “Número de Ciclos” toma los atributos “Un ciclo Instrucción-Reacción” o “Varios Ciclos Instrucción-Reacción”.

⁴⁷ Únicamente se van a contemplar en el Criterio conceptos/objetivos de **tipo monetario**, aunque en el caso más general, también podrían existir otros de diferente índole (tiempos de entrega, calidad, etc.).

2. Almacenamiento

- a. Costes de Almacenamiento-Inventario
- b. Costes por estar por debajo respecto del Stock de Seguridad objetivo
- c. Costes de Capacidad de Almacenamiento.

3. Transporte

- a. Costes de Transporte
- b. Costes Fijos de Transporte
- c. Costes de Capacidad de Transporte

En segundo lugar se enumeran los conceptos/objetivos asociados a cada una de las **Actividades de Interconexión (AI):** Compras y Ventas

4. Compras

- a. Costes de Compra/Subcontratación

5. Ventas

- a. Ingresos por Ventas
- b. Coste de diferir
- c. Coste de rechazar

4.5.2.3.4 Campo de Decisión: tipos de restricciones en Planificación

Como se ha comentado anteriormente, resolver el Modelo Decisional Z_k^M de un CD^M significará encontrar unos valores concretos para cada una de las Variables de Decisión X_k^M , de manera que se encuentre un resultado aceptable en el Criterio C_k^M que satisfaga cada una de las restricciones del Campo de Decisión A_k^M .

Se citan a continuación (también como **guía orientativa**) tres grandes grupos de Limitaciones/Restricciones, propias de contextos de Planificación de Operaciones, a su vez compuestos de restricciones “tipo”, que serían potencialmente aplicables dependiendo de qué AT y AI se consideran en el Alcance/Frontera de un CD^M .

1. Limitaciones de Materiales

- a. **Control del Flujo de “Ítems en general”:** deberá establecerse ecuaciones de Balance de manera que se asegure la conservación del Flujo de “Ítems en general”. Tiene sentido para las siguientes AT/AI:

- i. Almacenamiento: existirá siempre que se haya identificado dicha AT ⁴⁸.
 - ii. Compras: existirá en caso que se anticipe (o no) la posibilidad de que el vendedor difiera ciertas Compras al comprador.
 - iii. Ventas: existirá en caso que se permita diferir Demanda.
 - b. **Consumo de “Ítems en general” en base a la Lista de Materiales:** relaciona Materias Primas, Productos Intermedios y Productos Finales en base a la Lista de Materiales.
 - c. **Evitar Flujos de “Ítems en general” redundantes:** sólo en caso que se desee garantizar que el inventario de “ítems en general” se almacene donde sea producido, para evitar flujos redundantes entre las AT Almacenamiento de Nodos distintos conectados físicamente y pertenecientes al Alcance de un mismo Centro de Decisión.
2. Limitaciones de Recursos
- a. **Capacidad de Recursos:** el consumo no debe superar la disponibilidad/capacidad⁴⁹. En la AT de Producción-Operaciones se tendrán en cuenta tanto tiempos variables como fijos derivados de Cambios de Partida.
 - b. **Control del “Flujo” de Capacidad:** deberá establecerse una ecuación de Balance de manera que se asegure la conservación de la Capacidad instalada. A nivel de Planificación Táctica-Operativa tiene sentido en principio únicamente para la AT Producción-Operaciones aunque también se podría plantear para las AT Transporte y Almacenamiento.
 - c. **Gestión de los Cambios de Partida:** en este grupo se incluye la necesaria preparación de recursos (tiempo consumido improductivo) siempre que se lance a producir un ítem independientemente de la cantidad producida. También se incluyen en este grupo otros más específicos, como por ejemplo que si en dos períodos consecutivos se fabrica el mismo ítem, se puede ahorrar un “cambio” al secuenciarse a continuación. Tiene sentido, en principio, sólo para la AT Producción-Operaciones.
 - d. **Calidad / Rendimiento:** normalmente se relaciona cantidad de producción-operación y tiempo empleado a partir de ciertos ratios de efectividad. Tiene sentido, en principio, sólo para la AT Producción-Operaciones.

⁴⁸ Correspondería a la típica restricción de “Balance de Inventarios”, aplicable tanto para Materia Prima, como para Producto Intermedio y Producto Final.

⁴⁹ Se incluye la posible capacidad sobrante (ociosa) y la posible capacidad extra.

3. Políticas

- a. **Se refieren a reglas o estándares preestablecidos** que de manera “local” o “global” se deben cumplir de manera mínima o máxima de acuerdo a lo que se considera un adecuado funcionamiento. Tiene sentido, en principio, para cualquier AT/AI:
- i. Producción-Operaciones: se podría limitar la fluctuación en la fuerza de trabajo de un periodo a otro en un cierto porcentaje para “crear un buen clima de trabajo”, o determinar un Tamaño de Lote/ Lote Mínimo para que las cantidades de “Ítems en general” planificadas en cada Período de Planificación sean superiores a un límite inferior, etc.
 - ii. Almacenamiento: stocks de seguridad, etc.
 - iii. Transporte: utilizar la flota de transporte en un porcentaje superior al 80%, etc.
 - iv. Compras: establecer una restricción que obligue a no comprar más de cierto porcentaje de un ítem a cierto proveedor, que las compras sean unifuentes, etc.
 - v. Ventas: establecer un nivel de servicio al cliente aceptable a través de la definición de una restricción que estableciese que éste debe ser superior a cierto porcentaje, etc.

4.6 Visión Informacional

La **Visión Informacional** tendrá como objetivo proporcionar de manera estructurada toda la información necesaria para unir la Visión Física y Organizacional con la Visión Decisional del Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D.

Esta unión se convierte en un aspecto clave pues el tipo de Proceso que se pretende modelar, es un proceso formado (mayoritariamente) por Actividades Decisionales cuyas Decisiones, en forma de Planes Operacionales, actuarán sobre unos Recursos / Ítems (Visión Física) con una estructura Organizacional concreta (Visión Organizacional).

Por otra parte, en la Visión Informacional, se podría diferenciar entre:

- aquella Información que es necesaria para poder generar la Sub-Visión Macro-Decisional, y por tanto, debido a la inter-relación entre las diferentes Visiones, también para generar la Visión Física y la Visión Organizacional. Toda esta información servirá como soporte para el Modelado del Proceso.
- aquella información que es necesaria para poder generar la Sub-Visión Micro-Decisional, la cuál servirá como soporte para el desarrollo de Modelos Analíticos de ayuda a la Toma de Decisiones.

Además, hay que reseñar que parte de la Información utilizada para generar la Sub-Visión Macro-Decisional se utilizará en la Sub-Visión Micro-Decisional.

En definitiva, una vez analizado en la Sub-Visión Macro-Decisional “quién”, “cuándo”, “qué” se realiza en una Actividad Decisional genérica, y posteriormente en la Sub-Visión Micro-Decisional “qué decisiones específicas de planificación se toman” y “cómo” (Modelo Decisional), en la Visión Informacional se procede a analizar qué información da soporte a dicho Modelo Decisional y por tanto permite obtener las decisiones específicas mencionadas.

Más concretamente, la **Visión Informacional** define, formaliza, estructura y presenta la información necesaria⁵⁰ que por una parte da soporte (Información de Entrada) a las distintas Actividades Decisionales, asociadas a los CDs, y por otra parte se origina (Información de Salida / Decisiones / Planes Operacionales) como consecuencia de la ejecución de dichas Actividades (Figura 4-10).

La **Visión Informacional** debe proporcionar las estructuras de datos que sirvan de soporte a dicho proceso. La identificación de estas estructuras y su Nivel de Agregación/Grado de Detalle, quedará condicionada a la descripción, del proceso en cuestión, que aporten el resto de Visiones.



Figura 4-10. Actividad Decisional: Visión Informacional (elaboración propia)

Tal y como se definió en apartados anteriores, la Actividad Decisional ejecutada en cierto ciclo k por cada CD^M genérico se puede caracterizar por el parámetro denominado “**Información**” (I_k^M), el cual incluye (Figura 4-11):

- La **Información de Entrada** (Ie_k^M) con la que actualmente se ejecuta la Actividad Decisional AD_k , o dicho de otra forma, con la cual se da soporte o se resuelve el Modelo de Decisión Z_k de CD^M .
- La **Información de Salida** (Is_k^M) que se genera a partir de la ejecución de la Actividad Decisional AD_k , o dicho de otra forma, que se genera a partir de la resolución del Modelo de Decisión Z_k de CD^M .

Es importante reseñar que las distintas Actividades Decisionales que componen el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D se han identificado previamente en la Sub-Visión Macro-Decisional. Dichas Actividades Decisionales se ejecutan por unos CDs que están sujetos a determinadas Relaciones de Interdependencia con el resto de CDs pertenecientes a sus Entornos Decisionales .

Así pues, de manera análoga respecto a como se hizo anteriormente con las Variables de Decisión, Criterio y Campo de Decisión en la Sub-Visión Micro-Decisional, en la Visión Informacional también será necesario establecer la distinción entre la **Información Local** utilizada “internamente” por la propia Actividad Decisional y la **Información por Interdependencias** (ya analizada a “nivel macro” en la Sub-Visión Macro-Decisional).

Así pues, el parámetro I_k^M que posee un CD^M genérico para ejecutar su Actividad Decisional asociada (AD_k) en el ciclo k , estaría definido por las siguientes expresiones, de menor a mayor detalle.

$I_k^M (Ie_k^M, Is_k^M)$, siendo:

$$Ie_k^M (Ie_{lk}^M, Ie_{ik}^M) = (Ie_{lk}^M, Ie_k^{TM}, Ie_k^{BM}) = (Ie_{lk}^M, Ie_k^{TtM}, Ie_k^{TeM}, Ie_k^{BtM}, Ie_k^{BeM})$$

$$Is_k^M (Is_{lk}^M, Is_{ik}^M) = (Is_{lk}^M, Is_k^{MT}, Is_k^{MB}) = (Is_{lk}^M, Is_k^{MTt}, Is_k^{MTe}, Is_k^{MBt}, Is_k^{MBe})$$

⁵⁰ Información que, como se verá posteriormente, se representará mediante un conjunto de **Parámetros**.

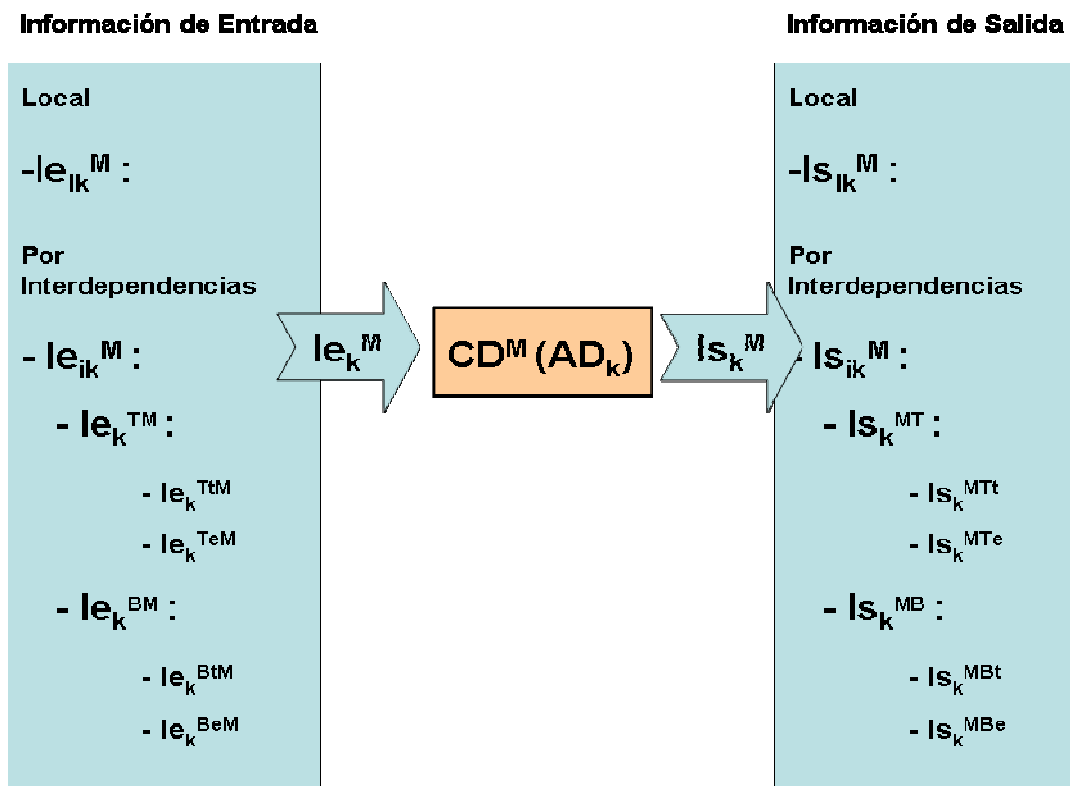


Figura 4-11. I_k^M de un CD^M para la Actividad Decisional ejecutada en el ciclo k (AD_k) (elaboración propia)

A continuación se describen en detalle cada una de ellas:

4.6.1 Información de Entrada de una Actividad Decisional

En el instante de resolución t_1 (Período de Replanificación) en el que se ejecuta la Actividad Decisional en el ciclo k , ó dicho de otra forma, se resuelve el Modelo Decisional Z_k^M de un CD^M genérico, éste debe tener en cuenta toda la Información de Entrada descrita anteriormente, tanto la *Local* (Ie_{ik}^M) como la debida a *Interdependencias* (Ie_{ik}^M), como consecuencia de los distintas Relaciones de Interdependencia con los CDs pertenecientes a su Entorno Decisional.

A continuación se describen en detalle tanto la Información de Entrada Local como la Información de Entrada por Interdependencias.

4.6.1.1 Información de Entrada Local: Interna & Externa

A continuación se detalla la *Información de Entrada Local*, la cual puede ser de dos tipos, **Interna** o **Externa** (Figura 4-12):

- La **Interna** correspondería a toda la información que proviene de las interacciones con el sistema físico perteneciente al Alcance de dicho CD^M .
- La **Externa** correspondería a toda la información que proviene de las interacciones con el exterior, exceptuando toda aquella que provenga de CD s pertenecientes a su Entorno Decisional (Información de Entrada por Interdependencias). Normalmente se tratará de Demanda Independiente proveniente de Puntos de venta y de Centros de Decisión no pertenecientes a su Entorno Decisional.

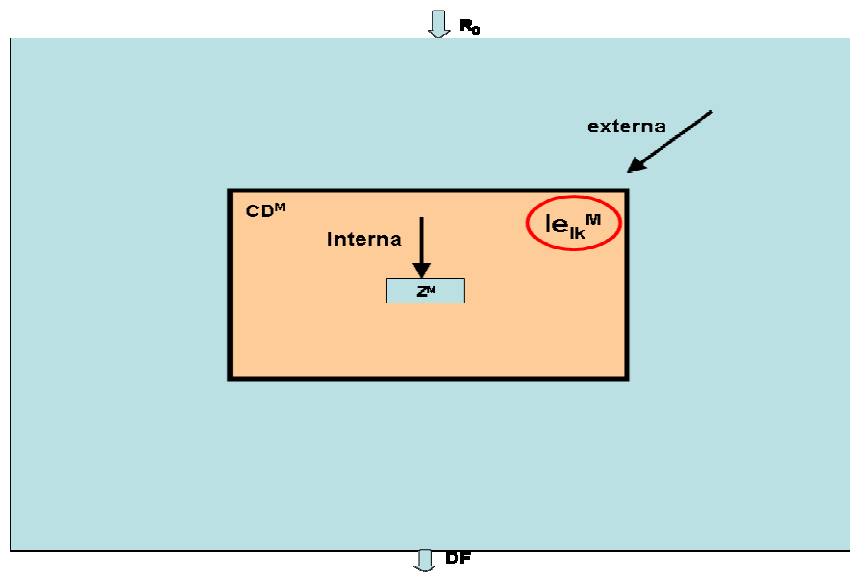


Figura 4-12. Información de Entrada Local de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.6.1.2 Información de Entrada por Interdependencias

A continuación se detalla la *Información de Entrada por Interdependencias* (Figura 4-13) la cuál se ha clasificado dependiendo de qué Centro de Decisión perteneciente al Entorno Decisional de un CD^M genérico la ha originado.

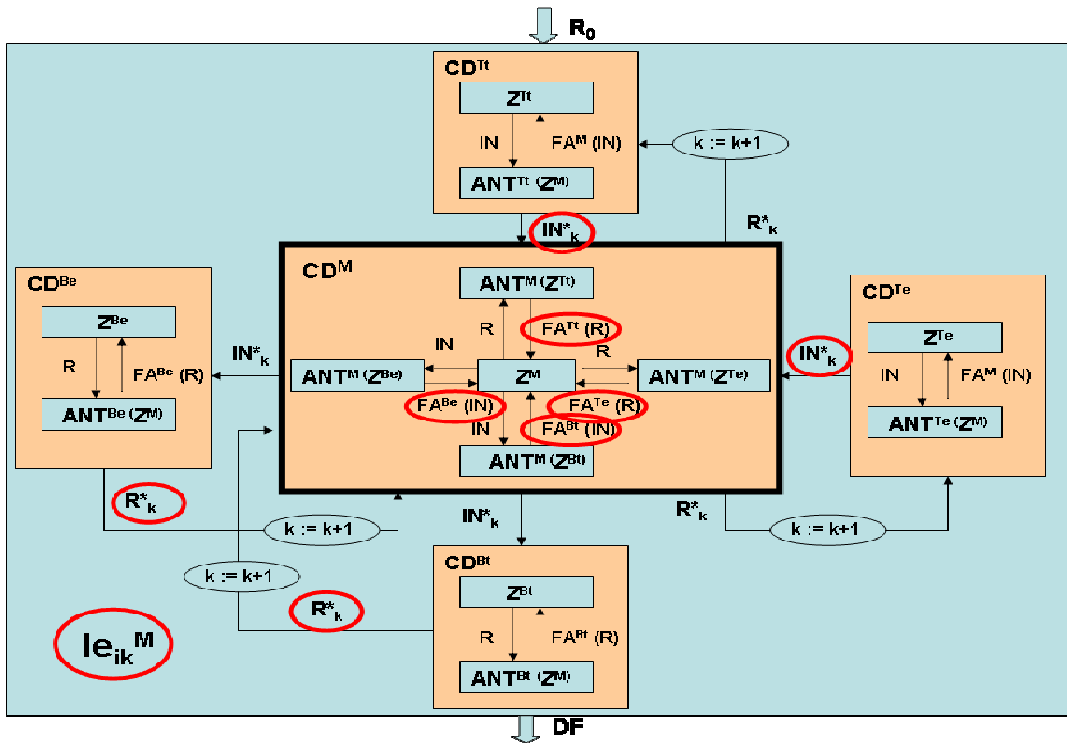


Figura 4-13. Información de Entrada por Interdependencias de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.6.1.2.1 Centros de Decisión superiores temporalmente

Los Centros de Decisión situados superiormente desde el punto de vista temporal (CD^{Tt}) respecto de CD^M resolverán en instantes de tiempo $t \leq t_1$ sus respectivos Modelos de Decisión $Z_k^{Tt} = Z_k^{Tt}(C_k^{Tt}, A_k^{Tt})$.

El valor que tomen las Variables de Decisión $X_k^{Tt} \in A_k^{Tt}$ hacen referencia a las decisiones de CD^{Tt}. Además, algunas de las anteriores decisiones pueden ser Variables Globales respecto de CD^M (X_k^{TtM}), tanto finales (XF_k^{TtM}) como no finales (XNF_k^{TtM}). Además es importante señalar que en el caso más general X_k^{TtM} puede coincidir exactamente con X_k^{Tt} , ser parte de la misma, o una función de la decisión tomada por el CD^{Tt}.

Las Variables Globales anteriores X_k^{TtM} , conjuntamente con la Información Global que CD^{Tt} decide hacer saber a CD^M⁵¹, esto es I_k^{TtM} , son enviadas a modo de Instrucción $IN_k = IN_k(X_k^{TtM}, I_k^{TtM})$.

⁵¹ Como ya se apuntó, en una Instrucción siempre existen Variables/Decisiones Globales (Plan de Demanda/Disponibilidad), pero no siempre existirá Información Global, la cual se definió como toda

En definitiva, la $I_{e_k}^{TtM}$ (Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs superiores temporalmente) podría componerse de:

- Una Instrucción $IN_k=IN_k(X_k^{TtM}, I_k^{TtM})$ por parte de CD^{Tt} .
- Una Función de Anticipación FA_k^{MTt} definida por el CD^M para anticipar el comportamiento de los CD^{Tt} ante sus posibles Reacciones $R_k=R_k(X_k^{MTt}, I_k^{MTt})$.

En este punto cabría puntualizar que sólo cuando el Período de Replanificación de ambos CDs coincida ($t = t1$), CD^M deberá resolver su modelo después de que CD^{Tt} lo haya hecho, considerando así la $IN_k=IN_k(X_k^{TtM}, I_k^{TtM})$ tomada en $t = t1$. Sin embargo, como el CD^M replanificará igual o con más frecuencia que el CD^{Tt} , por encontrarse situado inferiormente desde el punto de vista temporal (Periodo de Replanificación menor) cuando t sea menor que $t1$ ($t < t1$), entonces el CD^M no deberá esperar a que el CD^{Tt} resuelva su modelo pues se verá influenciado por $IN_k=IN_k(X_k^{TtM}, I_k^{TtM})$ tomada en $t < t1$.

4.6.1.2.2 Centros de Decisión superiores espacialmente

Los Centros de Decisión situados superiormente desde el punto de vista espacial (CD^{Te}) respecto de CD^M resolverán en instantes de tiempo $t = t1$ ⁵² sus respectivos Modelos de Decisión $Z_k^{Te}=Z_k^{Te}(C_k^{Te}, A_k^{Te})$.

El valor que tomen las Variables de Decisión $X_k^{Te} \in A_k^{Te}$ hacen referencia a las decisiones de CD^{Te} . Además, algunas de las anteriores decisiones pueden ser Variables Globales respecto de CD^M (X_k^{TeM}), tanto finales (XF_k^{TeM}) como no finales (XNF_k^{TeM}). Además es importante señalar que en el caso más general X_k^{TeM} puede coincidir exactamente con X_k^{Te} , ser parte de la misma, o una función de la decisión tomada por el CD^{Te} .

Las Variables Globales anteriores X_k^{TeM} , conjuntamente con la Información Global que CD^{Te} decide hacer saber a CD^M , esto es I_k^{TeM} , son enviadas a modo de instrucción $IN_k=IN_k(X_k^{TeM}, I_k^{TeM})$.

En definitiva, la $I_{e_k}^{TeM}$ (Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs superiores espacialmente) podría componerse de:

- Una Instrucción $IN_k=IN_k(X_k^{TeM}, I_k^{TeM})$ por parte de CD^{Te} .

aquella información complementaria (mecanismo de coordinación) que “facilite” el proceso de decisión conjunto.

⁵² En la Sub-Visión Macro-Decisional se partió de la premisa que dos Centros de Decisión situados en el mismo Nivel Temporal (Decisional) presentan el mismo Periodo de Replanificación.

- Una Función de Anticipación FA_k^{MTe} definida por el CD^M para anticipar el comportamiento de los CD^{Te} ante sus posibles Reacciones $R_k = R_k(X_k^{MTe}, I_k^{MTe})$

4.6.1.2.3 Centros de Decisión inferiores temporalmente

Los Centros de Decisión situados inferiormente desde el punto de vista temporal respecto de CD^M (CD^{Bt}) resolverán en instantes de tiempo $t \geq t_1$ sus respectivos Modelos de Decisión $Z_k^{Bt} = Z_k^{Bt}(C_k^{Bt}, A_k^{Bt})$ una vez el Modelo de Decisión del CD^M haya sido resuelto.

No obstante, en la resolución de su Modelo Decisional, el CD^M se puede ver influenciado por los CD^{Bt} de dos maneras (relaciones de abajo-arriba), generando Ie_k^{MBt} (Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores temporalmente).

- A través de la Función de Anticipación FA_k^{MBt} definida por el CD^M para anticipar el comportamiento de los CD^{Bt} ante sus Instrucciones $IN_k = IN_k(X_k^{MBt}, I_k^{MBt})$
- A través de la Reacción $R_k = R_k(X_k^{BtM}, I_k^{BtM})$ de los niveles inferiores desde el punto de vista temporal en una determinada iteración k del ciclo Instrucción – Reacción.

4.6.1.2.4 Centros de Decisión inferiores espacialmente

Los Centros de Decisión situados inferiormente desde el punto de vista espacial respecto de CD^M (CD^{Be}) resolverán en instantes de tiempo $t = t_1$ sus respectivos modelos de decisión $Z_k^{Be} = Z_k^{Be}(C_k^{Be}, A_k^{Be})$ una vez el Modelo de Decisión del CD^M haya sido resuelto en $t = t_1$.

No obstante, en la resolución de su Modelo Decisional, el CD^M se puede ver influenciado por los CD^{Be} de dos maneras (relaciones de abajo-arriba), generando Ie_k^{MBe} (Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CD inferiores temporalmente).

- A través de la Función de Anticipación FA_k^{MBe} definida por el CD^M para anticipar el comportamiento de los CD^{Be} ante sus Instrucciones $IN_k = IN_k(X_k^{MBe}, I_k^{MBe})$
- A través de la Reacción $R_k = R_k(X_k^{BeM}, I_k^{BeM})$ de los niveles inferiores desde el punto de vista temporal en una determinada iteración k del ciclo Instrucción – Reacción.

Por tanto, en el instante t_1 en el que CD^M resuelve su Modelo Decisional $Z_k^M(C_k^M, A_k^M)$ se tendrá status correspondiente a la Información de Entrada, tanto la Local como la debida a Interdependencias.

Dicha Información de Entrada afectará a (Figura 4-14):

1. La **Estructura** del Modelo Decisional (Z_k^M), afectando:
 - a. Sólo al Criterio (C_k^M)

- b. Sólo al Campo Decisional (A_k^M)
 - c. Tanto al Criterio como al Campo Decisional (C_k^M y A_k^M)^{53 54}
2. La **Precisión** con la que se resuelva el Modelo Decisional Z_k^M (C_k^M , A_k^M), ya que ésta podrá saberse exactamente o sólo de manera aproximada. Ello dependerá fundamentalmente del grado de asimetría con CDs inferiores, en la que se pueden contemplar dos tipos básicos, aquella que está relacionada con la privacidad de Información entre CD en un mismo Nivel Organizacional, denominada también **Asimetría Fuerte** y aquella que está relacionada con el desconocimiento (o conocimiento sólo aproximado) de cierta información de otro CD como consecuencia de que este último toma decisiones en instantes de tiempo posteriores, denominada también **Asimetría Débil**.

El grado de Planificación Colaborativa⁵⁵ de un CD^M respecto de los CDs pertenecientes a su Entorno Decisional (en base a los parámetros/atributos que se definieron en la Sub-Visión Macro-Decisional), condicionará claramente la Información de Entrada que éste utilice para resolver su Modelo de Decisión Z_k^M .

⁵³ Por ejemplo si CD^M tiene una Anticipación de tipo Reactiva con relación a un CD^{Be} , su Información de Entrada, en este caso Ie_k^{BeM} , podría afectar a C_k^M y A_k^M , en cambio si tuviera una Anticipación de tipo No-Reactiva su información de entrada sólo afectaría a A_k^M .

⁵⁴ Por ejemplo si la Información de Entrada de CD^M es debida a una Instrucción enviada desde un CD^{Tt} , es decir, Ie_k^{TtM} , ésta podría afectar sólo a A_k^M (con restricciones más o menos “duras”) o también a C_k^M (minimizando posibles desviaciones con respecto a las Variables Globales incluidas en dicha IN).

⁵⁵ Es importante reseñar la importancia de la cantidad/precisión de la información que CD^M “permite” conocer a CD^T para recibir IN que favorezcan al “conjunto” y por otra parte la cantidad/precisión de la información que CD^B “permite” conocer a CD^M para que las IN enviadas por este último también favorezca al “conjunto”. No hay que olvidar que el Parámetro “Función Anticipación” dependerá de este aspecto. En este sentido se pronuncian Schneeweiss y Zimmer (2004).

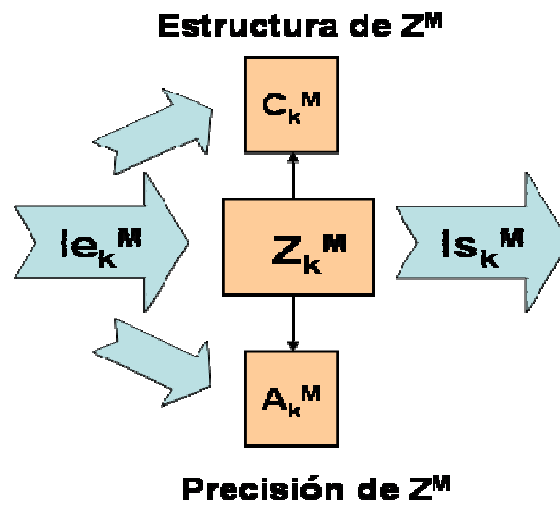


Figura 4-14. Información de Entrada y su relación con la Estructura y la Precisión del Modelo Decisional Z_k^M de un CD^M genérico (elaboración propia)

Una vez que CD^M ha resuelto su Modelo Decisional Z_k^M en el instante t_1 (Período de Replanificación), a partir de toda la Información de Entrada (tanto la *Local* como la debida a *Interdependencias*), éste generará una Información de Salida que, en su caso, afectará en mayor o menor medida a algunos CDs pertenecientes a su Entorno Decisional.

4.6.2 Información de Salida de una Actividad Decisional

Tal y como se ha comentado anteriormente, en el instante de resolución t_1 (Período de Replanificación), un CD^M genérico, a partir de toda la Información de Entrada descrita anteriormente, tanto la *Local* (Ie_{ik}^M) como la debida a *Interdependencias* (Ie_{ik}^M), resolverá su Modelo Decisional Z_k^M , obteniendo una Información de Salida, que al igual que en la de Entrada, cabe distinguir entre *Información de Salida Local* (Is_{ik}^M) y debida a *Interdependencias* (Is_{ik}^M),

A continuación se describen en detalle tanto la Información de Salida Local como la Información de Salida por Interdependencias.

4.6.2.1 Información de Salida Local

Se trata de toda aquella información que un CD^M genérico **no** hace saber a modo de Instrucción (mediante el envío de Variables/Decisiones Globales, y en su caso, Información Global) a ningún CD perteneciente al Entorno Decisional (Figura 4-15).

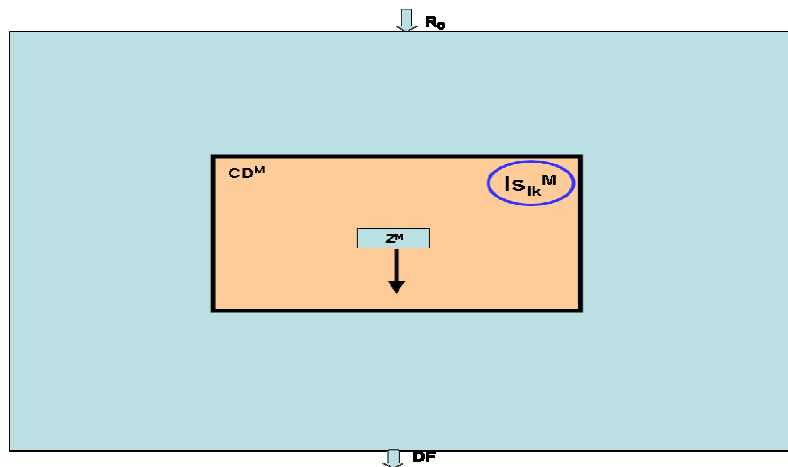


Figura 4-15. Información de Salida Local de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.6.2.2 Información de Salida por Interdependencias

A continuación se detalla la *Información de Salida por Interdependencias* (Figura 4-16) la cuál se ha clasificado de manera análoga a la de Entrada, dependiendo de qué Centro de Decisión perteneciente al Entorno Decisional de un CD^M genérico es el receptor de la misma.

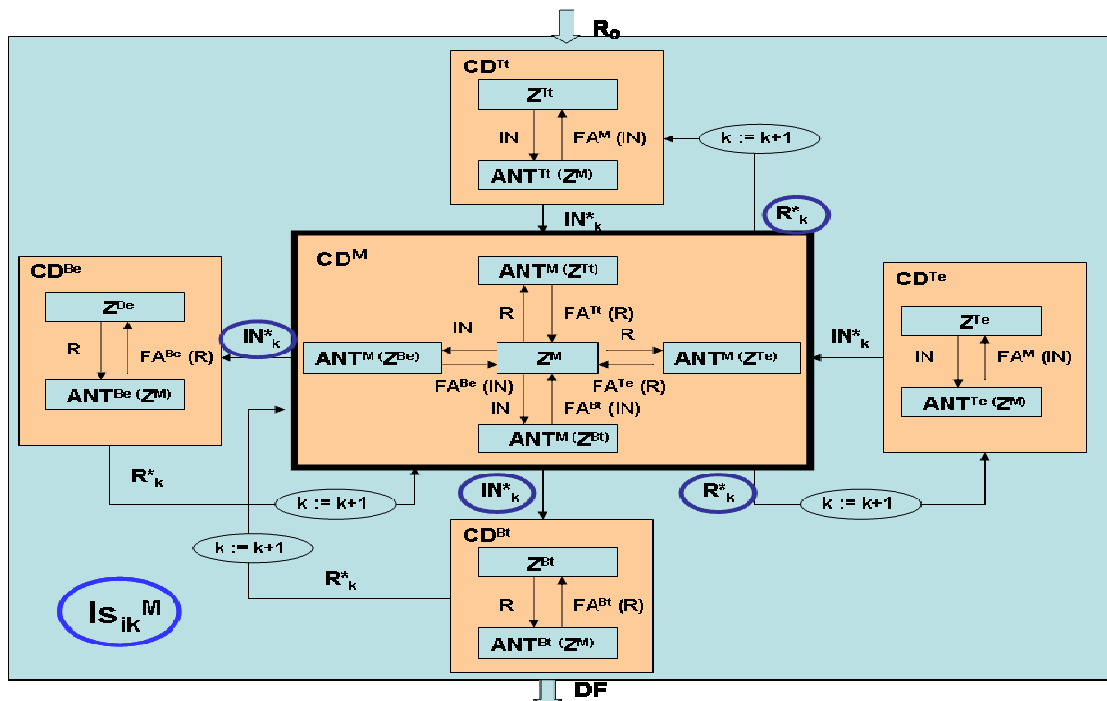


Figura 4-16. Información de Salida por Interdependencias de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.6.2.2.1 Centros de Decisión superiores temporalmente

CD^M resolverá en t_1 su Modelo Decisional Z_k^M a partir de toda la Información de Entrada y generará IS_k^{MTt} (Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs superiores temporalmente (CD^{Tt})) que en este caso se compondría de:

- Una posible Reacción $R_k = R_k(X_k^{MTt}, I_k^{MTt})$ por parte de CD^M .

4.6.2.2.2 Centros de Decisión superiores espacialmente

CD^M resolverá en t_1 su Modelo Decisional Z_k^M a partir de toda la Información de Entrada y generará IS_k^{MTe} (Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs superiores espacialmente (CD^{Te})) que en este caso se compondría de:

- Una posible Reacción $R_k = R_k(X_k^{MTe}, I_k^{MTe})$ por parte de CD^M .

4.6.2.2.3 Centros de Decisión inferiores temporalmente

CD^M resolverá en t_1 su Modelo Decisional Z_k^M a partir de toda la Información de Entrada y generará IS_k^{MBt} (Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores temporalmente (CD^{Bt})) que en este caso se compondría de:

- Una Instrucción $IN_k = IN_k(X_k^{MBt}, I_k^{MBt})$ por parte de CD^M .

4.6.2.2.4 Centros de Decisión inferiores espacialmente

CD^M resolverá en t_1 su Modelo Decisional Z_k^M a partir de toda la Información de Entrada y generará IS_k^{MBe} (Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores espacialmente (CD^{Be})) que en este caso se compondría de:

- Una Instrucción $IN_k = IN_k(X_k^{MBe}, I_k^{MBe})$ por parte de CD^M .

4.6.3 ¿Cómo definir los Parámetros?

Tal y como se apuntó anteriormente, resolver el Modelo Decisional Z_k^M correspondiente a la Actividad Decisional k (AD_k) de un CD^M genérico, significará encontrar unos valores concretos para cada una de las Variables de Decisión X_k^M , de manera que se encuentre un resultado aceptable (veáse Nivel de Aspiración) en el Criterio C_k^M que satisfaga cada una de las restricciones del Campo de Decisión A_k^M .

Para resolver dicho Modelo Decisional Z_k^M es necesario una Información (de Entrada) que le de soporte, en forma de **Parámetros**.

Para poder definir cada uno de los **Parámetros** que dan soporte a la ejecución de cualquier Actividad Decisional es necesario conocer, al igual que en la definición de las Variables de Decisión, los conceptos de **Alcance** y **Frontera** de un Centro de Decisión en un Nivel Decisional concreto.

De manera análoga a como se hizo para las Variables de Decisión, se distinguen un primer tipo de Parámetros, que son aquellos que están ligados a la “planificación” de las Actividades de Transformación (AT) (Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte), tanto aquellos ligados al **Alcance del propio Centro de Decisión** en el Nivel Decisional correspondiente, como aquellos ligados al **Alcance de otros Centros de Decisión pertenecientes a su Entorno Decisional**.

Por otra parte, se distinguen un segundo tipo de Parámetros, que son aquellos que están ligados a la “planificación” de las Actividades de Interconexión (AI) (Compras y Ventas) que pertenecen a la **Frontera** de un Centro de Decisión.

Ambos tipos de Parámetros se explicitan en el siguiente apartado.

Una vez definidos los distintos Parámetros específicos ligados a la Planificación de las AT y AI, es necesario saber otro aspecto clave para poder definirlos, que es su grado de detalle, desde el punto de vista de los Ítems, los Recursos y el Tiempo.

Dicho grado de detalle, al igual que con la definición de las Variables de Decisión estará íntimamente ligado al Nivel Decisional donde esté ubicado el Centro de Decisión en cuestión. Así, el grado de detalle con el que se considerarán los Recursos/Ítems sobre los que se tomarán decisiones (Planes Operacionales) será normalmente menor en el Nivel Decisional Táctico que en el Operativo, del mismo modo que los Períodos de Planificación/Tiempo, los cuales serán normalmente más amplios.

Todo lo anterior se expresará a partir de los conceptos “**Categorías**” y “**Tipos de Elementos**” definidos anteriormente para las Variables de Decisión⁵⁶.

4.6.4 Información: tipos de parámetros en Planificación

Se citan a continuación como guía orientativa, los parámetros específicos en contextos de Planificación que potencialmente podrían dar soporte al Modelo de Decisión, distinguiendo entre aquellos que afectan únicamente a los “Ítems en general” y aquellos que relacionan estos con los “Recursos”, considerando estos últimos separadamente dependiendo de la Actividad de Transformación (AT) o de Interdependencia (AI) que en su caso se considere.

⁵⁶ En la Metodología que se desarrollará en el capítulo 6 se detallarán las reglas específicas para la definición de cada uno de dichos Parámetros específicos.

En primer lugar se enumeran los Parámetros específicos que afectan únicamente a los “**Ítems en general**”:

- a. Lista de Materiales⁵⁷
- b. Peso
- c. Superficie
- d. Volumen

En segundo lugar se enumeran los Parámetros específicos de cada una de las **Actividades de Transformación (AT)**: Producción-Operaciones, Almacenamiento y Transporte.

1. Producción-Operaciones

- a. Coste unitario de Producción-Operación
- b. Coste Fijo / Cambio en la Producción
- c. Coste Fijo/Cambio “medio” en la Producción
- d. Tiempo unitario de Producción-Operación
- e. Tiempo Fijo / Cambio en la Producción
- f. Tiempo Fijo/Cambio “medio” en la Producción
- g. Lote Mínimo o Tiempo Mínimo requerido de Producción-Operación
- h. Lote Máximo o Tiempo Máximo requerido de Producción-Operación
- i. Lote Medio ó Tiempo Medio de Producción-Operación
- j. Lote de Producción-Operación
- k. Rendimientos
- l. Capacidad normal
- m. Número de turnos
- n. Capacidad normal por turno
- o. Coste de Capacidad normal
- p. Coste de mantener un turno

⁵⁷ Se trataría de la cantidad de “Ítems hijo” que tendría un “Ítem padre”.

- q. Máxima Capacidad extra
- r. Máxima Capacidad ociosa
- s. Coste de Capacidad extra
- t. Coste de Capacidad ociosa

2. Almacenamiento

- a. Capacidad de Almacenamiento / Inventario
- b. Cantidad mínima a Almacenar
- c. Coste unitario de Almacenamiento / Inventario
- d. Stock de Seguridad Objetivo
- e. Máxima cantidad por debajo con respecto al Stock de Seguridad objetivo
- f. Coste por cantidad por debajo con respecto al Stock de Seguridad objetivo

3. Transporte

- a. Capacidad de Transporte
- b. Coste unitario de Transporte
- c. Lote mínimo de Transporte
- d. Coste Fijo de Transporte
- e. Tiempo de Transporte

En tercer lugar se enumeran los Parámetros específicos de cada una de las **Actividades de Interconexión (AI)**: Compras y Ventas.

4. Compras

- a. Coste unitario de Compra/Subcontratación
- b. Lote mínimo de Compra

5. Ventas

- a. Cantidad demandada
- b. Ingreso
- c. Coste de diferir
- d. Coste de rechazar

- e. Máxima cantidad a diferir
- f. Máxima cantidad a rechazar

4.7 Modelo Analítico de Referencia

Tal y como se explicó en la introducción, el Marco propuesto en el presente capítulo tiene como objetivo presentar de forma estructurada todos los conceptos necesarios para, por una parte, facilitar el el modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D y por otra parte, su modelado Analítico.

En este último apartado se aborda cuál sería el **Modelo Analítico de Referencia** de una Actividad Decisional asociada a un CD^M genérico y ejecutada (en su caso) en el ciclo k . Dicho Modelo está inexorablemente basado en las cuatro Visiones descritas previamente en el Marco: Física, Organizacional, Decisional e Informativa.

El Modelo Analítico de Referencia constaría en el caso más general de un Modelo Decisional Z_k^M con la siguiente **Estructura** (Figura 4-17):

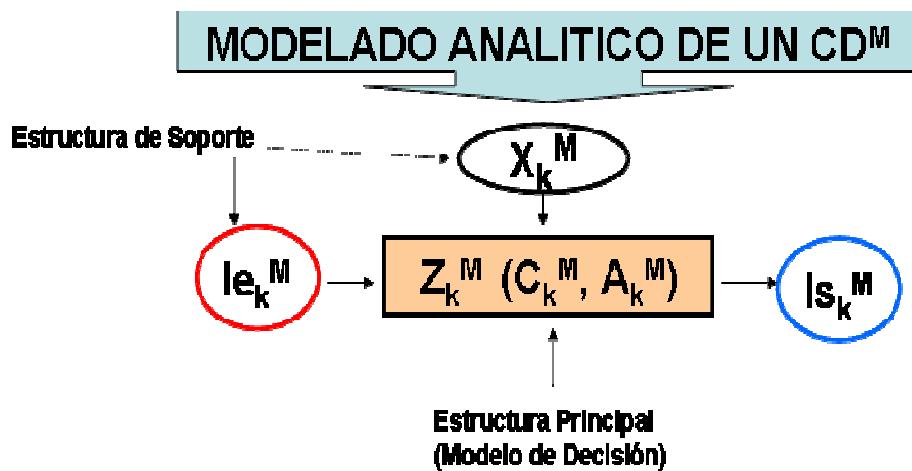


Figura 4-17. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico (elaboración propia)

4.7.1 Estructura Principal

La **Estructura Principal** correspondería propiamente al Modelo de Decisión Z_k^M , que tal y como se definió en la Sub-Visión Micro-Decisional estaría formado por un Criterio y un Campo de Decisión.

4.7.1.1 Criterio

El **Criterio** estaría formado a su vez por los siguientes componentes:

1. C_{lk}^M ó C_k^{MM} : Local
2. C_{ik}^M : Interdependencia
 - a. C_k^{MT} : CD superiores
 - i. C_k^{MTt} : Temporalmente
 - ii. C_k^{MTe} : Espacialmente
 - b. C_k^{MB} : CD inferiores.
 - i. C_k^{MBt} : Temporalmente
 - ii. C_k^{MBe} : Espacialmente

4.7.1.2 Campo de Decisión

El **Campo de Decisión** estaría formado a su vez por los siguientes componentes:

1. A_{lk}^M ó A_k^{MM} : Local
2. A_{ik}^M : Interdependencia
 - a. A_k^{MT} : CD superiores
 - i. A_k^{MTt} : Temporalmente
 - ii. A_k^{MTe} : Espacialmente
 - b. A_k^{MB} : CD inferiores
 - i. A_k^{MBt} : Temporalmente
 - ii. A_k^{MBe} : Espacialmente

Por tanto, la **Estructura Principal del Modelo de Referencia Analítico** de un CD^M genérico vendría dada por la definición de Z_k^M :

$$Z_k^M (C_k^M, A_k^M) =$$

$$Z_k^M (C_{lk}^M, C_{ik}^M, A_{lk}^M, A_{ik}^M) =$$

$$Z_k^M (C_k^{MM}, C_k^{MT}, C_k^{MB}, A_k^{MM}, A_k^{MT}, A_k^{MB}) =$$

$$Z_k^M (C_k^{MM}, C_k^{MTt}, C_k^{MTe}, C_k^{MBt}, C_k^{MBe}, A_k^{MM}, A_k^{MTt}, A_k^{MTe}, A_k^{MBt}, A_k^{MBe})$$

4.7.2 Estructura de Soporte

La **Estructura de Soporte** correspondería por una parte al conjunto de decisiones que ha de tomar CD^M (que darían lugar al Plan Operacional Táctico/Operativo), planteadas mediante la formulación detallada de las Variables de Decisión (Sub-Visión Micro-Decisional) y por otra parte la Información de Entrada de la que dispone CD^M en el momento de tomar dichas decisiones (Visión Informacional).

4.7.2.1 Variables de Decisión

Las **Variables de Decisión** (X_k^M) pueden ser de dos tipos (Fig.):

1. X_{ik}^M : Variables Locales del CD^M
2. X_{ik}^M : Variables por Interdependencias del CD^M
 - a. X_{ik}^{MTt} : Variables por Interdependencias de CD^M con CD^{Tt}
 - b. X_{ik}^{MTe} : Variables por Interdependencias de CD^M con CD^{Te}
 - c. X_{ik}^{MBt} : Variables por Interdependencias de CD^M con CD^{Bt}
 - d. X_{ik}^{MBe} : Variables por Interdependencias de CD^M con CD^{Be}

4.7.2.2 Información de Entrada

La **Información de Entrada** (Ie_k^M), puede a su vez ser de dos tipos (Figura 4-18).

- Ie_{ik}^M : Información de Entrada Local del CD^M .
- Ie_{ik}^M : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M .
 - Ie_k^{TM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs superiores.
 - Ie_k^{TtM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs superiores temporalmente.
 - IN_k^{TtM} : Debida a Instrucciones por parte de CD^{Tt}
 - x_k^{TtM} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)⁵⁸
 - i_k^{TtM} : Información Global (para la coordinación)

⁵⁸ En realidad x_k^{TtM} es el resultado de dar un valor determinado a la Variable de Decisión, en este caso Global, X_k^{TtM} .

- FA^{MTt} (R_k^{MTt}): Debida a algún Grado de Anticipación (en caso que exista Reacción por parte de CD^M).
- Ie_k^{TeM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs superiores espacialmente.
 - IN_k^{TeM} : Debida a Instrucciones por parte de CD^{Te}
 - x_k^{TeM} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{TeM} : Información Global
 - FA^{MTe} (R_k^{MTe}): Debida a algún Grado de Anticipación (en caso que exista Reacción por parte de CD^M).
- Ie^{BM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores.
 - Ie^{BtM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores temporalmente.
 - FA^{MBt} (IN_k^{MBt}): Debida a algún Grado de Anticipación por parte de CD^M .
 - R_k^{BtM} : Debida a Reacciones, en caso que existan, por parte de CD^{Bt} .
 - x_k^{BtM} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{BtM} : Información Global
 - Ie^{BeM} : Información de Entrada por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores espacialmente.
 - FA^{MBe} (IN_k^{MBe}): Debida a algún Grado de Anticipación por parte de CD^M .
 - R_k^{BeM} : Debida a Reacciones, en caso que existan, por parte de CD^{Be} .
 - x_k^{BeM} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{BeM} : Información Global

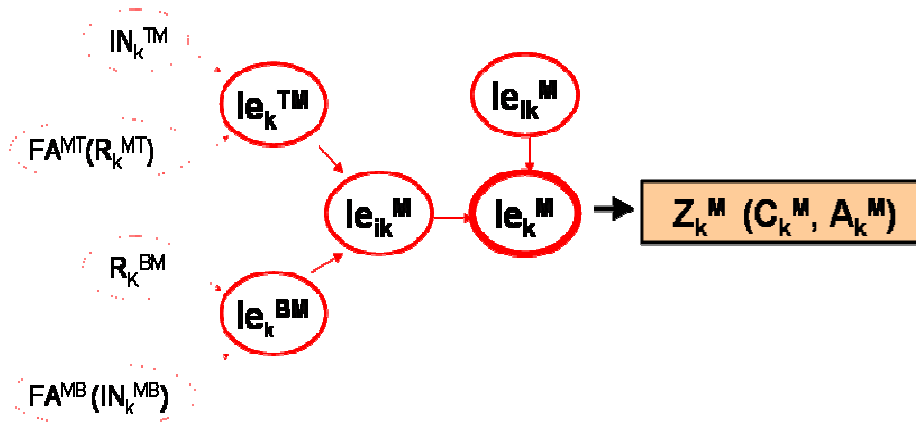


Figura 4-18. Información de Entrada Ie_k^M de un Modelo Decisional genérico Z_k^M (elaboración propia)

Por tanto, la **Estructura de Soporte del Modelo Analítico de Referencia** de un CD^M genérico vendría dada por la definición de las Variables de Decisión X_k^M y de la Información de Entrada Ie_k^M :

$$\begin{aligned} X_k^M (X_{lk}^M, X_{ik}^M) &= (X_{lk}^M, X_{ik}^{MT}, X_{ik}^{MB}) = (X_{lk}^M, X_{ik}^{MTt}, X_{ik}^{MTe}, X_{ik}^{MBt}, X_{ik}^{MBe}) \\ Ie_k^M (Ie_{lk}^M, Ie_{ik}^M) &= (Ie_{lk}^M, Ie_k^{TM}, Ie_k^{BM}) = (Ie_{lk}^M, Ie_k^{TtM}, Ie_k^{TeM}, Ie_k^{BtM}, Ie_k^{BeM}) \end{aligned}$$

4.7.3 Información de Salida - Decisiones

Resolver el Modelo Decisional Z_k^M (compuesto por una Estructura Principal y otra de Soporte), significará encontrar unos valores concretos para cada una de las Variables de Decisión de manera que se encuentre un resultado aceptable o un conjunto de Decisiones (Información de Salida), que satisfagan tanto localmente al propio CD como a los CD s que componen su Entorno Decisional.

Dicha Información de Salida Is_k^M del CD^M estaría compuesta, de modo análogo a Ie_k^M , por varios componentes (Figura 4-19):

- Is_{lk}^M : Información de Salida Local del CD^M .
- Is_{ik}^M : Información de Salida por Interdependencias del CD^M .
 - Is_k^{MT} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CD s superiores.
 - Is_k^{MTt} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CD s superiores temporalmente.

- R_k^{MTt} : Debida a Reacciones, en caso que existan, por parte de CD^M .
 - x_k^{MTt} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{MTt} : Información Global (para la coordinación)
- Is_k^{MTe} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs superiores espacialmente.
 - R_k^{MTe} : Debida a Reacciones, en caso que existan, por parte de CD^M .
 - x_k^{MTe} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{MTe} : Información Global
- Is_k^{MB} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores.
 - Is_k^{MBt} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores temporalmente.
 - IN_k^{MBt} : Debida a Instrucciones por parte de CD^M
 - x_k^{MBt} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{MBt} : Información Global
 - Is_k^{MBe} : Información de Salida por Interdependencias del CD^M con CDs inferiores espacialmente.
 - IN_k^{MBe} : Debida a Instrucciones por parte de CD^M
 - x_k^{MBe} : Variables/Decisiones Globales (Finales o no Finales)
 - i_k^{MBe} : Información Global

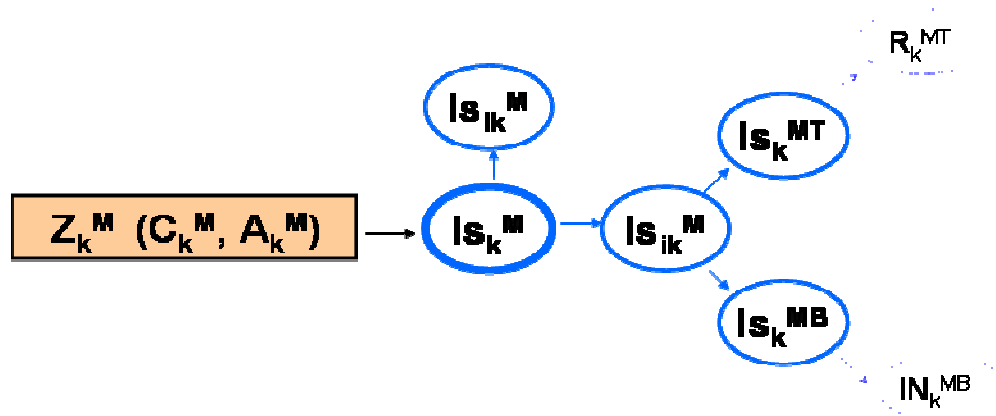


Figura 4-19. Información de Salida $I_{s_k}^M$ de un Modelo Decisional genérico Z_k^M
(elaboración propia)

4.8 Conclusiones

Tal y como se apuntó en el capítulo 1 de la Tesis, el **Marco** propuesto en el presente capítulo da respuesta a varios **objetivos**:

Primeramente, sirve de guía a los responsables del diseño del **proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)**, en la tarea de **modelado de dicho proceso** para situaciones concretas. Proporciona, de manera organizada, la información pertinente para que, en el procedimiento de modelado, se tengan en cuenta todos los aspectos importantes y que influyan en el proceso de Planificación, sea de una forma o de otra. Dicho Marco permite exponer los conceptos, ideas y principios relacionados con la construcción de modelos del proceso de Planificación Colaborativa y, por tanto, favorecer el modelado de situaciones presentes (modelos AS-IS). Estos modelos AS-IS podrán utilizarse para representar, entender, analizar y mejorar la situación presente, de manera que, a partir de ellos, puedan construirse modelos deseables de una o más alternativas (situaciones TO-BE).

En **segundo lugar**, y muy en conexión con el objetivo (general) anterior, **integra cuatro visiones diferentes de modelado, como son las visiones Física, Organizacional, Decisional e Informativa** y sus inter-relaciones. Ello favorece la construcción de modelos integrados del proceso de Planificación Colaborativa, dando lugar a modelos mucho más próximos a la realidad, y aplicados a cualquier tipo de RdS/D, por muy compleja que ésta sea.

En este sentido se ha considerado interesante, no sólo modelar estrictamente el proceso de Planificación Colaborativa (no sólo modelar la Planificación Colaborativa en base a la **Visión Decisional**),

sino conectar dicho modelo con otras Visiones o modelos estrechamente relacionados, por lo que ha sido importante:

- contemplar inicialmente el número de etapas y nodos de la RdS/D, su disposición, configuración..., así como los ítems sobre los que se realizarán las diferentes Actividades de Transformación (transporte, producción...), es decir, la **Visión Física**.
- considerar que se planifican las Actividades de Transformación/Operaciones en un contexto de RdS/D, por lo que será fundamental la organización y jerarquía de los diferentes integrantes de la RdS/D y, consecuentemente, la **Visión Organizacional**.
- hacer alusiones a la información utilizada específicamente en el proceso de Planificación de las Actividades de Transformación y las Actividades de Interconexión, y por lo tanto considerar la **Visión Informativa**.

Se han considerado pues, menos importantes, dada la naturaleza de esta Tesis, otros tipos de modelos citados en el Estado del Arte, como el Modelo económico y/o de costes, el Modelo de gestión del conocimiento ó el Modelo comercial.

En **tercer lugar**, contempla **todo tipo de escenarios decisionales** en los que se puede enmarcarse el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, desde los más Centralizados a aquellos que tienen lugar en Entornos Distribuidos/Descentralizados, considerando al mismo tiempo la **Interdependencia de tipo Temporal** (en el que se considera la coordinación de decisiones entre los Niveles Decisionales Táctico y Operativo), y la **Interdependencia de tipo Espacial** (en el que se considera la coordinación de decisiones entre diferentes “decisores” pertenecientes a un mismo Nivel Decisional, tanto a Nivel Intra-Empresa como Inter-Empresas).

Por último, incluye tanto aspectos/elementos puramente **conceptuales** (Nivel Macro), que faciliten el Modelado integrado del Proceso, como aspectos/elementos **analíticos** (Nivel Micro), que faciliten el Modelado Analítico del mismo, proponiéndose en último lugar, un Modelo de Referencia Analítico que deberá ser particularizado en última instancia.

Por otra parte, las principales **aportaciones del Marco** en relación a toda la literatura consultada han sido:

En **primer lugar**, se ha realizado un esfuerzo en la definición de todos los conceptos/aspectos necesarios para cubrir la necesidad, cada vez mayor, de que los **procesos de Planificación de Producción/Operaciones**, que tradicionalmente se han desarrollado a nivel uni-empresa, **se adapten para ser diseñados y ejecutados por diferentes empresas, separadas y de diferentes características**, pero que, en la mayoría de los casos, forman parte de una misma Red de Suministro/Distribución (RdS/D) (Alarcón y otros, 2007).

En **segundo lugar**, la ausencia en la literatura de **Modelos que integren todos los elementos** que afecten el proceso de **Planificación Colaborativa en RdS/D**. Si bien la **Visión Decisional** ha sido la más importante, ésta se ha visto **complementada por el resto de Visiones (Física, Organizacional e Informacional)**, lo cual facilita el desarrollo de Modelos integrados del Proceso, totalmente versátiles y aplicables a cualquier contexto, por muy complejo que éste sea (Pérez y otros, 2007; Pérez y otros, 2012).

En **tercer lugar**, la escasez de trabajos en la literatura que consideren **simultáneamente las Relaciones de Interdependencia de tipo temporal y espacial en cualquier escenario decisional** que pueda establecerse en el proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D, ya sean escenarios **centralizados o descentralizados/distribuidos**. La mayoría de los trabajos consultados sólo son válidos para situaciones muy específicas o sólo consideran un tipo de Interdependencia al mismo tiempo.

Por último, la **gran distancia aún existente entre el Proceso de Planificación Colaborativa real de una RdS/D cualquiera y su modelado analítico**. El Marco no sólo permite modelar conceptualmente el Proceso (Nivel Macro) sino que también facilita su modelado analítico (Nivel Micro), facilitando e integrando por tanto la conexión entre ambos modelados (Alemany y otros, 2006).

Una vez explicitados los diferentes objetivos del Marco propuesto y sus principales aportaciones respecto a la literatura consultada en el Estado del Arte, en los siguientes capítulos 5 y 6, se establece una **Metodología**, que basada en dicho Marco, indique, de manera explícita, todos los pasos para el **Modelado del Proceso** y para su **Modelado Analítico**, respectivamente.

4.9 Bibliografía

Alarcón, F.; Lario, F.C.; Bozá, A.; Pérez, D. (2007). "Propuesta de Marco Conceptual para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)". XI Congreso de Ingeniería de Organización, Madrid.

Alemany, M.M.; Lario, F.C.; Alarcón, F.; Pérez, D. (2006). "Tipos de Integración en las Redes de Suministro / Distribución: Aspectos relevantes para su modelado cuantitativo". X Congreso de Ingeniería en Organización, Valencia.

Berio, G.; Vernadat, F. (2001). "Enterprise modelling with CIMOSA: functional and organizational aspects", Production Planning & Control, Vol. 12 (2), pp. 128-136.

Doumeingts, G. (1984). "Methode GRAI: Methode de Conception des Systemes de Productique". These d'Etat en Automatique, Universite de Bordeaux 1, Bordeaux, France.

Fleishmann B.; Meyr H. (2003). "Planning hierarchy, modelling and advanced planning systems". Handbooks in OR&MS, Kok and Graves (eds.), Elsevier B.V., Vol 11, pp. 457-523.

Grossmann I. (2005). "Enterprise-wide Optimization: A new frontier in Process System Engineering". *AIChE Journal*, Vol. 51 (7), pp. 1846-1857.

Lambert D. y Cooper M. (2000). "Issues in Supply Chain Management". *Industrial Marketing Management*, Vol. 29 (1), pp. 65-83.

Lejeune M.; Yakova N. (2004). "Caracterizing the 4 C's in the Supply Chain". *Journal of Operations Management*, Vol. 23, pp. 81-100.

Ortiz, A.; Poler, R.; Lario, F. C.; Vicens, E. (1999). "Situación y líneas de investigación futuras en integración empresarial". *Información Tecnológica*, Vol. 10 (4).

Pérez, D.; Alemany, M.M.; Vicens, E.; Lario, F.C. (2007). "Propuesta de Marco Conceptual para el Modelado de la Visión Decisional del proceso de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D)". *I International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, Madrid.

Pérez, D.; Alemany, M.M.; Lario, F.C.; Hernández, J.E. (2012). "Framework for Modelling the Decision View of the Supply Chains Collaborative Planning Process". *International Journal of Decision Support Technology International Journal of Decision Support System Technology*, Vol 4 (2), pp. 59-77.

Pontrandolfo, P.; Okogbaa, O. G. (1999). "Global manufacturing: a review and a framework for planning in a global corporation". *International Journal of Production Research*, Vol. 37 (1), pp. 1-19.

Schneeweiss, Ch. (2003). "Distributed-Decision Making: a unified approach". *European Journal of Operational Research*, Vol. 150, pp. 237-252.

Schneeweiss, Ch.; Zimmer K. (2004). "Hierarchical coordination mechanism within the Supply Chain". *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, pp. 687-703.

Stadtler, H. (2005). "Supply chain management and advanced planning - basics, overview and challenges". *European Journal of Operational Research*, Vol. 163 (3), pp. 575-588.

5 . Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de Redes de Suministro/ Distribución

5.1	Introducción.....	7
5.2	Visión Física.....	9
5.2.1	Definición de los Recursos.....	9
5.2.2	Definición de los Ítems	17
5.2.3	Definición de la relación Recursos – Ítems.....	21
5.3	Visión Organizacional.....	26
5.3.1	Definición de los Centros Organizacionales	26
5.4	Sub-Visión Macro-Decisional.....	32
5.4.1	Definición de los Centros de Decisión	33
5.4.2	Caracterización de las Relaciones de Interdependencia	38
5.4.3	Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso.....	43
5.5	Visión Informacional	47
5.5.1	Información de Entrada - Macro	48
5.5.2	Informacion de Salida - Macro.....	49
5.6	Conclusiones	50
5.7	Bibliografía	52

Índice de Figuras

Figura 5-1. La Planificación Colaborativa en el contexto de la Dirección de Operaciones en una RdS/D (elaboración propia).....	7
Figura 5-2. Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (elaboración propia).....	8
Figura 5-3. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”(elaboración propia)	10
Figura 5-4. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”. Aplicación a un ejemplo 1 (elaboración propia).....	11
Figura 5-5. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”. Aplicación a un ejemplo 2 (elaboración propia).....	11
Figura 5-6. Notación gráfica (I) para el Modelado de la Visión Física - “Items” (elaboración propia).....	18
Figura 5-7. Notación gráfica (II) para el Modelado de la Visión Física – “Items”. (elaboración propia).....	18
Figura 5-8. Notación gráfica (II) para el Modelado de la Visión Física – “Items”. Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	19
Figura 5-9. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – CO’s (elaboración propia).....	27
Figura 5-10. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs (I) Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	28
Figura 5-11. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs (II) Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	29
Figura 5-12. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (elaboración propia)	33
Figura 5-13. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (I) Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	34
Figura 5-14. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (II) Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	35
Figura 5-15. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional /M – RI entre CDs (elaboración propia).....	38
Figura 5-16. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional /M – RI entre CDs (continuación) (elaboración propia).....	39
Figura 5-17. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – RI entre CDs Aplicación al NDO-CD3 del Ejemplo 1 (elaboración propia)	40
Figura 5-18. Notación gráfico-tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs (elaboración propia).....	45

Figura 5-19. Notación gráfico-tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs	
Aplicación al Ejemplo 1 (I) (elaboración propia)	46
Figura 5-20. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs	
Aplicación al Ejemplo 1 (II) (elaboración propia)	46
Figura 5-21. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs	
Aplicación al Ejemplo 1 (III) (elaboración propia)	47
Figura 5-22. Información de Entrada a Nivel Macro de una Actividad Decisional (elaboración propia)	49
Figura 5-23. Información de Salida a Nivel Macro de una Actividad Decisional (elaboración propia)	50

Índice de Tablas

Tabla 5-1. Visión Física - Recursos (I) (elaboración propia).....	13
Tabla 5-2. Visión Física - Recursos (II) (elaboración propia)	14
Tabla 5-3. Visión Física - Recursos (III) (elaboración propia)	15
Tabla 5-4. Visión Física - Recursos (I). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	15
Tabla 5-5. Visión Física - Recursos (II). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)	16
Tabla 5-6. Visión Física - Recursos (III). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)	16
Tabla 5-7. Visión Física – Items (I) (elaboración propia).....	20
Tabla 5-8. Visión Física – Items (II). (elaboración propia)	20
Tabla 5-9. Visión Física – Items (I). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	21
Tabla 5-10. Visión Física – Items (II). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)	21
Tabla 5-11. Visión Física – Recursos & Ítems (I) . (elaboración propia)	23
Tabla 5-12. Visión Física – Recursos & Ítems (II) . (elaboración propia).....	24
Tabla 5-13. Visión Física – Recursos & Ítems (I) . Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)	25
Tabla 5-14. Visión Física – Recursos & Ítems (II) . Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	25
Tabla 5-15. Notación tabular para el Modelado de la Visión Organizacional – COs (elaboración propia).....	30
Tabla 5-16. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs Nivel Táctico Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	31
Tabla 5-17. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs Nivel Operativo Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	31
Tabla 5-18. Notación tabular Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (elaboración propia).....	36
Tabla 5-19. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional /M – CDs Nivel Táctico . Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	37
Tabla 5-20. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional /M – CDs Nivel Operativo . Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia).....	37
Tabla 5-21. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – RI entre CDs (elaboración propia).....	42
Tabla 5-22. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ID entre CDs Aplicación al NDO-CD3 del Ejemplo 1 (elaboración propia).....	42

5.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrolla una **Metodología**, que basada en el Marco descrito en el capítulo anterior, proporcione al usuario de la misma unas **directrices/pasos para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D**, entendiendo dicha Planificación, como ya se apuntó en capítulos anteriores, como aquella que afecta a los procesos tácticos-operativos (Figura 5-1).

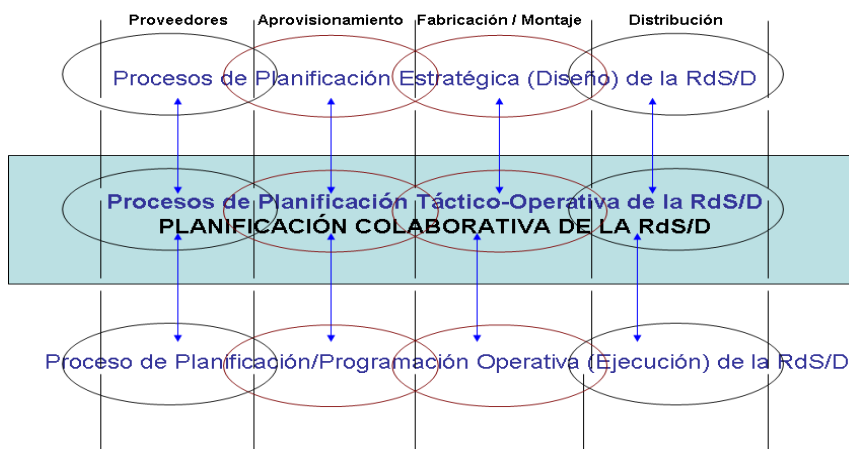


Figura 5-1. La Planificación Colaborativa en el contexto de la Dirección de Operaciones en una RdS/D (elaboración propia)

En el Marco descrito en el capítulo anterior se definieron 4 visiones: Física, Organizacional, Informacional y Decisional. Como ya se ha dicho, es esta última la que servirá principalmente como referencia, pues el proceso que se aborda, el de Planificación Colaborativa, está íntimamente ligado a la Toma de Decisiones, y por tanto a la Visión Decisional .

El objetivo final de la Metodología (I) descrita en este capítulo (Figura 5-2) será la obtención de un **Modelo del Proceso**, entendiendo por éste la identificación de cada una de las **Actividades Decisionales** (de las cuales serán “propietarios” los Centros de Decisión) que lo conforman, así como su **orden de ejecución**, lo cual se derivará de todos los conceptos desarrollados en la Visión Decisional, y más específicamente, de la Sub-Visión Macro-Decisional.

Además, es importante reseñar que la Metodología (I) tendrá en cuenta las influencias que pudieran tener las demás Visiones, ya que las Actividades Decisionales actúan sobre unos Recursos (Visión Física) estructurados Organizacionalmente (Visión Organizacional) y que utilizan cierta Información (Visión Informacional).

La inclusión de las diferentes Visiones resultará claramente enriquecedor, ya que se logrará tener una Visión Integrada tanto del Proceso como de cada una de las Actividades Decisionales que lo conforman, lo cual redundará finalmente en la obtención de Modelos mucho más realistas.

Posteriormente, y ya en el capítulo siguiente, se propondrá una segunda parte de la Metodología, denominada Metodología (II), que a partir del Modelo del Proceso obtenido y otros conceptos también desarrollados en el Marco (especialmente en la Sub-Visión Micro-Decisional) sirva de soporte para el Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales, y por ende, de todo el Proceso de Planificación Colaborativa.

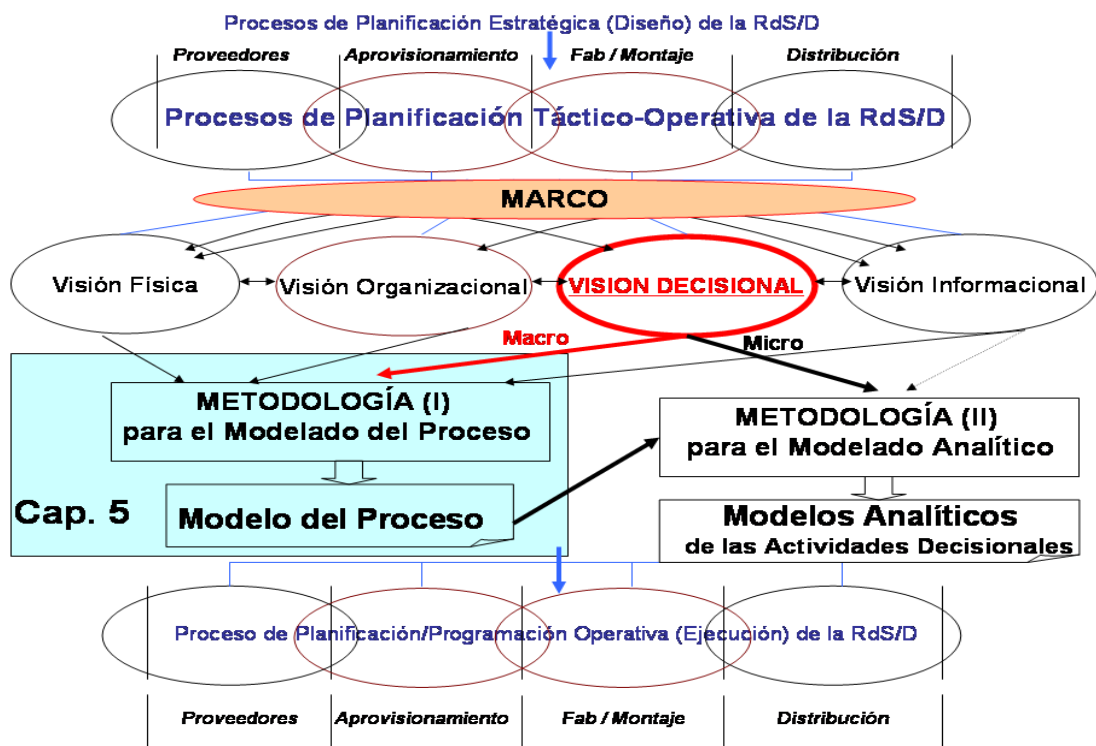


Figura 5-2. Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (elaboración propia)

La Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa se estructura en cuatro partes:

1. Definición de la Visión Física.
2. Definición de la Visión Organizacional.
3. Definición de la Sub-Visión Macro-Decisional.
4. Definición de la Visión Informacional

5.2 *Visión Física*

Esta primera parte se basa en todos los conceptos definidos en la Visión Física del Marco.

Puesto que el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D está compuesto por Actividades Decisionales que actúan sobre unos **Recursos** e **Ítems** concretos, es necesario primeramente identificar qué Recursos se consideran y cuáles no, así como identificar qué Ítems se “hacen¹” o podrían “realizarse” en cada uno de los Recursos.

5.2.1 Definición de los Recursos

Para la definición de los **Recursos**, la Metodología establece los siguientes pasos:

1. Identificar los Nodos y ubicarlos en cada una de la Etapas / Sub-Etapas:
 - a. Distribución (DIS)
 - b. Fabricación / Montaje (FAB/MON) Aprovisionamiento (APR)
 - c. Proveedores (PRO)
2. Identificar las Actividades de Transformación que se realizan en cada Nodo, es decir, Producción-Operaciones y/o Almacenamiento.
 - a. Si se repite una de ellas, identificar a qué Etapa Intra-Nodo pertenece.
3. Identificar los Puntos de Venta (adscritos a los propios Nodos o no).
4. Identificar los Arcos que unirán los diferentes Nodos (sabiendo que en cada uno de ellos se realizará la Actividad de Transformación de Transporte).
5. Identificar los Arcos que unirán (en su caso) los Nodos con los Puntos de Venta.
6. Identificar las Alternativas en cada una de las Actividades de Transformación, es decir, Producción-Operaciones y/o Almacenamiento, definidas en cada Nodo.
7. Identificar las Alternativas en cada Arco, o lo que es lo mismo, en cada una de las Actividades de Transformación de Transporte, ya sean aquellos que unen Nodos entre sí o bien aquellos que unen Nodos con Puntos de Venta.

¹ Se utiliza “realizar” como término que englobaría a “producir/operar”, “almacenar” y “transportar”, es decir, las Actividades de Transformación que tienen sentido considerar en una RdS/D.

Se define a continuación una notación gráfica y otra tabular para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Física - “Recursos”.

En cuanto a la **notación gráfica**, en la Figura 5-3 se muestran los aspectos a modelar y su notación

VISION FISICA - RECURSOS	
Etapas	Se representan por bloques verticales separados con líneas continuas en los que en la parte superior figura el nombre de la Etapa en cuestión: “Proveedores (PRO)”, “Aprovisionamiento (APR)”, “Fabricación/Montaje (FAB)” y “Distribución (DIS)”
Sub-Etapas	Se representan por bloques verticales separados con líneas discontinuas de trazo más fino en los que en la parte superior figura el nombre de la Sub-Etapa en cuestión. Se utiliza la misma notación que para las Etapas pero con el supraíndice indicador del nº de Sub-Etapa, siendo el nº1 aquella que se encuentra más cerca de la Etapa de Fabricación/Montaje (P.ej. PRO ¹ se trataría de un primer nivel de Proveedores)
Nodos/Actividades de Transformación	Se representan todos, independientemente de su Tipo, mediante rectángulos numerados consecutivamente de arriba a abajo (en caso de existir sólo uno no será necesario numerarlo) y en su parte superior-izquierda. Todo ello para cualquier Etapa/Sub-Etapa definida. En su interior de dichos nodos se empleará la notación “P” si se realiza una Actividad de Transformación de Producción-Operaciones y “A” si es de Almacenamiento.
Etapas Intra-Nodo	Se representa indicando mediante un número justo a la derecha de la Actividad de Transformación en cuestión, ya sea P o ya sea A. La Etapa Intra-Nodo nº1 corresponderá a la/s AT Producción (y en su caso Almacenamiento) situadas más a la derecha del Nodo. Si sólo existe una Etapa Intra-Nodo no hace falta indicar dicho número.
Arcos/Actividades de Transformación	Se representan mediante flechas que une el nodo-origen con el nodo-destino. En este caso como la única Actividad de Transformación es la de Transporte, ésta no tendrá ninguna notación específica.
Alternativas	En caso de tratarse de una Actividad de Transformación de un Nodo se colocará un número más pequeño que el empleado para los nodos, abajo y a la derecha, indicando el nº de alternativas que existen. En caso de tratarse de la Actividad de Transformación de un Arco se colocará un número pequeño abajo y en el centro de la flecha. Si sólo existe una alternativa posible hará falta colocar ningún número.
Puntos de Venta en un Nodo	Se representan por círculos más pequeños que los rectángulos que representan los Nodos, situados adyacentemente en su vértice superior-derecho. Como en principio podrán considerarse en cualquier Etapa/Sub-Etapa, se seguirá el criterio de numerarlos consecutivamente y en el centro del círculo, empezando por los situados más a la izquierda de la RdS/D. En caso que exista sólo un único Punto de Venta, no hará falta numerarlo.
Punto de Venta exterior a un Nodo	Se representan igualmente por círculos más pequeños que los rectángulos que representan los Nodos, pero en este caso irán precedidos de un Arco, habiendo en este caso una AT de Transporte previa. La numeración se realizará de igual forma que los Puntos de Venta en un Nodo.

Figura 5-3. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”(elaboración propia)

A continuación se expresa la notación gráfica anterior aplicada a dos ejemplos (Figuras 5-4 y 5-5).

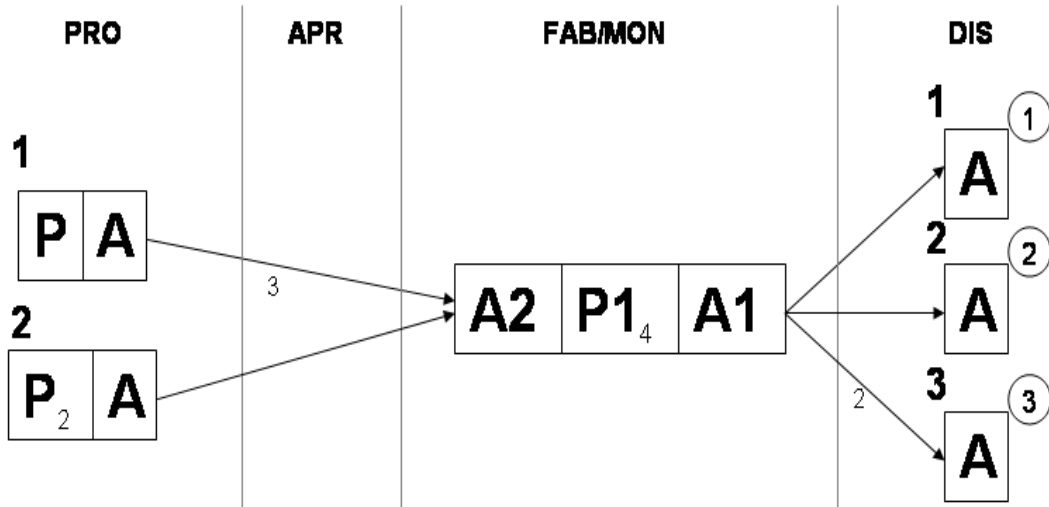


Figura 5-4. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”. Aplicación a un ejemplo 1 (elaboración propia)

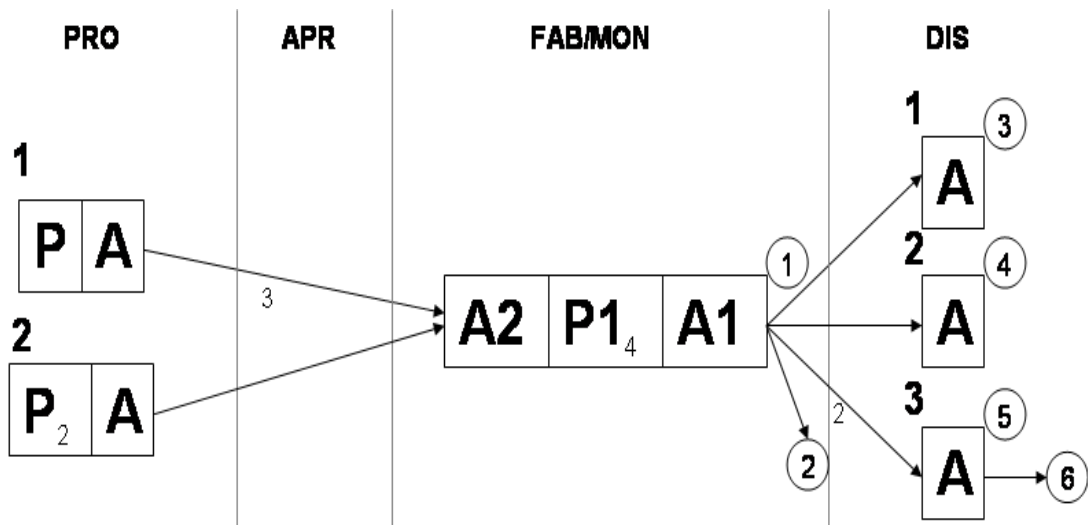


Figura 5-5. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Física – “Recursos”. Aplicación a un ejemplo 2 (elaboración propia)

Se puede observar como en el ejemplo 1 (Figura 5-4)² todos los Puntos de Venta están ubicados en los propios Nodos, concretamente en los tres situados en la Etapa de Distribución.

En cambio, en el ejemplo 2 (Figura 5-5) existen dos Puntos de Venta exteriores a los Nodos (el 2 y el 6), y por tanto precedidos de un Arco o AT de Transporte.

Por otra parte, como se incidirá más adelante, los Ítems que se generan en los Puntos de Venta serán normalmente Productos Finales, y por tanto dicha Demanda Final en forma de Puntos de Venta se ubicará bien en la Etapa de Fabricación/Montaje o bien en la Etapa de Distribución.

No obstante, alguno de los Puntos de Venta también podría generar una Demanda de Productos Intermedios, por lo que dicha Demanda Final se ubicaría en la Etapa de Proveedores, en la Etapa de Aprovisionamiento o en la Etapa de Fabricación/Montaje, en este último caso sólo si existiese más de una Etapa (Intra-Nodo).

En cuanto a la **notación tabular**, se definen tres Tablas:

La primera (Tabla 5-1) se ha denominado “Visión Física – Recursos (I)” y se utiliza para la definición de los Nodos (clasificados según Etapas / Sub-Etapas), de las Actividades de Transformación (AT) realizadas, en su caso, en cada una de las Etapas Intra-Nodo, y de las Alternativas en cada una de dichas AT.

La segunda (Tabla 5-2) se ha denominado “Visión Física – Recursos (II)” y se utiliza para la definición de los Arcos (AT de Transporte) entre los Nodos anteriores y el número de Alternativas en cada uno de ellos.

Tanto en las filas como en las columnas se han representado las distintas Etapas/Sub-Etapas y los Nodos pertenecientes a cada una de ellas, de manera que el Arco quedará definido en la celda intersección de ambas, siendo el Nodo inicio el correspondiente a la fila y el Nodo final el de la columna.

Por último, el valor que se colocará en la celda respectiva será:

- Celda vacía: si no existe Arco entre dichos Nodos.
- Celda con valor no nulo: si existe Arco entre dichos Nodos. En este caso el número indicado señalará el número de Alternativas para al AT de Transporte a realizar en dicho Arco.

² Este ejemplo 1 es el que se utilizará como **referencia** a partir de ahora.

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (I)			
Etapas / Sub-Etapas (1...m)	Nodos (1...n)	AT (A , P) / IntraNodo (1...e)	Etapas Alternativas (1...a)
PRO / PRO^m	1	A / e	
		P / e-1	
		A / e-1	
		P / 1	
		A / 1	
	n	A / e	
		P / e-1	
		A / e-1	
		P / 1	
		A / 1	
APR / APR^m	1	A	
	n	A	
FAB	1	A / e	
		P / e-1	
		A / e-1	
		P / 1	
		A / 1	
	n	A / e	
		P / e-1	
		A / e-1	
		P / 1	
		A / 1	
DIS / DIS^m	1	A	
	n	A	

Tabla 5-1. Visión Física - Recursos (I) (elaboración propia)

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (II)									
	Etapas/ Sub-Etapas	PRO / PRO ^m		APR / APR ^m		FAB		DIS / DIS ^m	
Etapas/ Sub-Etapas	Nodo inicio / Nodo final	1	n	1	n	1	n	1	n
PRO / PRO ^m	1	1...a							
	n								
APR / APR ^m	1								
	n								
FAB	1								
	n								
DIS / DIS ^m	1								
	n								

Tabla 5-2. Visión Física - Recursos (II) (elaboración propia)

La tercera (Tabla 5-3) se ha denominado “Visión Física – Recursos (III)” y se utiliza para la definición de los Puntos de Venta y los (posibles) Arcos que unan los Nodos anteriores con dichos Puntos de Venta. Además, como en la Figura 5-1, se indicará el número de Alternativas en cada una de ellos.

En las filas se han representado las distintas Etapas/Sub-Etapas y los Nodos pertenecientes a cada una de ellas y en las columnas los distintos Puntos de Venta identificados, numerados de manera consecutiva empezando por la Etapa/Sub-Etapa más a la izquierda, en su caso la Etapa Proveedores³.

Finalmente, el valor que se colocará en la celda respectiva será:

- Celda vacía: si el Nodo no tiene ninguna relación con el Punto de Venta en cuestión, por lo que ni el Punto de Venta está en el propio Nodo ni el Punto de Venta está precedido de un Arco proveniente de dicho Nodo.
- Celda con valor nulo: si el Punto de Venta está en el Nodo, es decir, no existe ningún Arco que una el Nodo con el Punto de Venta.

³ Al hilo de lo comentado anteriormente, la existencia de un Punto de Venta en Etapa Proveedores significaría que se ha considerado relevante la inclusión de una Demanda Final (Independiente) de Productos Intermedios.

- Celda con valor no nulo: si el Punto de Venta es exterior al Nodo, y por tanto existe un Arco que une el Nodo con el Punto de Venta. En este caso el número expresado indicará el número de Alternativas para dicho Arco (AT de Transporte).

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (III)									
	Etapas/ Sub-Etapas	PRO / PRO ^m		APR / APR ^m		FAB		DIS / DIS ^m	
Etapas/ Sub-Etapas	Nodo inicio / Punto Venta	1	...	...	...	...	...	...	v
PRO / PRO ^m	1	1...a							
	n								
APR / APR ^m	1								
	n								
FAB	1								
	n								
DIS / DIS ^m	1								
	n								

Tabla 5-3. Visión Física - Recursos (III) (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación tabular anterior aplicada al ejemplo 1 (Tablas 5-4 a 5-6).

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (I)			
Etapas	Nodos	AT / Etapa	Alternativas
PRO	1	P	1
		A	1
	2	P	2
		A	1
FAB	1	A / 2	1
		P / 1	4
		A / 1	1
DIS	1	A	1
	2	A	1
	3	A	1

Tabla 5-4. Visión Física - Recursos (I). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (II)							
	Etapas	PRO		FAB/ MON	DIS		
Etapas	Nodo inicio/ Nodo final	1	2	1	1	2	3
PRO	1			3			
	2			1			
FAB	1				1	1	2
DIS	1						
	2						
	3						

Tabla 5-5. Visión Física - Recursos (II). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (III)				
	Etapas	DIS		
Etapas	Nodo inicio / Punto Venta	1	2	3
PRO	1			
	2			
FAB/MON	1			
DIS	1	0		
	2		0	
	3			0

Tabla 5-6. Visión Física - Recursos (III). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

A partir de las anteriores Tablas es posible identificar inequívocamente cualquier **Alternativa**, estableciendo la siguiente diferencia:

- Si se trata de una Alternativa perteneciente a una AT de un Nodo, es decir, de Producción-Operaciones o Almacenamiento: Etapa / Sub-Etapa, Nodo, AT / Etapa (intranodo), **Alternativa**.

- Por ejemplo: FAB, 1, P/1, 3 (en este caso se estaría identificando la Alternativa n° 3 de la AT de Producción-Operaciones de la Etapa Intra-Nodo 1 correspondiente al Nodo n° 1 de la Etapa de Fabricación/Montaje).
- Si se trata de una Alternativa perteneciente a la AT de un Arco, es decir, Transporte: Etapa / Sub-Etapa, Nodo (origen), Etapa / Sub-Etapa, Nodo (final), **Alternativa**.
 - Por ejemplo: PRO, 1, FAB, 1, 2 (en este caso se estaría identificando la Alternativa n° 2 del Arco que une el Nodo n° 1 de la Etapa de Proveedores con el Nodo n° 1 de la Etapa de Fabricación/Montaje).

Esta identificación de cualquier Alternativa es importante desde el punto de vista del siguiente apartado, en el que se procede a la definición de los Ítems, ya que estos, en última instancia, serán producidos, almacenados o transportados en/sobre dichas Alternativas⁴.

5.2.2 Definición de los Ítems

Para la definición de los **Ítems**, la Metodología establece los siguientes pasos:

1. Para cada uno de los Puntos de Venta definidos en la Visión Física – “Recursos” (Tabla 5-3), **definir en detalle la Demanda Final**, o lo que es lo mismo, los Ítems con Demanda Independiente⁵ (aquellos que se pretenda considerar en el modelado).
2. Para cada Producto Final, señalar de qué Productos Intermedios (de primer Nivel) se compone⁶.
3. Para cada Producto Intermedio (de Nivel n-1), señalar de qué Productos Intermedios (de Nivel n) se compone.
4. Para cada Producto Intermedio (de Nivel n) señalar de qué Materia Prima se compone.

Se define a continuación una notación gráfica y otra tabular para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Física - “Items”.

⁴ No hay que olvidar que la Alternativa se ha considerado en el Marco del capítulo anterior como el “Recurso” con mayor grado de detalle.

⁵ Ya en la Visión Informacional se reflejará la Demanda específica (Previsión) de cada uno de dichos Ítems en cada Período de Planificación del Horizonte de Planificación.

⁶ Sólo de qué Productos intermedios y no la cantidad de cada uno de ellos, ya que esto último quedaría reflejado en la Visión Informacional.

En cuanto a la **notación gráfica**, en las Figuras 5-6 y 5-7 se presentan los aspectos a modelar y la notación empleada.

VISION FISICA - ÍTEMS	
Ítem: Producto Final	Se representan mediante rombos de tamaño grande y trazo grueso y numerados consecutivamente según el Producto Final en cuestión.
Ítem: Producto Intermedio	Se representan mediante rombos de tamaño medio y trazo fino y numerados consecutivamente según el Producto Intermedio en cuestión.
Ítem: Materia Prima	Se representan mediante rombos de tamaño pequeño y trazo fino numerados consecutivamente según la Materia Prima en cuestión.
Relación Punto de Venta - Ítems	Se establecerá una relación entre los Puntos de Venta y los Ítems que estos generen mediante flechas de trazo grueso y continuo.
Relación entre Ítems	Se establecerá un Nivel para cada uno de los Ítems, excepto para el de Productos Intermedios donde podrá haber más de uno. El nivel superior corresponderá al de Productos Finales y el inferior al de Materias Primas. La relación entre los mismos se establecerá también mediante líneas de trazo fino y continuo.

Figura 5-6. Notación gráfica (I) para el Modelado de la Visión Física - "Items" (elaboración propia)

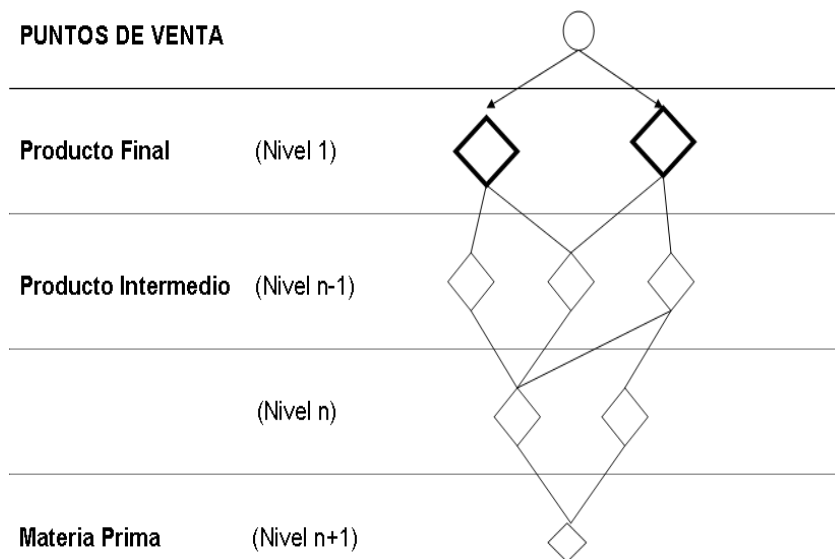


Figura 5-7. Notación gráfica (II) para el Modelado de la Visión Física – "Items". (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación gráfica anterior aplicada al ejemplo 1 (Figura 5-8):

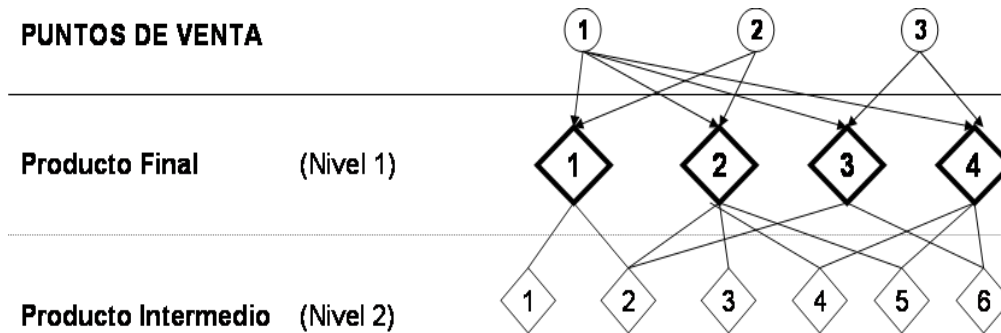


Figura 5-8. Notación gráfica (II) para el Modelado de la Visión Física – “Items”. Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

Se define a continuación una **notación tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Física – “Ítems”, en la que quedará en este caso reflejados inequívocamente cada uno de los pasos señalados anteriormente para la definición de los Ítems.

Para ello se definen dos Tablas:

La primera (Tabla 5-7) se ha denominado “Visión Física – Items (I)” y se utiliza para la definición de la Demanda Final (Independiente) generada por cada Punto de Venta identificado anteriormente en la Visión Física – Recursos (III) (Tabla 5-3).

Para ello se definen las Etapas/Sub-Etapas y en cada una de ellas los Puntos de Venta identificados. Por último dichos Puntos de Venta generarán una Demanda Final de Productos Intermedios y/o de Productos Finales que se indicarán en dicha Tabla.

VISION FISICA – ITEMS (I)			
Etapas / Sub-Etapas (1...m)	Puntos de Venta (1...v)	Productos Intermedios (1...pi)	Productos Finales (1...pf)
PRO / PRO ^m	1		
	...		
APR / APR ^m	...		
FAB	...		
DIS / DIS ^m	...		
	v		

Tabla 5-7. Visión Física – Items (I) (elaboración propia)

La segunda (Tabla 5-8) se ha denominado “Visión Física – Items (II)” y se utiliza para la definición de la Lista de Materiales (o la parte de la misma considerada en el modelado) de cada uno de los Ítems generados por los Puntos de Venta en la.

Para ello se han colocado en las filas los “Ítems – Padre” y en las columnas los “Ítems-Hijo”, de manera que sólo cierta parte de la Tabla tiene sentido al definir la Lista de Materiales (parte no sombreada).

VISION FISICA – ITEMS (II)			Productos Intermedios				Materia Prima	
			Nivel n-1		Nivel n		Nivel n+1	
			1	...	...	pi	1	mp
Productos Finales	Nivel 1	1						
		pf						
Productos Intermedios	Nivel n-1	1						
		...						
	Nivel n	...						
		pi						

Tabla 5-8. Visión Física – Items (II). (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación tabular anterior aplicada al ejemplo 1 (Tablas 5-9 y 5-10).

VISION FISICA – ITEMS (I)			
Etapas	Puntos de Venta	Productos Intermedios	Productos Finales
DIS	1		1,2,3,4
	2		1,2
	3		3,4

Tabla 5-9. Visión Física – Items (I). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISION FISICA – ITEMS (II)		Productos Intermedios (nivel 2)					
		1	2	3	4	5	6
Productos Finales (nivel 1)	1	1	1				
	2		1	1	1	1	
	3		1				1
	4				1	1	1

Tabla 5-10. Visión Física – Items (II). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

5.2.3 Definición de la relación Recursos – Ítems

Para la definición de la relación entre los **Recursos** y los **Ítems** definidos anteriormente, la Metodología establece los siguientes pasos:

1. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Distribución
 - a. Identificar la AT de Almacenamiento y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
2. Para cada Nodo identificado en la Etapa de Fabricación/Montaje
 - a. Identificar la/s AT de Almacenamiento (en su caso perteneciente a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
 - b. Identificar la/s Actividad/es de Producción-Operaciones (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden producirse.
3. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Aprovisionamiento

- a. Identificar la AT de Almacenamiento y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
4. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Proveedores
 - a. Identificar la/s AT de Almacenamiento (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
 - b. Identificar la/s AT de Producción-Operaciones (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden producirse.
 5. Para cada Arco identificado (entre cada par de Nodos o entre Nodos y Puntos de Venta) de las diferentes Etapas/Sub-Etapas:
 - a. Identificar la AT de Transporte y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden transportarse.

Se define a continuación una **notación tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la relación entre los Recursos y los Ítems, en la que quedarán reflejados inequívocamente cada uno de los pasos señalados.

Para ello se definen dos Tablas:

La primera (Tabla 5-11) se ha denominado “Visión Física – Recursos & Items (I)” y se utiliza para relacionar Alternativas de las distintas AT (en su caso pertenecientes a Etapas Intra-Nodo) de los distintos Nodos, con los Ítems que pueden “realizarse/asignarse” a las mismas, en este caso, por tratarse de Nodos, los Ítems que pueden producirse ó almacenarse.

Así pues, para cada Alternativa se señalarán qué Materia Prima y/ó Productos Intermedios y/ó Productos Finales, de los considerados anteriormente⁷, pueden “asignarse / realizarse” en la misma.

⁷ Se trata de los Ítems generados por los Puntos de Venta y a partir de los mismos los Ítems considerados en la Lista de Materiales.

VISION FISICA – RECURSOS & ITEMS (I)						
RECURSOS				ITEMS		
Etapas / Sub-Etapa (1...m)	Nodos (1...n)	AT (A , P) / Etapa (1...e)	Alternativas (1...a)	Materia Prima	Productos Intermedios	Productos Finales
PRO / PRO ^m	1	A / e	1			
			a			
		P / e-1				
		A / e-1				
		P / 1				
	A / 1					
	n	A / e				
		P / e-1				
		A / e-1				
		P / 1				
A / 1						
APR / APR ^m	1	A				
	n	A				
FAB	1	A / e				
		P / e-1				
		A / e-1				
		P / 1				
	A / 1					
	n	A / e				
		P / e-1				
		A / e-1				
		P / 1				
A / 1						
DIS / DIS ^m	1	A				
	n	A				

Tabla 5-11. Visión Física – Recursos & Ítems (I) .(elaboración propia)

La segunda (Tabla 5-12)) se ha denominado “Visión Física – Recursos & Items (II)” y se utiliza para relacionar las Alternativas de la AT ligadas a los Arcos, con los Ítems que pueden “asignarse”, en este caso transportarse, a las mismas.

Así pues, para cada Alternativa se señalarán qué Materia Prima y/ó Productos Intermedios y/ó Productos Finales, de los considerados anteriormente, pueden “asignarse” .

Reseñar que en este caso se han considerado los Arcos como pertenecientes a Etapas/Sub-Etapas, con el criterio de que un Arco pertenece a una Etapa / Sub-Etapa si proviene de un Nodo de dicha Etapa/Sub-Etapa.

La nomenclatura utilizada para nombrar cada uno de los Arcos (1...r) en cada Etapa/Sub-Etapa será: Nodo (inicial) – Etapa / Sub-Etapa, Nodo (final).

- Por ejemplo en la Etapa Proveedores se podría considerar un Arco que fuese: 4 – APR, 2 tratándose de un Arco que tendría su origen en el Nodo 4 de la Etapa Proveedores y su final en el Nodo 2 de la Etapa Aprovisionamiento.

VISION FISICA – RECURSOS & ITEMS (II)					
RECURSOS			ITEMS		
Etapas / Sub-Etapa (1...m)	Arcos (1...r)	Alternativas (1...a)	Materia Prima	Productos Intermedios	Productos Finales
PRO / PRO ^m	1	1			
		a			
	r				
APR / APR ^m	1				
	r				
FAB	1				
	r				
DIS / DIS ^m	1				
	r				

Tabla 5-12. Visión Física – Recursos & Ítems (II) . (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación tabular anterior aplicada al ejemplo 1 (Tablas 5-13 y 5-14).

VISION FISICA – RECURSOS & ITEMS (I)						
RECURSOS				ITEMS		
Etapas	Nodos	AT / Etapa	Alternativas	Materia Prima	Productos Intermedios	Productos Finales
PRO	1	P	1		1,2,3	
		A	1		1,2,3	
	2	P	1		4,5,6	
			2		5,6	
		A	1		4,5,6	
FAB	1	A / 2	1		1,2,3,4,5,6	
		P / 1	1			1,2,3,4
			2			1,2,3,4
			3			1,2,3,4
			4			1,2
A / 1	1			1,2,3,4		
DIS	1	A	1			1,2,3,4
	2	A	1			1,2
	3	A	1			3,4

Tabla 5-13. Visión Física – Recursos & Ítems (I). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISION FISICA – RECURSOS & ITEMS (II)					
RECURSOS			ITEMS		
Etapas	Arcos	Alternativas	Materia Prima	Productos Intermedios	Productos Finales
PRO	1 - FAB,1	1		1,2,3	
		2		1,2,3	
		3		1,3	
	2 - FAB, 1	1		4,5,6	
FAB	1 - DIS,1	1			1,2,3,4
	1 - DIS,2	1			1,2
	1 - DIS,3	1			3,4
		2			3,4

Tabla 5-14. Visión Física – Recursos & Ítems (II). Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

5.3 Visión Organizacional

Esta segunda parte se basa en todos los conceptos definidos en la Visión Organizacional del Marco.

El Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D está compuesto mayoritariamente por Actividades Decisionales que actúan sobre unos **Recursos e Ítems** concretos, tal y como se ha visto en la Visión Física en la primera parte de la Metodología. No obstante, y previamente a cómo se toman las Decisiones, se analiza en esta segunda parte de la Metodología cuál es su **Estructura Organizacional**, es decir, cómo se “organizan/gestionan” dichos Recursos/Ítems, lo cual condicionará claramente el modo en el que se tomen dichas decisiones.

Para la definición de la **Estructura Organizacional** de una RdS/D la Metodología (I) establece únicamente el siguiente paso:

1. Definir los Centros Organizacionales (CO) existentes en cada Nivel Organizacional.

Para ello, se define una notación gráfica y otra tabular para cada uno de los aspectos a modelar.

5.3.1 Definición de los Centros Organizacionales

En cuanto a la **notación gráfica**, en la Figura 5-9 se presentan los aspectos a modelar y la notación empleada para la definición de la Visión Organizacional – Centros Organizacionales (COs).



VISION ORGANIZACIONAL – CENTROS ORGANIZACIONALES	
Niveles Organizacionales	<p>Se utilizará una rejilla tridimensional formada por 3 ejes. En el eje X e Y se representarán las Etapas y Nodos respectivamente (incluyendo además las ATs realizadas en cada Nodo) y en el eje Z los Niveles Organizacionales o de Gestión, distinguiendo entre el Nivel Táctico y el Operativo. En cada Nivel Organizacional existirán más o menos Centros Organizacionales dependiendo de la Estructura Organizacional de la RdS/D. No se representarán las Alternativas de las distintas ATs.</p> 
Centros Organizacionales	<p>Se representarán mediante distintos colores, de manera que cada uno de ellos será “propietario/responsable” de una o más ATs de los distintos Nodos/Arcos. Se numerarán consecutivamente (CO n°) empezando por el Centro Organizacional situado en el vértice superior-izquierdo. Cada Nivel Organizacional tendrá su propia numeración. Por otra parte el Centro Organizacional mínimo corresponderá a una única AT.</p> 

Figura 5-9. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – CO's (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación gráfica anterior aplicada al ejemplo 1 (Figuras 5-10 y 5-11).

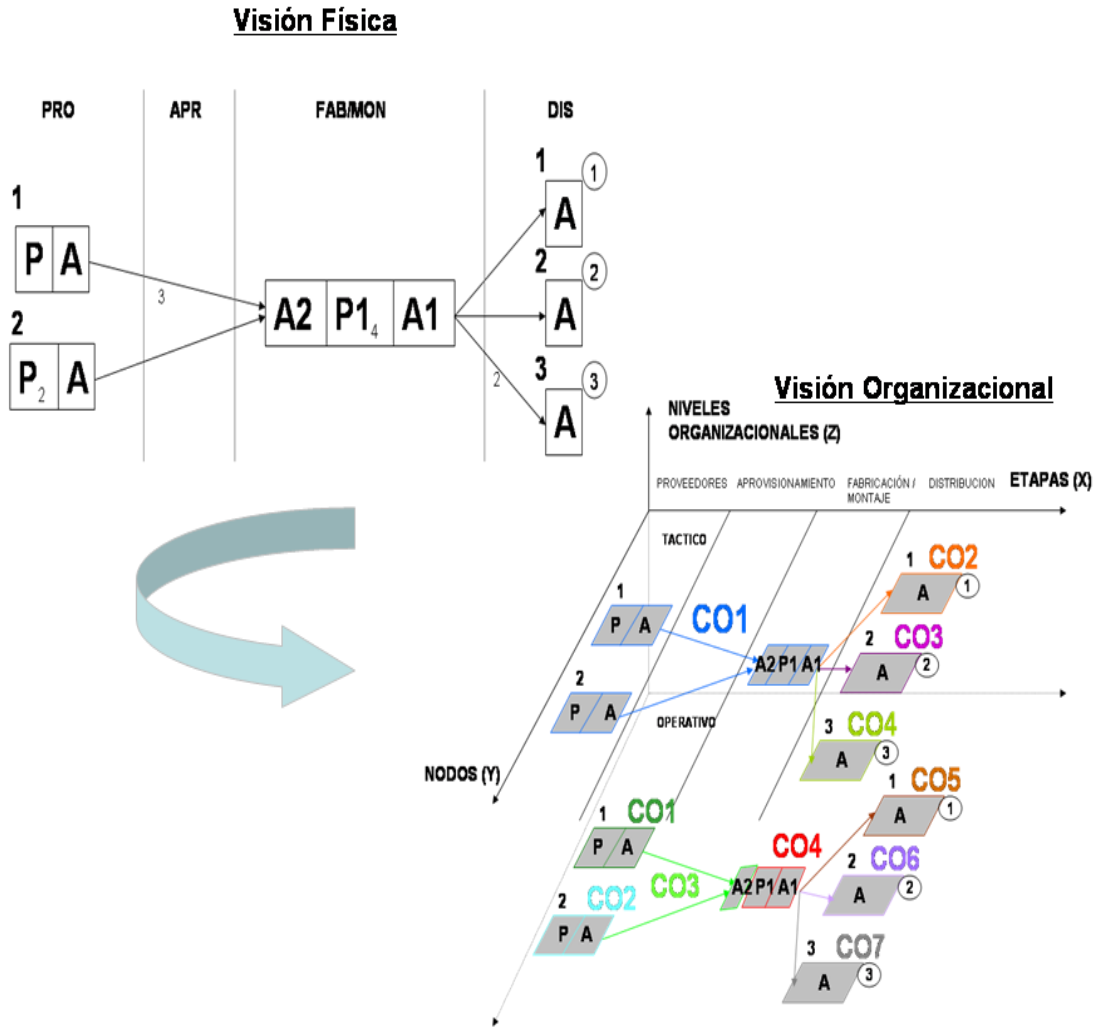


Figura 5-10. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs (I)
 Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

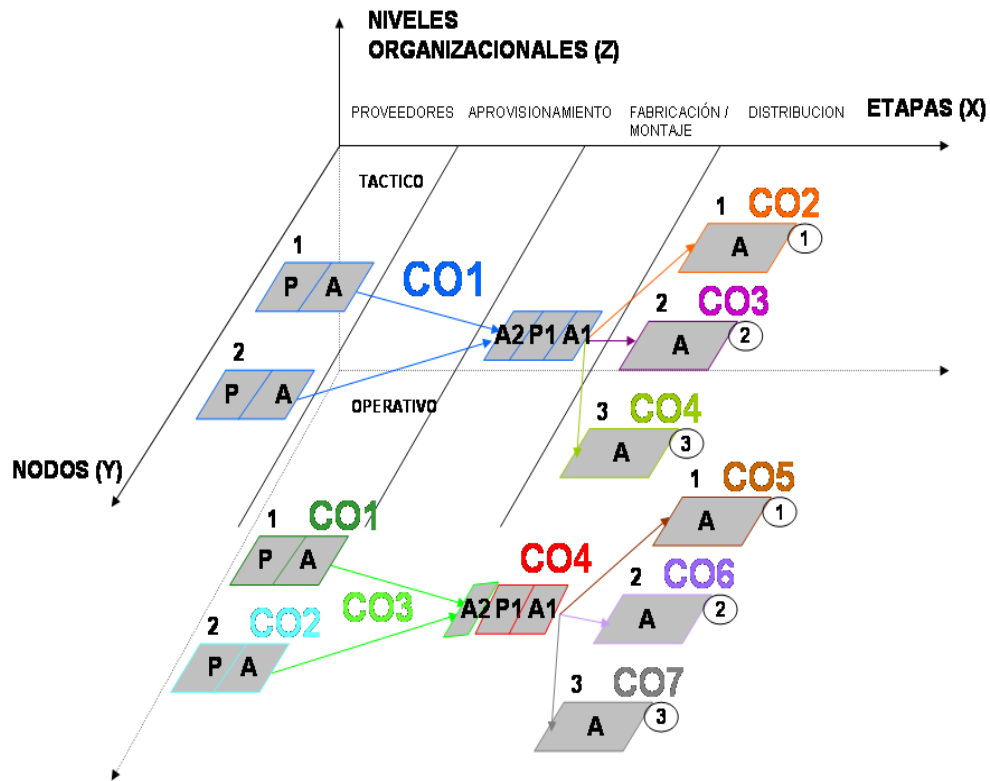


Figura 5-11. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs (II)
 Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

Se define a continuación una **notación tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Organizacional – COs.

Para ello se considera la Tabla 5-15, la cual se ha denominado “Visión Organizacional – Centros Organizacionales”, para la definición de cada uno de los Centros Organizacionales (COs) existentes en cada uno de los dos Niveles Organizacionales.

Dicha Tabla 5-15 está formada por los siguientes campos:

- Etapa o Sub-Etapa (de la RdS/D)
- AT y en su caso Etapa (Intra-Nodo) a la que pertenece.
- Centros Organizacionales existentes en cada uno de los Niveles Organizacionales considerados⁸, es decir, Táctico y Operativo.

⁸ No obstante a efectos prácticos, se podrían considerar dos Tablas, cada una de ellas para representar los Centros Organizacionales correspondientes a cada Nivel Organizacional.

- Para cada Centro Organizacional habrá que indicar en las diferentes casillas de qué AT es responsable (de su ejecución/control), sabiendo que dicha responsabilidad puede afectar a varios Nodos/Arcos.

VISION ORGANIZACIONAL – CENTROS ORGANIZACIONALES							
RECURSOS		Nivel Organizacional TACTICO (NOT)			Nivel Organizacional OPERATIVO (NOO)		
Etapas/ Sub-Etapas (RdS/D)	AT / Etapas	CO1	...	...	CO1	...	...
PRO / PRO^m	A / e	Nodos					
	P / e-1	Nodos					
	A / e-1	Nodos					
	P / 1	Nodos					
	A / 1	Nodos					
	T	Arcos					
APR/ APR^m	A	Nodos					
	T	Arcos					
FAB/MON	A / e	Nodos					
	P / e-1	Nodos					
	A / e-1	Nodos					
	P / 1	Nodos					
	A / 1	Nodos					
	T	Arcos					
DIS/ DIS^m	A	Nodos					
	T	Arcos					

Tabla 5-15. Notación tabular para el Modelado de la Visión Organizacional – COs
(elaboración propia)

A continuación (Tablas 5-16 y 5-17) se expresa la notación tabular aplicada al ejemplo 1.

VISION ORGANIZACIONAL – CENTROS ORGANIZACIONALES EN NIVEL TACTICO					
RECURSOS		Nivel Organizacional TACTICO (NOT)			
Etapas (RdS/D)	AT / Etapas	CO1	CO2	CO3	CO4
PRO	A	1,2			
	P	1,2			
	T	1-FAB,1 ; 2-FAB,1			
FAB/ MON	A / 2	1			
	P / 1	1			
	A / 1	1			
	T		1-DIS,1	1-DIS,2	1-DIS,3
DIS	A		1	2	3

Tabla 5-16. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs Nivel Táctico
Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISION ORGANIZACIONAL – CENTROS ORGANIZACIONALES EN NIVEL OPERATIVO								
RECURSOS		Nivel Organizacional OPERATIVO (NOO)						
Etapas (RdS/D)	Actividades / Etapas	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6	CO7
PRO	A	1	2					
	P	1	2					
	T			1-FAB,1 2-FAB,1				
FAB/ MON	A / 2			1				
	P / 1				1			
	A / 1				1			
	T					1-DIS,1	1-DIS,2	1-DIS,3
DIS	A					1	2	3

Tabla 5-17. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Organizacional – COs Nivel Operativo
Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

5.4 Sub-Visión Macro-Decisional

Una vez identificada la RdS/D (Visión Física) y su Estructura Organizacional (Visión Organizacional), se está en condiciones de poder identificar cuál es la Estructura Decisional a Nivel Macro, lo cual permitirá identificar/modelar las Actividades Decisionales que forman parte del **Proceso de Planificación Colaborativa**.

El análisis metodológico de dicha **Estructura Decisional** permitirá conocer básicamente cuáles son las Actividades Decisionales de las cuáles se compone el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D, así como su orden de ejecución. Todo lo anterior se basará en la Sub-Visión Macro-decisional descrita en el Marco.

La Metodología establece 3 pasos:

1. Definir los **Centros de Decisión** (a partir de los Centros Organizacionales definidos en la Estructura Organizacional de la RdS/D).
2. Caracterizar las **Relaciones de Interdependencia** entre los distintos Centros de Decisión definidos.
3. Identificar las distintas **Actividades Decisionales** que componen el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D, así como su **orden de ejecución**⁹.

Se define a continuación una **notación gráfica** y otra **tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la Sub-Visión Macro-Decisional, denominada a partir de ahora Visión Decisional / M.

⁹ Reseñar nuevamente que en el capítulo anterior se argumentó que por el tipo específico de Proceso (Planificación Colaborativa) y por el objetivo último de esta Tesis, que es el Modelado Analítico del Proceso, se consideraría únicamente la Visión Decisional, en vez de la Visión Funcional, normalmente utilizada para el Modelado de Procesos en general, y en la que sí se incluirían otro tipo de Actividades.

5.4.1 Definición de los Centros de Decisión

En cuanto a la **notación gráfica**, en la

Figura 5-12 se presentan los aspectos a modelar y la notación empleada para la definición de los Visión Decisional / M – CDs.

VISION DECISIONAL / M – CDs	
Niveles Decisionales	Se utilizará la rejilla tridimensional utilizada en el caso de la Visión Organizacional, sustituyendo en este caso el eje Z, en el que se definirán los Niveles Decisionales. En cada Nivel Decisional existirán más o menos Centros de Decisión dependiendo de la Estructura Decisional de la RdS/D.
Centros de Decisión	Al igual que con los Centros Organizacionales, se representarán mediante distintos colores , de manera que cada uno de ellos será “propietario” de uno o más COs. De manera también análoga, se numerarán consecutivamente (CDnº) empezando por el Centro de Decisión situado en el vértice superior-izquierdo. Cada Nivel Decisional tendrá su propia numeración.

Figura 5-12. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación gráfica anterior aplicada al ejemplo 1 (Figuras 5-13 y 5-14).

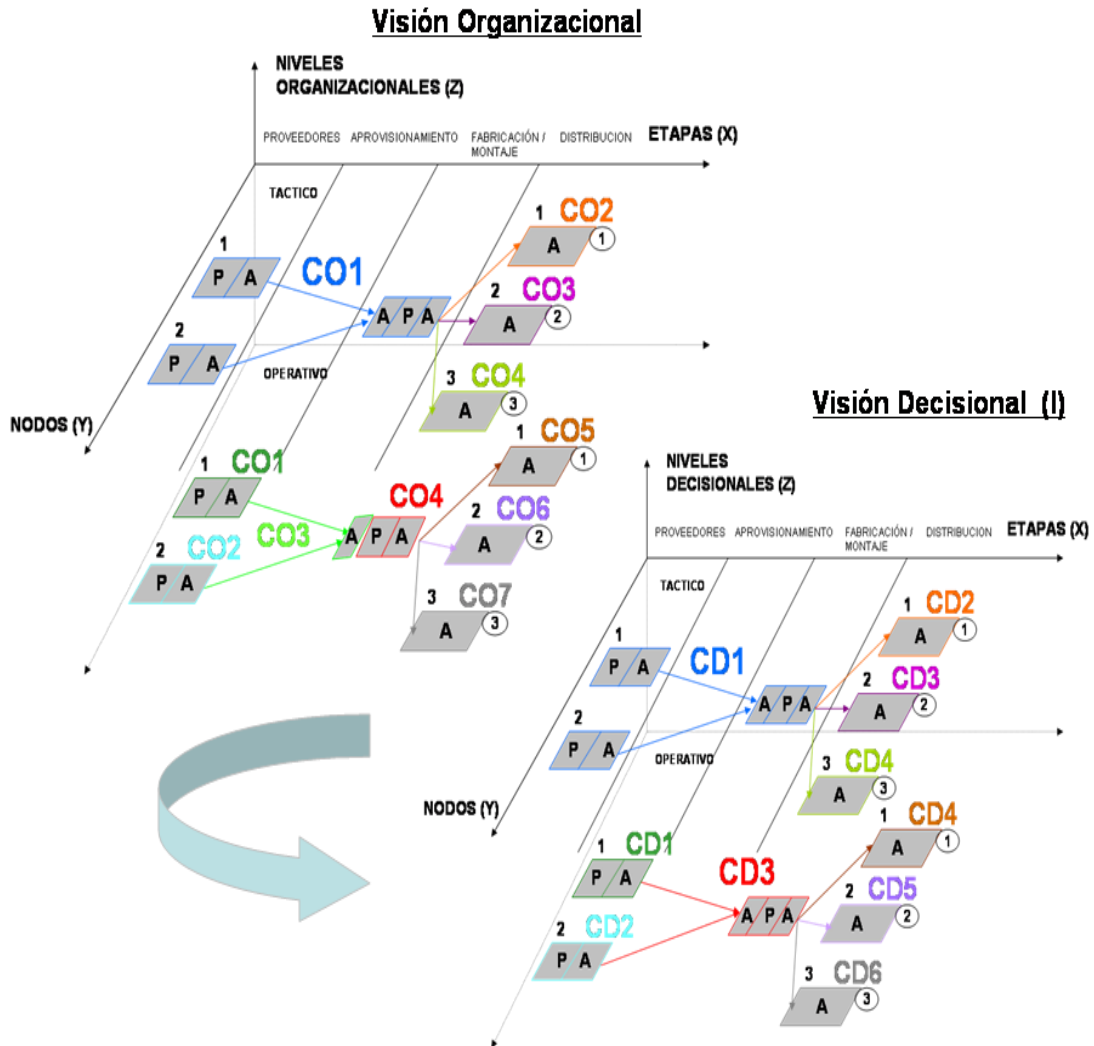


Figura 5-13. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs ¹⁰ (I)

Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

¹⁰ En esta Tabla 5-13 se puede observar como NOO-CO3 y NOO-CO4 ejecutarían/controlarían las decisiones previamente tomadas por un único Centro de Decisión, concretamente el NDO-CD3.

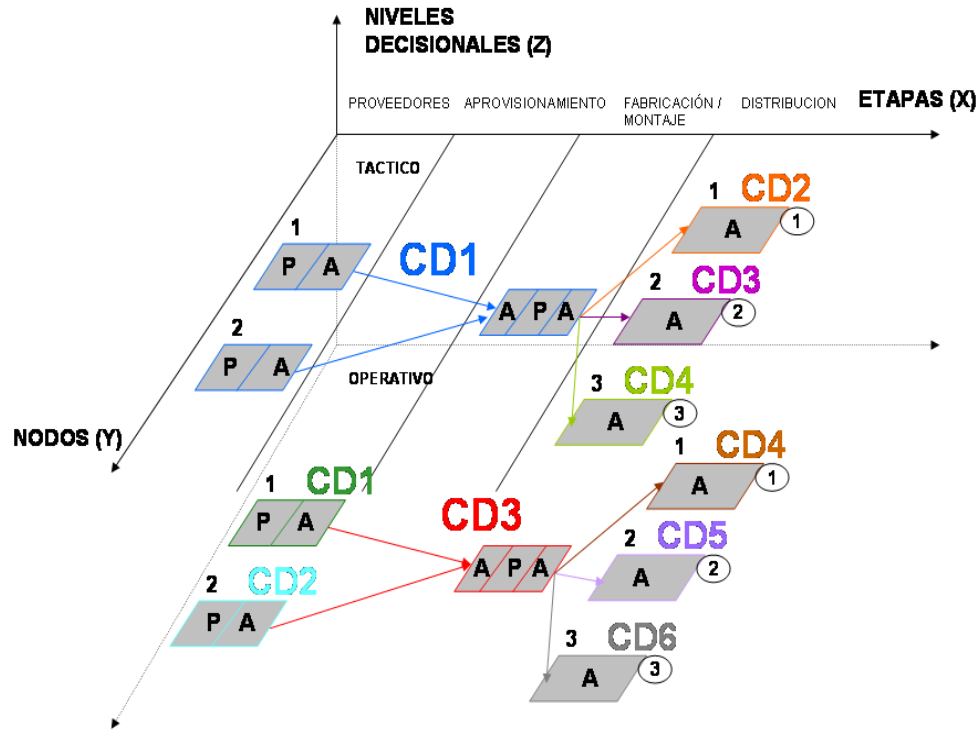


Figura 5-14. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (II)
 Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

Se define a continuación una **notación tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Decisional / M – CDs.

Para ello se define la Tabla 5-18, la cual se ha denominado igualmente “Visión Decisional / M – CDs” utilizada para la definición de cada uno de los Centros de Decisión existentes en cada uno de los dos Niveles Decisionales.

Dicha Tabla 5-18 está formada por los siguientes campos:

- Etapa o Sub-Etapa (de la RdS/D)
- AT y en su caso Etapa (Intra-Nodo) a la que pertenece.
- Centros de Decisión existentes en cada uno de los Niveles Decisionales considerados, es decir, Táctico y Operativo.
 - Para cada Centro Decisinal habrá que indicar en las diferentes casillas de qué AT es responsable, sabiendo que dicha responsabilidad puede afectar a varios Nodos / Arcos.

VISION DECISIONAL/M – CDs		Nivel Decisional TACTICO (NDT)			Nivel Decisional OPERATIVO (NDO)		
Etapas/ Sub-Etapas (RdS/D)	AT / Etapas	CD1	...	...	CD1	...	...
PRO / PRO^m	A / e	Nodos					
	P / e-1	Nodos					
	A / e-1	Nodos					
	P / 1	Nodos					
	A / 1	Nodos					
	T	Arcos					
APR/ APR^m	A	Nodos					
	T	Arcos					
FAB/MON	A / e	Nodos					
	P / e-1	Nodos					
	A / e-1	Nodos					
	P / 1	Nodos					
	A / 1	Nodos					
	T	Arcos					
DIS/ DIS^m	A	Nodos					
	T	Arcos					

Tabla 5-18. Notación tabular Modelado de la Visión Decisional / M – CDs (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación tabular aplicada al ejemplo 1.

En este caso, la Tabla 5-18 se ha subdividido en dos partes (Tablas 5-19 y 5-20), diferenciando entre los Centros de Decisión pertenecientes al Nivel Decisional Táctico (NDT) y aquellos pertenecientes al Nivel Decisional Operativo (NDO), respectivamente.

VISION DECISIONAL/M – CDs		Nivel Decisional TACTICO (NDT)			
Etapas (RdS/D)	AT / Etapas	CD1	CD2	CD3	CD4
PRO	A	1,2			
	P	1,2			
	T	1-FAB,1 ; 2-FAB ,1			
FAB/ MON	A / 2	1			
	P / 1	1			
	A / 1	1			
	T		1-DIS,1	1-DIS,2	1-DIS,3
DIS	A		1	2	3

Tabla 5-19. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional /M – CDs Nivel Táctico .
Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

VISION DECISIONAL/M – CDs		Nivel Decisional OPERATIVO (NDO)					
Etapas (RdS/D)	AT / Etapas	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CD6
PRO	A	1	2				
	P	1	2				
	T			1-FAB,1 ; 2-FAB,1			
FAB/ MON	A / 2			1			
	P / 1			1			
	A / 1			1			
	T				1-DIS,1	1-DIS,2	1-DIS,3
DIS	A				1	2	3

Tabla 5-20. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional /M – CDs Nivel Operativo .
Aplicación al ejemplo 1 (elaboración propia)

5.4.2 Caracterización de las Relaciones de Interdependencia

En este segundo paso, a partir de la definición de los **Centros de Decisión (CDs)** existentes en cada Nivel Decisional, se establece cuáles son (en su caso) las Relaciones de Interdependencia (RI) entre cada uno de ellos.

Se define a continuación una **notación gráfica** para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Decisional / M – RI entre CDs (Figuras 5-15 y 5-16).

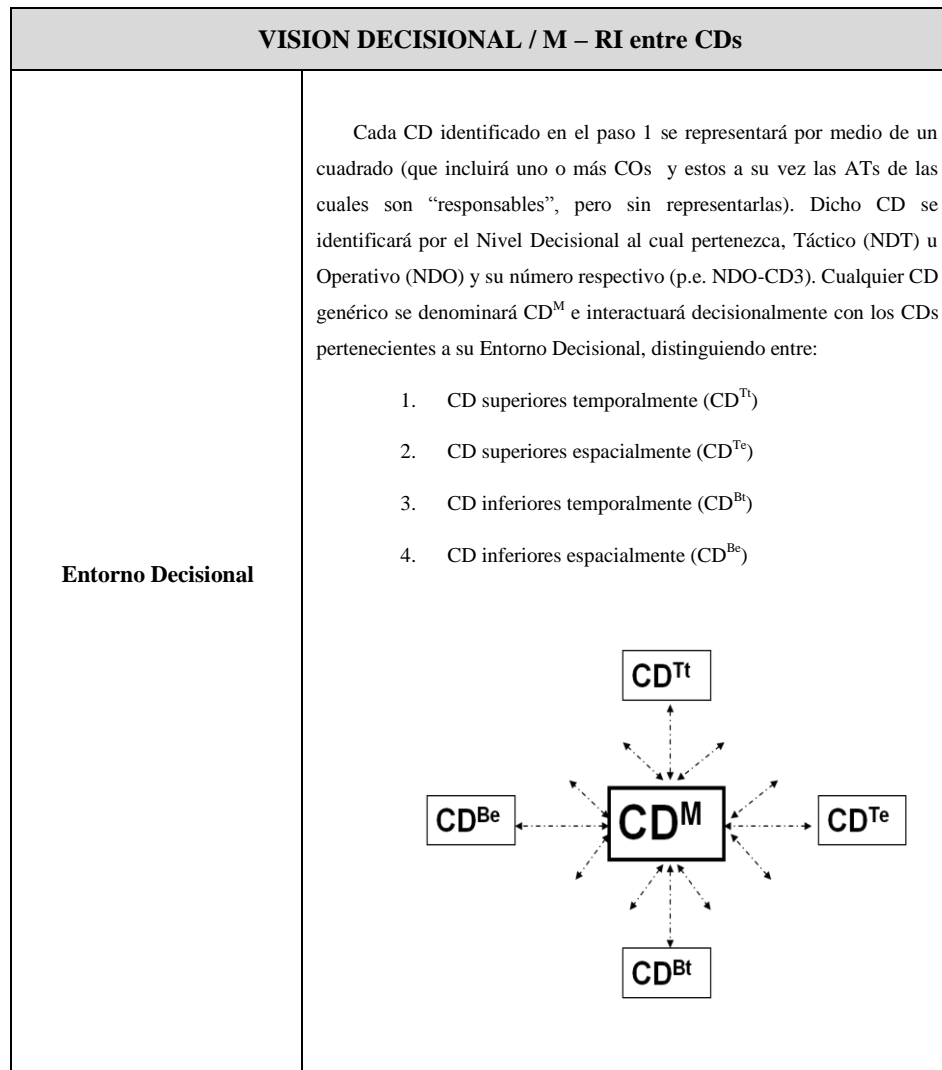


Figura 5-15. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional /M – RI entre CDs (elaboración propia)

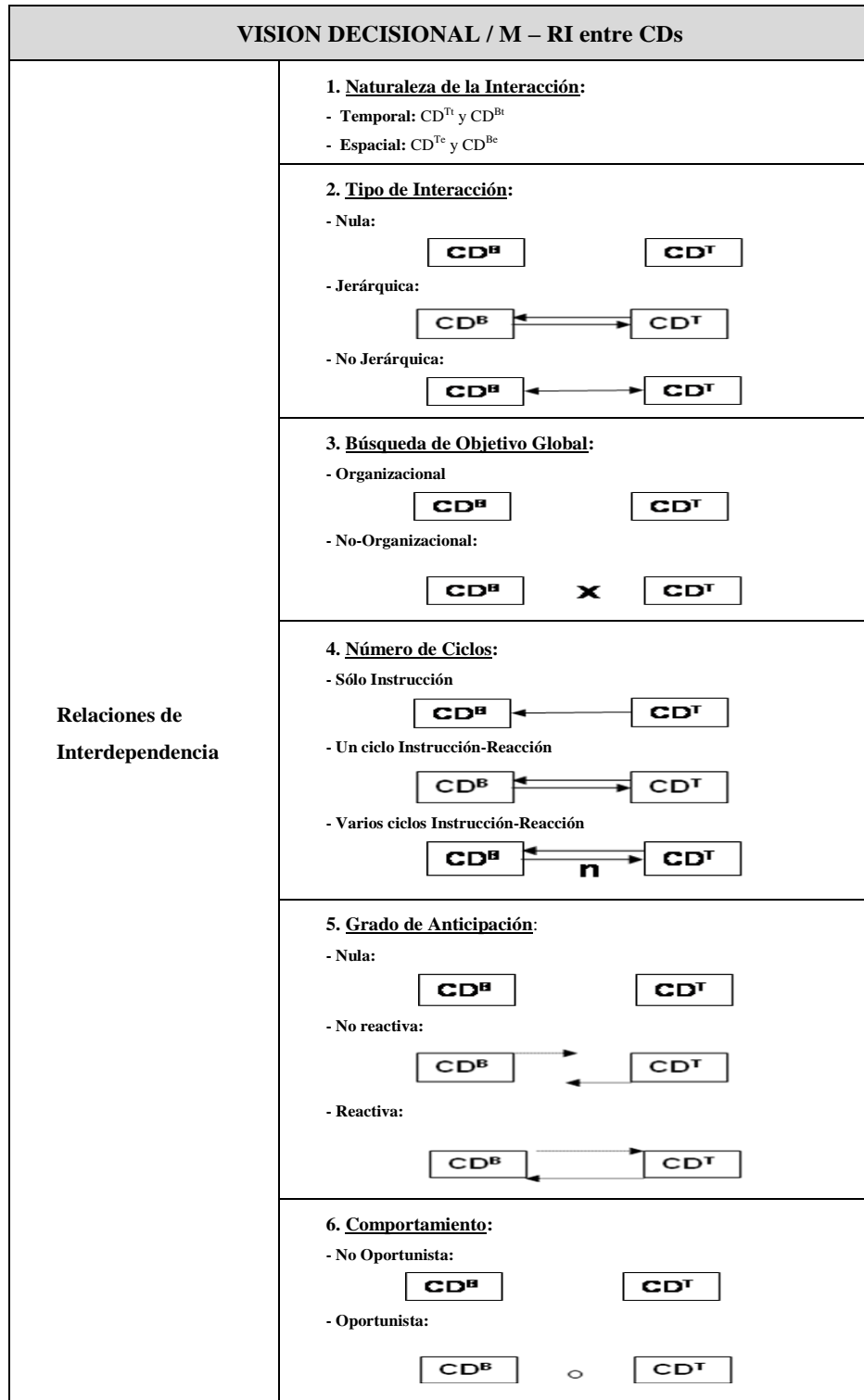


Figura 5-16. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional /M – RI entre CDs (continuación) (elaboración propia)

A continuación se expresa la notación gráfica anterior aplicada un CD^M genérico, en concreto el CD3 identificado en el Nivel Decisional Operativo (NDO-CD3) del ejemplo 1 (Figura 5-17).

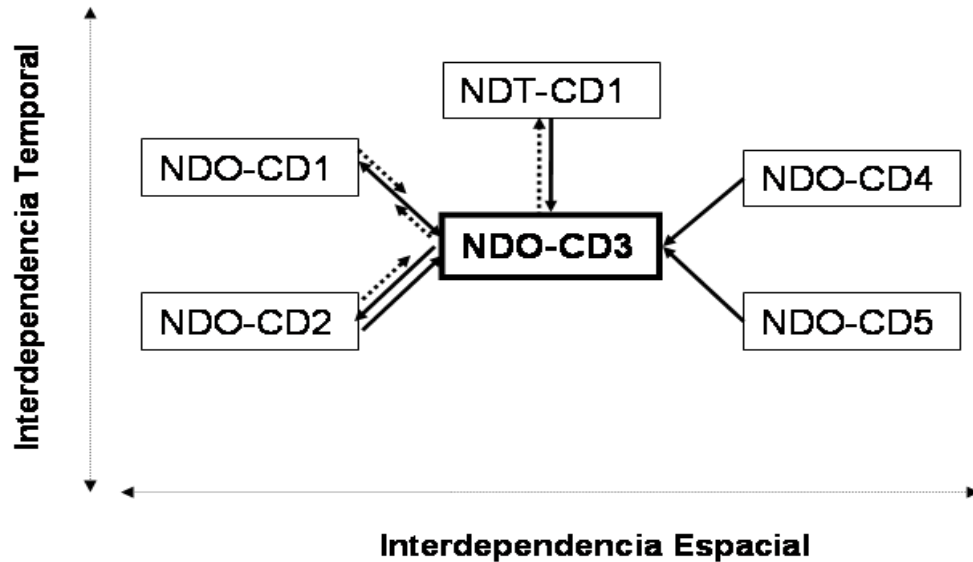


Figura 5-17. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – RI entre CDs
Aplicación al NDO-CD3 del Ejemplo 1 (elaboración propia)

Se define a continuación una **notación tabular** para cada uno de los aspectos a modelar de la Visión Organizacional / M – RI entre CDs.

Previamente, se citan los parámetros / atributos que se definieron en el capítulo 4, en la Sub-Visión Macro-Decisional del Marco, cada uno de ellos representado por unas siglas utilizadas posteriormente en la Tabla 5-21.

Dichos parámetros / atributos se trataban de:

1. **Naturaleza de la Interacción (NI):**
 - a. Temporal (T)
 - b. Espacial (E)
2. **Tipo de Interacción (TI):**
 - a. Nula (N)
 - b. Jerárquica (J)
 - c. No-Jerárquica (NJ)

- 3. Búsqueda de Objetivo Global (OG):**
 - a. Organizacional (O)
 - b. No-Organizacional (NO)
- 4. Número de Ciclos (NC):**
 - a. Sólo Instrucción (IN)
 - b. Un ciclo Instrucción-Reacción (1C)
 - c. Varios ciclos Instrucción-Reacción (VC)
- 5. Grado de Anticipación (GA):**
 - a. Nula (N)
 - b. No-Reactiva (NR)
 - c. Reactiva (R)
- 6. Comportamiento (C):**
 - a. Oportunista (O)
 - b. No-Oportunista (NO)

La Metodología establece la Tabla 5-21, denominada “Visión Decisional / M – RI entre CDs” que deberá rellenarse para cada Centro de Decisión definido previamente en el primer paso. Existirán por tanto tantas Tablas como Centros de Decisión se hayan definido.

En dicha Tabla han de indicarse:

- El CD^M genérico que se desee analizar (que vendrá dado por el Nivel Decisional en el que se definió y un número).
- Los CDs pertenecientes al Entorno Decisional de dicho CD^M genérico.
- Para cada una de las Interacciones Decisionales del CD^M genérico con los CD pertenecientes a su Entorno Decisional señalar que Atributo representa a cada uno de los Parámetros anteriormente enumerados.

VISION DECISIONAL / M RI entre CDs		Parámetros de caracterización de las Relaciones de Interdependencia					
CD analizado	Entorno Decisional	NI	TI	OG	NC	GA	C
CD ^M	CDs ^{Tt}	T/E	N/J/NJ	O/NO	IN/1C/VC	N/NR/R	O/NO
	CDs ^{Te}	T/E	N/J/NJ	O/NO	IN/1C/VC	N/NR/R	O/NO
	CDs ^{Bt}	T/E	N/J/NJ	O/NO	IN/1C/VC	N/NR/R	O/NO
	CDs ^{Be}	T/E	N/J/NJ	O/NO	IN/1C/VC	N/NR/R	O/NO

Tabla 5-21. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – RI entre CDs (elaboración propia)

A continuación, en la Tabla 5-22 se ha aplicado al ejemplo 1 inicial, rellenando la, aunque sólo para un CD^M genérico, concretamente el CD3 definido en el Nivel Decisional Operativo (NDO-CD3), al igual que se hizo con la notación gráfica.

No obstante, si se aplicara la Metodología a dicho ejemplo 1 deberían existir 10 Tablas, cada una de ellas representando el Entorno Decisional de cada uno de los Centros de decisión definidos en ambos Niveles Decisionales, Táctico y Operativo.

VISION DECISIONAL / M RI entre CDs		Parámetros de caracterización de las Relaciones de Interdependencia						
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	BOG	NC	GA	C
NDO-CD3	CDs ^{Tt}	NDT-CD1	T	J ^B	O	IN	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^B	O	IN	N	NO
		NDO-CD5	E	J ^B	O	IN	N	NO
	CDs ^{Be}	NDO-CD1	E	NJ ^T	O	VC	NR-NR	NO
		NDO-CD2	E	J ^T	O	1C	NR	NO

Tabla 5-22. Notación tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ID entre CDs Aplicación al NDO-CD3 del Ejemplo 1 (elaboración propia)

Como se verá posteriormente, aunque la Relación de Interdependencia sea del tipo no jerárquico conviene señalar a uno de los CDs como “superior”, aunque en realidad no actúe como tal y haya una relación, como es en este caso, no-jerárquica. En estos casos, de no existir claramente uno de ellos que actúe como iniciador, se considerará que el CD “superior” será el situado en el Nivel Táctico (Interdependencia Temporal) y en la Etapa de la RdS/D situada más a la derecha (Interdependencia Espacial).

5.4.3 Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso

Una vez analizadas las Relaciones de Interdependencia de cada Centro de Decisión (Entorno Decisional), en este tercer paso de la definición de la Estructura Decisional (a Nivel Macro) se trata de identificar las distintas **Actividades Decisionales que conformarán el Proceso de Planificación Colaborativa y su secuencia de ejecución**, lo cual estará directamente relacionado con los dos pasos anteriores, es decir, qué Centros de Decisión se han definido (paso 1) y cuáles son las Relaciones de Interdependencia entre los mismos (paso 2).

Como ya se apuntó en el la Sub-Visión Macro-Decisional del Marco, las **Actividades Decisionales** darán lugar tanto a Planes Tácticos como Planes Operativos, en los cuáles se tomarán unas Decisiones propias de contextos de planificación, definidas en detalle en el siguiente capítulo.

Por otra parte, cada uno de estos **Planes Tácticos u Operativos (Planes Operacionales ó POP)** poseen una serie de características Temporales que vienen dadas por:

- Período de Replanificación (PR)
- Horizonte “Rodante” (H)
- Período de Planificación (PP)

Con carácter general, la Metodología considera que dos Centros de Decisión definidos en el mismo Nivel Decisional presentan el mismo Período de Replanificación (PR) y Horizonte (H)¹¹.

En la Sub-Visión Macro-Decisional se explicó cómo a través del Período de Replanificación es posible conocer en qué instante de tiempo un determinado un CD^M genérico situado en cualquiera de los Niveles Decisionales debe ejecutar su Actividad Decisional, siempre respetando una secuencia entre las mismas, en función de las Relaciones de Interdependencia previamente analizadas.

¹¹ Aunque en general no tendría por qué serlo. Un Distribuidor podría enviar un Plan de Demanda a un Fabricante con un período de replanificación mensual y este último tenerlo trimestral.

En contextos en los que sólo existe Instrucción por parte del CD^T ó solo existe un ciclo Instrucción-Reacción cada CD ejecuta su Actividad Decisional en una única ocasión en cada Período de Replanificación.

En contextos en los que existe más de un ciclo Instrucción-Reacción (una negociación jerárquica o no jerárquica), cada CD puede ejecutar su Actividad Decisional en más de una ocasión en cada Período de Replanificación.

La secuencia de ejecución de dichas Actividades Decisionales venía dada por:

1. La Actividad Decisional asociada a un CD situado en el Nivel Decisional Táctico siempre se ejecutará antes que cualquier CD situado en el Nivel Decisional Operativo, ya que este último sería inferior¹² desde el punto de vista Temporal.
2. En un Nivel Decisional concreto, la Actividad Decisional asociada a cierto CD se ejecutará antes que todas aquellas asociadas a CDs inferiores¹³ desde el punto de vista Espacial.

La Metodología establece una **notación gráfico-tabular** para modelar este tercer paso, es decir, la identificación de las Actividades Decisionales (AD_k) que conforman el Proceso de Planificación Colaborativa y su secuencia de ejecución en cada Período de Replanificación.

Se describe a continuación la Figura 5-18, denominada “Visión Decisional / M – ADs” en la que se han considerado:

- Niveles Decisionales (NDT y NDO) y Centros de Decisión definidos en cada uno de ellos.
- Horizonte y Período de Replanificación de cada uno de los Niveles Decisionales.
- Instantes de tiempo en el que se ejecutarán las Actividades Decisionales, únicamente a lo largo de un ciclo de Replanificación de los Centros de Decisión definidos (en su caso) en el Nivel Decisional Táctico.
 - En los distintos instantes de tiempo considerados en dicho ciclo, habrá instantes en los que se ejecuten todas las Actividades Decisionales y otros en los que sólo se ejecuten las Actividades Decisionales de los Centros de Decisión definidos en el

¹² Aunque este caso admitiría hablar de “jerárquicamente inferior” y no simplemente “inferior” por la jerarquía más o menos evidente cuando se habla de la Interdependencia Temporal, en este caso entre el Nivel Decisional Táctico y el Operativo. Lo anterior ya no es “extrapolable” para el caso de la Interdependencia Espacial.

¹³ Este caso sí que admitiría tanto “jerárquicamente inferior” como simplemente “inferior”.

Nivel Decisional Operativo, ya que estos últimos tendrán normalmente un Período de Replanificación menor, y por tanto lo harán con mayor frecuencia.

- En cada instante de tiempo se indica mediante flechas cuál es el orden de ejecución de las distintas Actividades Decisionales que se ejecutan, las cuales vienen representadas como habitualmente se hace para las Actividades Decisionales en cualquier Diagrama de Flujo convencional (en forma de rombo), con un color que las identifica con el Centro de Decisión “propietario” de las mismas.
- Las flechas tendrán siempre un único sentido, desde la Actividad Decisional asociada al CD superior hacia la Actividad Decisional asociada al CD inferior. Esto será independiente de si existe Reacción por parte del CD inferior o existe más de un ciclo Instrucción-Reacción.
- En el vértice superior izquierdo de cada una de las Actividades Decisionales se ha indicado un número entre paréntesis expresando cuándo pueden ser ejecutadas por los Centros de Decisión correspondientes.

VISION DECISIONAL/M - ADs		Tiempo			
Nivel Decisional	Centro de Decisión	$T_0 = 0$	...	...	$T = PR (NDT)$
NDT PR =	CD1				
	...				
	...				
	...				
NDO PR =	CD1				
	...				
	...				
	...				

Figura 5-18. Notación gráfico-tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs (elaboración propia)

A continuación, en la Figura 5-19, se ha aplicado la notación gráfico-tabular anterior para el modelado de la Visión Decisional / M– ADs del ejemplo 1.

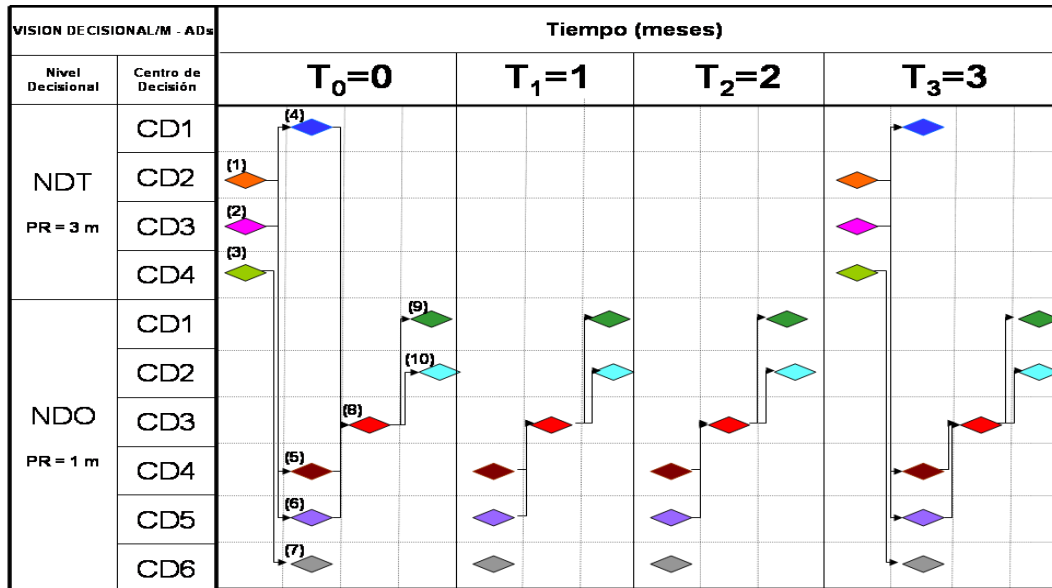


Figura 5-19. Notación gráfico-tabular para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs
Aplicación al Ejemplo 1 (I) (elaboración propia)

Además, para mayor claridad, se ha ampliado una parte de dicha Figura 5-19, concretamente para $T_0=0$, instante de tiempo inicial en el que coincide la “replanificación” de todas las Actividades Decisionales (Planes Operacionales), tanto las definidas en el Nivel Decisional Táctico como Operativo, de manera que es posible “visualizar” mejor cuál sería su Orden de Ejecución (Figura 5-20 y Figura 5-21).

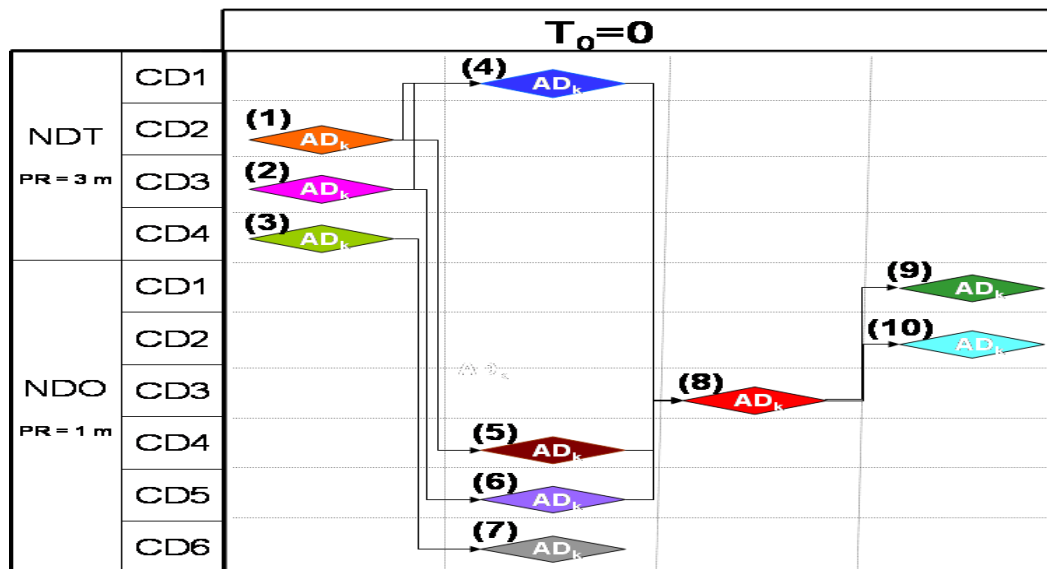


Figura 5-20. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs
Aplicación al Ejemplo 1 (II) (elaboración propia)

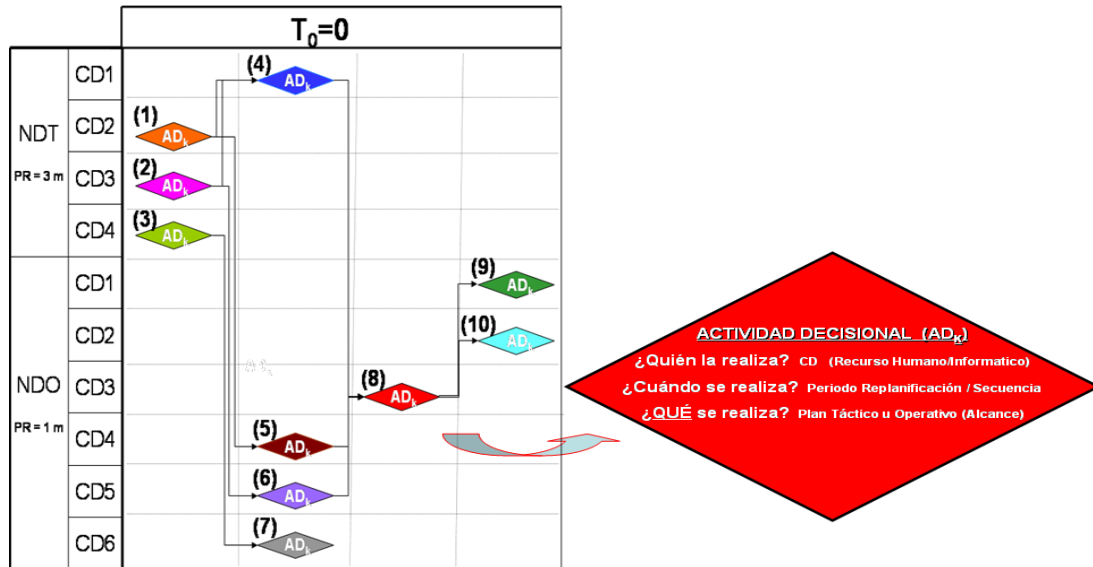


Figura 5-21. Notación gráfica para el Modelado de la Visión Decisional / M – ADs
Aplicación al Ejemplo 1 (III) (elaboración propia)

5.5 Visión Informativa

Una vez obtenida la secuencia de ejecución de cada una de las Actividades del Proceso, se analiza finalmente cuál sería el **Flujo Informativo entre las distintas Actividades Decisionales** integrantes del Proceso de Planificación Colaborativa, a partir del análisis a Nivel Macro (conceptual) de la Información por Interdependencias (tanto de Entrada como de Salida) de cada una de las mismas.

Este análisis a Nivel Macro del Flujo Informativo (conjuntamente con todos los aspectos tratados en la Sub-Visión Micro-Decisional del Marco) será una de las entradas principales de la Metodología (II) descrita en el siguiente capítulo, en el cual se pretende el Modelado Analítico (basado en Programación Matemática) de cada una de las Actividades Decisionales que componen el Proceso de Planificación Colaborativa. Como se verá posteriormente, dicha Información por Interdependencias será una parte importante en la formulación a Nivel Micro de los Modelos Analíticos individuales.

La Metodología establece una forma gráfica para su modelado. Para ello se considera cada una de las Actividades Decisionales identificadas en el Modelado del Proceso, según su orden de ejecución. Para cada una de ellas se consideran 2 gráficos, uno denominado “Información de Entrada-Macro” (Figura 5-22) y otro denominado “Información de Salida-Macro” (Figura 5-23).

5.5.1 Información de Entrada - Macro

Se ha considerado la Actividad Decisional en cuestión en el centro, indicando en el interior de la misma a qué Nivel Decisional pertenece y el Centro de Decisión “propietario” de la misma (NDT/O-CDn°).

En el lateral superior-izquierdo y entre paréntesis se expresará un número indicando el orden de ejecución de dicha Actividad Decisional en lo que respecta al Proceso.

En torno a la Actividad Decisional en cuestión, se sitúan todas las Actividades Decisionales de las cuáles son “propietarios” los Centros de Decisión pertenecientes al Entorno Decisional. De manera similar a cómo se hizo para identificar las relaciones entre un CD y su Entorno Decisional, la posición será la siguiente:

- arriba: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs superiores temporalmente.
 - La Información de Entrada será debida a Instrucciones (IN)
- derecha: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs superiores espacialmente.
 - La Información de Entrada será debida a Instrucciones
- abajo: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs inferiores temporalmente.
 - La Información de Entrada será debida a, en su caso, posibles Anticipaciones.
- izquierda: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs inferiores espacialmente.
 - La Información de Entrada será debida a, en su caso, posibles Anticipaciones.

Hay que reseñar, que toda la Información de Entrada anterior sólo se considera a un Nivel Macro, puesto que el objetivo de la Metodología (I) expuesta en el presente capítulo es obtener un Modelo (conceptual) del Proceso de Planificación Colaborativa.

Es por ello por lo que en el en la Visión Informacional para el modelado (conceptual) del Proceso sólo se reflejan las “interacciones” con el Entorno Decisional a nivel de Instrucción (IN), Reacción (R) ó FA (Anticipación), sin detallar qué contiene por ejemplo específicamente una IN (qué tipos de Variables globales, finales o no finales, con Información Global adicional, etc.).

En la Figura 5-22 se muestra la Información de Entrada - Macro para una de las Actividades Decisionales identificadas en el Proceso.

Información de Entrada - Macro

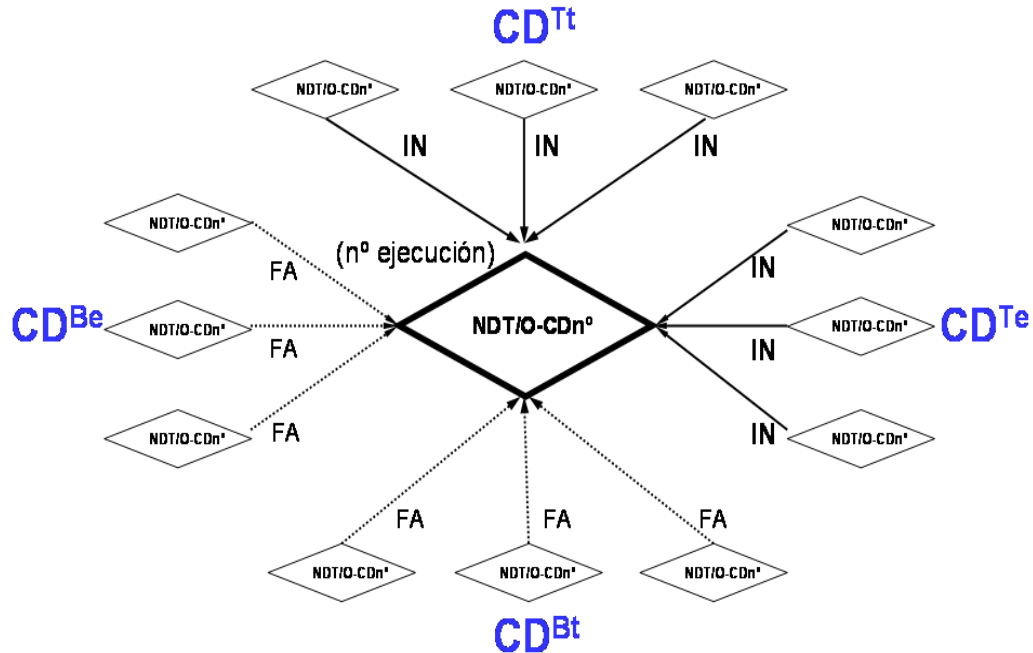


Figura 5-22. Información de Entrada a Nivel Macro de una Actividad Decisional (elaboración propia)

5.5.2 Información de Salida - Macro

De manera análoga a como se ha hecho para la Información de Entrada, se ha considerado la Actividad Decisional analizada en el centro, indicando en el interior de la misma a qué Nivel Decisional pertenece y el Centro de Decisión “propietario” de la misma (NDT/O-CDn°).

En el lateral exterior-izquierdo y entre paréntesis se expresa un número indicando el orden de ejecución de dicha Actividad Decisional en lo que respecta al Proceso.

En torno a la Actividad Decisional en cuestión, se colocarán todas las Actividades decisionales de las cuales son “propietarios” los Centros de Decisión pertenecientes al Entorno Decisional.

La posición de las mismas seguirá la misma estructura que la utilizada anteriormente, es decir:

- arriba: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs superiores temporalmente.
 - La Información de Salida será, en su caso, debida a Reacciones (R)
- derecha: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs superiores espacialmente.

- La Información de Salida será, en su caso, debida a Reacciones (R)
- abajo: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs inferiores temporalmente.
 - La Información de Salida será debida a Instrucciones (IN)
- izquierda: aquellas Actividades Decisionales ejecutadas por CDs inferiores espacialmente.
 - La Información de Salida será debida a Instrucciones (IN)

En la Figura 5-23 se muestra la Información de Salida para una de las Actividades Decisionales identificadas en el Proceso.

Información de Salida - Macro

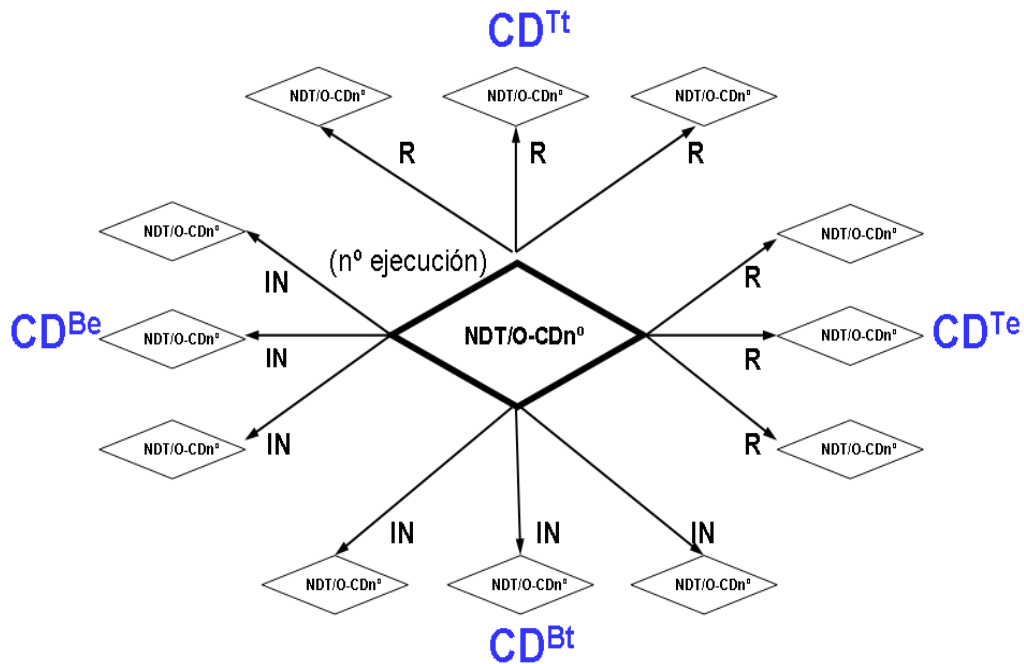


Figura 5-23. Información de Salida a Nivel Macro de una Actividad Decisional
(elaboración propia)

5.6 Conclusiones

En este capítulo se ha desarrollado una Metodología (I) en la que se detallan los **pasos**, así como **tipos de representación (gráficos y tabulares)** para el modelado del Proceso de PC en Rds/D. Por tanto, el objetivo final de la Metodología (I) es la obtención de un **Modelo del Proceso**, entendiendo por éste la

identificación de cada una de las **Actividades Decisionales** (de las cuales serán “propietarios” los Centros de Decisión) que lo conforman, así como su **orden de ejecución** (Pérez y otros, 2012).

Dicha Metodología (I) se basa en el Marco definido en el capítulo anterior, en el cuál se incluyen todos los aspectos necesarios para facilitar la tarea de modelado de dicho Proceso.

Dicha Metodología (I) tiene tres **aportaciones** principales:

En primer lugar, se basa en la definición de las visiones ya definidas en el Marco del capítulo 4, como son la Física, Organizacional y Decisional (Sub-Visión Macro-Decisional), cuya información es soportada mediante la Visión Informacional. Todas ellas están inter-relacionadas, pues las diferentes Actividades Decisionales finalmente identificadas en el Proceso (Sub-Visión Macro-Decisional), actúan sobre unos recursos (Visión Física) estructurados organizacionalmente (Visión Organizacional). Por tanto, la inclusión de las diferentes Visiones para el modelado del Proceso (orquestrado mediante la Visión Infomacional) resulta claramente enriquecedor, ya que se logra tener una **Visión Integrada tanto del Proceso** como de cada una de las Actividades Decisionales que lo conforman, lo que redundará en la obtención de **Modelos mucho más realistas** (Pérez y otros, 2011).

En segundo lugar, se considera una aportación la **inclusión explícita y simultánea de dos tipos de relaciones de interdependencia** entre los diferentes Centros de Decisión, tanto la **Temporal** (entre CDs pertenecientes a distintos Niveles Decisionales) como la **Espacial** (entre CDs pertenecientes al mismo Nivel Decisional) (Lario y otros, 2007).

En **tercer lugar**, el modelado integrado del proceso, y más específicamente el análisis a Nivel Macro de la información intercambiada (Entrada y Salida) entre cada una de las Actividades Decisionales (Centros de Decisión) identificadas **servirá de soporte para el Modelado Analítico** de las mismas y por ende, **del Proceso**.

Muy en conexión con la tercera aportación, en el capítulo siguiente (capítulo 6), se propone una segunda parte de la Metodología, denominada **Metodología (II)**, que a partir del Modelo del Proceso obtenido mediante la Metodología (I) (fundamentalmente en lo que se refiere a las Relaciones de Interdependencia y por tanto a la Información por Interdependencias) y los conceptos desarrollados en el Marco (especialmente en la Sub-Visión Micro-Decisional) sirva de soporte para el **Modelado Analítico** (basado en Programación Matemática PLEM) del Proceso de Planificación Colaborativa.

Por último señalar que dicha Metodología (I) se ha **aplicado a un caso real (capítulo 8)**, en una **RdS/D concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos** en la que se ha descrito su proceso de **Planificación de Operaciones (capítulo 7)**.

5.7 Bibliografía

Lario, F.C.; Pérez, D.; Alemany, M.M.; Alarcón, F. (2007). “Metodología para la determinación del Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)”. I International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Madrid.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M. M. (2011). “Framework for the modelling of the decisional view of the supply chains colaborativa planning process”. Workshop on Decision Systems, London. Research Report: IRIT/RR-2011-13-FR.

Pérez, D.; Lyons, A.; Alemany, M.M.; Lario, F.C. (2012) “The application of a Methodology for modelling Collaborative Planning decisions in the Supply Chain”. International Journal of Computer Integrated Manufacturing” (*enviado y pendiente de aceptación*).

6 . Metodología (II) para el Modelado basado en Programación Matemática y la Resolución/Evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro/Distribución

6.1	Introducción.....	7
6.2	Modelo Analítico de Referencia particularizado	9
6.3	Marco & Metodología (I) para el modelado del Proceso	10
6.4	Estructura de un Modelo basado en PLEM a partir del Modelo Analítico de Referencia	12
6.4.1	Parte de Definición (I).....	13
6.4.1.1	Índices	13
6.4.1.1.1	Identificación de los Índices existentes.....	13
6.4.1.1.1.1	Índices Locales	15
6.4.1.1.1.2	Índices por Interdependencia.....	19
6.4.1.1.2	Asignación de un nombre a cada Índice	23
6.4.1.1.3	Definición del Campo de Existencia de un Índice	25
6.4.1.2	Conjuntos.....	26
6.4.1.2.1	Identificación de los Conjuntos existentes.....	26
6.4.1.2.1.1	Conjuntos Locales	26
6.4.1.2.1.2	Conjuntos por Interdependencia	28
6.4.1.2.2	Asignación de un nombre distinto a cada Conjunto.....	30
6.4.1.2.3	Definición del Campo de Existencia de cada Conjunto	33
6.4.2	Parte de Definición (II)	34
6.4.2.1	Variables de Decisión.....	34
6.4.2.1.1	Variables de Decisión Locales.....	34
6.4.2.1.2	Variables de Decisión por Interdependencias.....	41
6.4.2.2	Parámetros	42
6.4.2.2.1	Parámetros Locales.....	43
6.4.2.2.2	Parámetros por Interdependencia	51
6.4.3	Parte de Modelado	55
6.4.3.1	Criterio.....	55
6.4.3.1.1	Criterio Local.....	57
6.4.3.1.2	Criterio por Interdependencias	60
6.4.3.2	Campo de Decisión.....	63
6.4.3.2.1	Campo de Decisión Local.....	63
6.4.3.2.2	Campo de Decisión por Interdependencias.....	65

6.4.3.2.3 Campo de Decisión: restricciones lógicas & técnicas..... 70

6.5 Metodología (II) para el Modelado Determinista basado en Programación Matemática y la Resolución/Evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro / Distribución (RdS/D)..... 71

6.5.1 1er Bloque: Modelado determinista basado en PLEM de un Centro de Decisión genérico asociado a cada una de las Actividades Decisionales del Proceso 71

6.5.1.1 Caracterización cualitativa de los diferentes Centros de Decisión..... 72

6.5.1.2 Modelado determinista basado en PLEM de cada uno de los Centros de Decisión .. 75

6.5.1.2.1 Parte de Definición (I)..... 76

6.5.1.2.1.1 Índices 76

6.5.1.2.1.2 Conjuntos..... 78

6.5.1.2.2 Parte de Definición (II)..... 81

6.5.1.2.2.1 Variables de Decisión 81

6.5.1.2.2.2 Parámetros 88

6.5.1.2.3 Parte de Modelado..... 93

6.5.1.2.3.1 Criterio..... 93

6.5.1.2.3.2 Campo de Decisión..... 99

6.5.2 2º Bloque: Modelado PLEM del Proceso y su Resolución para la evaluación del grado de Planificación Colaborativa actual 104

6.5.2.1 Resolución de los Modelos PLEM asociados a las Actividades Decisionales según secuencia del Proceso 105

6.5.2.1.1 Información de Entrada 106

6.5.2.1.1.1 Parámetros Locales..... 106

6.5.2.1.1.2 Parámetros por Interdependencias 108

6.5.2.1.2 Evaluación de Resultados 109

6.5.2.1.3 Información de Salida..... 114

6.5.2.2 Evaluación de resultados integrada del Proceso de Planificación Colaborativa 117

6.6 Conclusiones 120

6.7 Bibliografía 123

Índice de Figuras

Figura 6-1. Metodología (II) para el Modelado Analítico del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (elaboración propia).....	8
Figura 6-2. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico particularizado (elaboración propia)	9
Figura 6-3. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico particularizado (II) (elaboración propia).....	10
Figura 6-4. Estructura de un Modelo basado en Programación Matemática y su relación con el Modelo Analítico de referencia (elaboración propia).....	12
Figura 6-5. Detalle de la Información de Entrada Ie^M de un Modelo Decisional genérico Z^M . (elaboración propia).....	43
Figura 6-6. Parámetros por Interdependencia de un CD^M genérico (elaboración propia).....	51
Figura 6-7. Interrelación entre Parte de Definición y de Modelado (elaboración propia)	56
Figura 6-8. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (I): Índices (elaboración propia).....	78
Figura 6-9. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (I): Conjuntos (elaboración propia).....	81
Figura 6-10. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (II): Variables de Decisión (elaboración propia).....	87
Figura 6-11. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (II): Parámetros (elaboración propia).....	93
Figura 6-12. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Modelado: Criterio (elaboración propia).....	98
Figura 6-13. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Modelado: Campo de Decisión (elaboración propia).....	103
Figura 6-14. Descripción de las Actividades Decisionales del Proceso (1...n) y orden de ejecución (elaboración propia).....	106
Figura 6-15. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de un CD^M genérico asociado a la Actividad Decisional n del Proceso (elaboración propia).....	107
Figura 6-16. Información de Entrada por Interdependencias/M de una Actividad Decisional n (elaboración propia).....	108
Figura 6-17. Información de Salida por Interdependencias/M de una Actividad Decisional (elaboración propia).....	116

Índice de Tablas

Tabla 6-1. Definición Tabular de las Variables Locales ligadas a las AT (elaboración propia).....	38
Tabla 6-2. Definición Tabular de las Variables Locales ligadas a las AI (elaboración propia).....	40
Tabla 6-3. Definición Tabular de los Parámetros Locales ligados a las AT (elaboración propia).....	48
Tabla 6-4. Definición Tabular de los Parámetros Locales ligados a las AI (elaboración propia).....	50
Tabla 6-5 Caracterización cualitativa de los CDs: Información de Entrada por Interdependencias relativa a Instrucciones (elaboración propia).....	74
Tabla 6-6. Información de Entrada por Interdependencias debida a IN de un CD ^M genérico asociado a una Actividad Decisional (elaboración propia)	109
Tabla 6-7. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn ^o : Valor del Coste Local (elaboración propia)	111
Tabla 6-8. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn ^o : Valor del Coste por Interdependencias con CD ^T (elaboración propia).....	112
Tabla 6-9. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn ^o : Valor del Coste por Interdependencias con CD ^B (elaboración propia).....	113
Tabla 6-10. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn ^o : Valor del Criterio (elaboración propia)	114
Tabla 6-11. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn ^o : Esfuerzo computacional (elaboración propia).....	114
Tabla 6-12. Información de Salida debida a IN de un CD ^M genérico asociad a una Actividad Decisional (elaboración propia).....	117

6.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrolla una segunda parte de la Metodología, ó **Metodología (II)**, que a partir del Marco descrito en el capítulo 4 (especialmente la Sub-Visión Micro-Decisional) y el Modelo integrado del Proceso obtenido en el capítulo 5, proporcione al usuario de la misma unas directrices/pasos para el Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales (de las cuales son “propietarios” los Centros de Decisión) y por ende del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (Figura 6-1).

Por otra parte, debido a la necesidad de acotar los contenidos de la presente Tesis, se señalan a continuación las premisas que se han considerado respecto a la citada Metodología (II):

- El/los Modelo/s Analítico/s que se desarrollan para modelar analíticamente el Proceso de Planificación Colaborativa están basados en **Programación Matemática**, y más concretamente **Programación Lineal Entera Mixta (PLEM)**.
- Los Modelos son **Deterministas** y por tanto la Incertidumbre no se considerará de manera explícita en dichos Modelos.¹ Es importante hacer esta diferenciación desde el principio en la Metodología, pues los Modelos de Incertidumbre, aunque si bien guardan una amplia estructura común con los Deterministas, poseen una parte singular que los diferencia claramente de los primeros.
- Se considera un contexto “**Organizacional**”², es decir, el proceso de decisión conjunto (en este caso “Colaborativo”) está basado en alcanzar un **objetivo global común** entre los diferentes Centros de Decisión a través de **mecanismos de coordinación**. Por tanto, **no existirá Oportunismo**.

¹ Aunque sí de manera implícita, considerando por ejemplo que se tomen decisiones acerca de Stocks de Seguridad.

² Aunque sea redundante señalar que se trata de contextos Organizacionales se ha creído conveniente destacarlo en un punto aparte, ya que al hablar de “Planificación Colaborativa”, se entiende que se trata de dicho contexto “Organizacional”, tal y como se definió el término “colaboración” en el Marco del capítulo 4.

- Se considera un contexto de Toma de Decisiones “**Jerárquico**”, en los que además, **sólo existirá como máximo un ciclo Intrucción-Reacción**. Dicha Jerarquía será doble, tanto desde el punto de vista **temporal** como **espacial**.

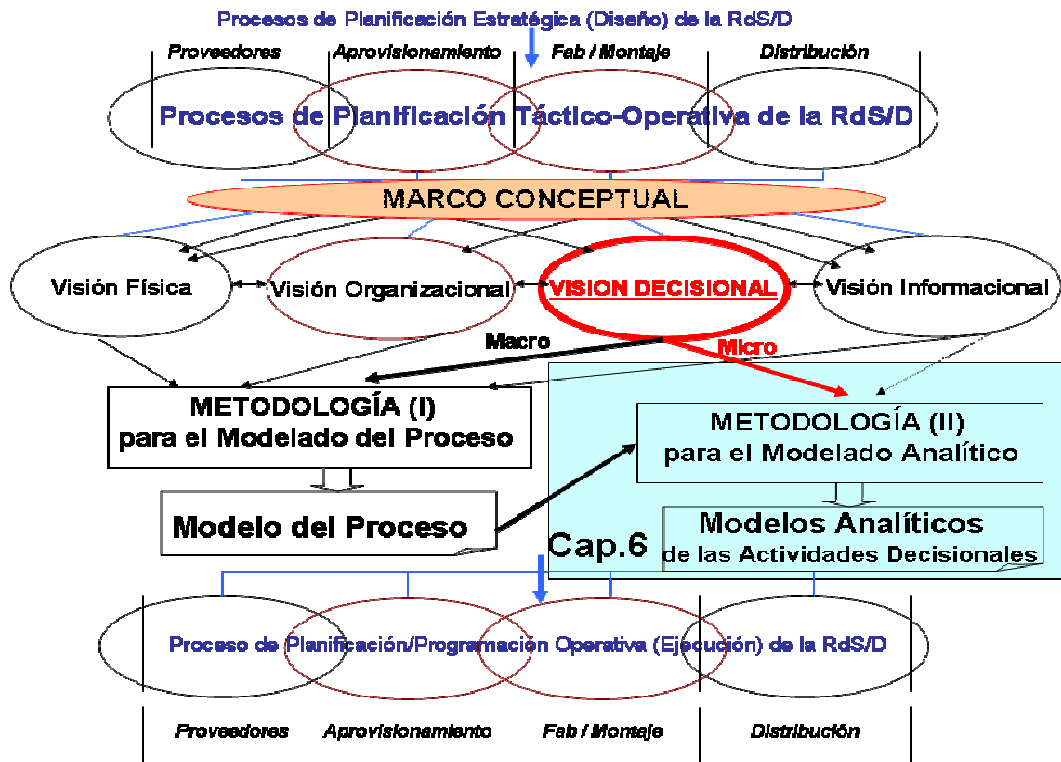


Figura 6-1. Metodología (II) para el Modelado Analítico del Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D (elaboración propia)

Así pues, lo que se propone en el presente capítulo es una Metodología (II) para el desarrollo de Modelos Deterministas basados en Programación Matemática para la Planificación Colaborativa de RdS/D en el contexto antes mencionado.

El objetivo final será plantear una Metodología (II) que indique los pasos a seguir para desarrollar dichos Modelos en cada uno de los Centros de Decisión / Actividades Decisionales identificadas en el Modelado del Proceso.

Como puede observarse en la Figura 6-1, dicha Metodología (II) tiene dos entradas principales:

- El Modelo del Proceso obtenido mediante la aplicación de la Metodología (I) (capítulo 5), principalmente en lo que se refiere a las implicaciones desde el punto de vista

decisional/informacional de las Relaciones de Interdependencia (temporales y espaciales) entre los diferentes Centros de Decisión en función de la ubicación concreta de la Actividad Decisional asociada a lo largo del Proceso de Planificación Colaborativa.

- Todos los aspectos/conceptos definidos (fundamentalmente) en la Sub-Visión Micro-Decisional del Marco (capítulo 4) para caracterizar internamente cada Centro de Decisión / Actividad Decisional, tanto desde el punto de vista conceptual como analítico.

A continuación se aborda cuál sería el Modelo Analítico de Referencia para un CD genérico (ya definido en el capítulo 4, pero en este caso particularizado para el contexto anteriormente citado en la introducción.

6.2 Modelo Analítico de Referencia particularizado

Dicho Modelo Analítico de Referencia sería análogo al descrito en el Marco del capítulo 4, aunque en este caso, la diferencia fundamental estriba en que la Actividad Decisional asociada a un Centro de Decisión sólo se ejecutará una única vez en los procesos de decisión conjuntos y por tanto su Modelo (Analítico) Decisional será único. En este contexto ya no tiene sentido el índice k , que era el que definía el Ciclo Instrucción (IN) – Reacción (R) (ó $IN_k - R_k$).

En las Figura 6-2 y Figura 6-3 se expresa de manera gráfica dicho Modelo Analítico de Referencia particularizado, de forma resumida y extendida, respectivamente.

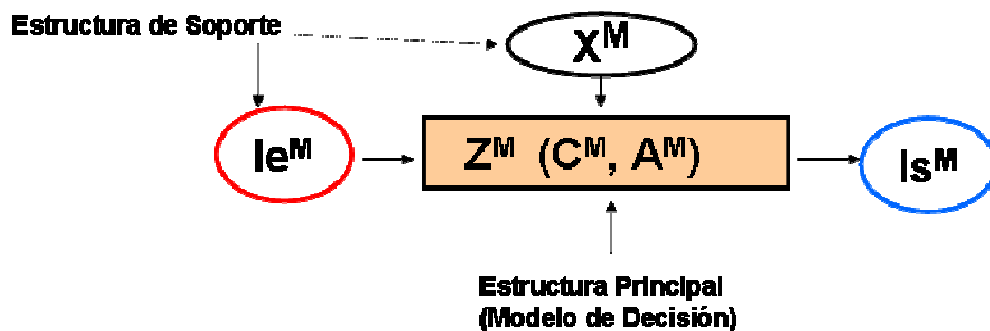


Figura 6-2. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico particularizado
(elaboración propia)

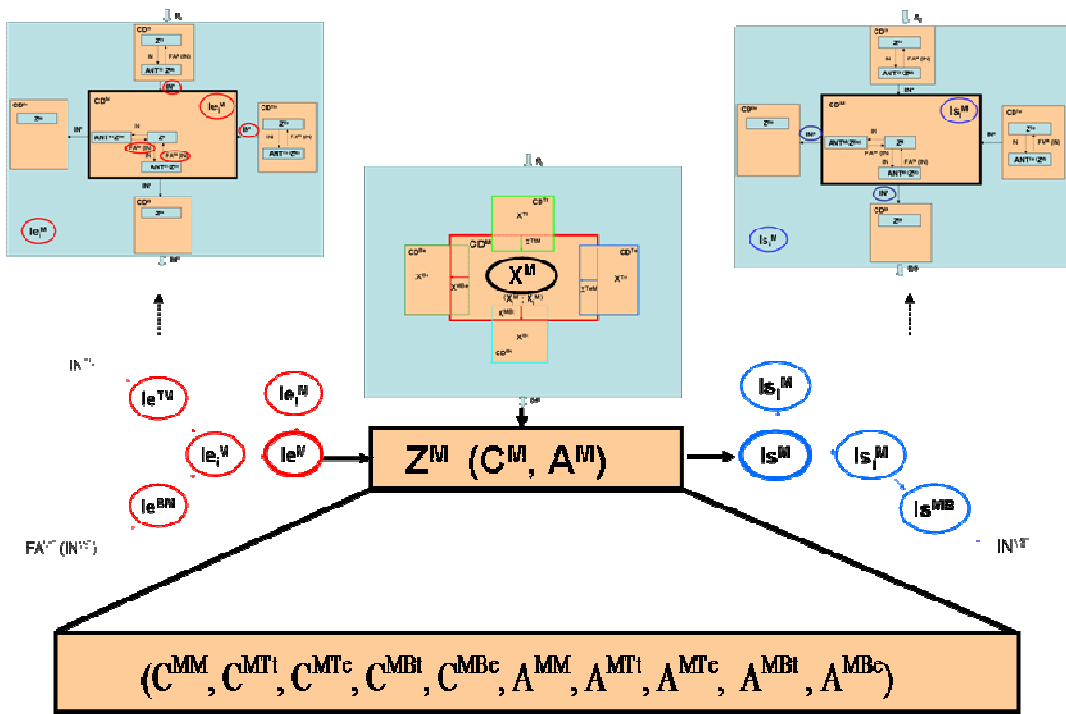


Figura 6-3. Modelo de Referencia Analítico de un CD^M genérico particularizado (II)
(elaboración propia)

6.3 Marco & Metodología (I) para el modelado del Proceso

Tal y como se ha acotado en la introducción, la presente Metodología (II) tiene como objetivo el desarrollo de Modelos Deterministas basados en PLEM para la Planificación Colaborativa de RdS/D en contextos jerárquicos-organizacionales (tanto desde el punto de vista Temporal como Espacial) de un solo ciclo.

Una de las entradas principales para plantear dichos PLEMs en cada uno de los Centros de Decisión / Actividades Decisionales es el Modelo integrado del Proceso, obtenido a nivel Macro (conceptual) en el capítulo anterior mediante la aplicación de la Metodología (I).

En dicho Modelo del Proceso se ha identificado por una parte, y para cada una de las Actividades Decisionales que lo componen: quién la realiza, cuándo se realiza, qué se realiza y qué Información se intercambia (a Nivel Macro) entre cada una de las mismas, como consecuencia del análisis de las Relaciones de Interdependencia entre los CDs asociados a las mismas para la Toma de Decisiones de Planificación.

En este capítulo se analiza cada **Actividad Decisional individualmente**, a Nivel Micro, tratando de dar respuesta a **cómo** se ejecuta la Actividad Decisional, o lo que es lo mismo, cómo se obtiene el Plan Operacional en cuestión, para lo cual será muy importante saber qué **Modelo Decisional** se utiliza (Sub-Visión Micro-Decisional), y **qué Información** (Visión Informativa) específica se utiliza para ello.

Además, previamente a lo anterior, en este Nivel Micro, se detallarán qué tipo de **Decisiones específicas** (en un estadio anterior Variables de Decisión) forman parte de un Plan Operacional, ya que a Nivel Macro, sólo se consideraron la existencia a nivel general de Planes Operacionales (Tácticos y/u Operativos).

Todo lo anterior se llevará a cabo desde un punto de vista **analítico**, describiéndose de manera **metodológica** qué pasos seguir para la obtención de **Modelos PLEM** para cada uno de los Centros de Decisión identificados, asociados a las Actividades Decisionales, y por ende de todo el **Proceso** de Planificación Colaborativa de la RdS/D, teniendo en cuenta las **“interacciones” entre dichos Modelos**.

A continuación se enumeran las distintas partes en las que se subdivide dicha Metodología (II):

1. Un análisis de la Estructura de un Modelo Determinista basado en Programación Matemática (concretamente un Modelo PLEM) asociado a una Actividad Decisional/Centro de Decisión genérico, a partir del Modelo Analítico de Referencia descrito anteriormente. Se realizará una descripción algebraica detallada de todos sus Componentes.
2. Una descripción de un primer bloque de la **Metodología (II)**, en la que se indiquen los pasos para formular cada uno de los Componentes de dicho Modelo PLEM para un Centro de Decisión genérico.
3. Una descripción de un segundo bloque de la **Metodología (II)**, en el que se indiquen los pasos para el Modelado basado en PLEM de todo el Proceso, describiendo como “interaccionan” los Modelos individuales descritos anteriormente, especificando como resolverlos y evaluarse “cuantitativamente” el Grado de Planificación Colaborativa actual (e incluso futuro³) en la RdS/D.

³ Como se verá en dicho apartado, la Metodología (II) facilitará la generación de diferentes “escenarios colaborativos” para su posterior análisis cuantitativo.

6.4 Estructura de un Modelo basado en PLEM a partir del Modelo Analítico de Referencia

Un Modelo Determinista basado en Programación Matemática consta de dos partes: parte de Definición y parte de Modelado (Figura 6-4).

La **parte de Definición** correspondería, en base al Modelo Analítico de Referencia descrito anteriormente, a la Estructura de Soporte al Modelo de Decisión. Dicha Estructura de Soporte (parte de Definición) de un CD^M genérico vendría dada por la definición de dos Componentes, las Variables de Decisión X^M y la Información de Entrada Ie^M (expresada mediante ciertos “Parámetros”).

Además, como ayuda a la definición de las Variables de Decisión y de los Parámetros⁴, se definirán previamente dos componentes más, los Índices y los Conjuntos.

La **parte de Modelado** correspondería, en base al Modelo Analítico de Referencia, a la Estructura Principal del Modelo de Decisión propiamente dicho. Dicha Estructura Principal (parte de Modelado) estaría compuesta a su vez por dos componentes, el Criterio (C^M) y el Campo de Decisión (A^M).

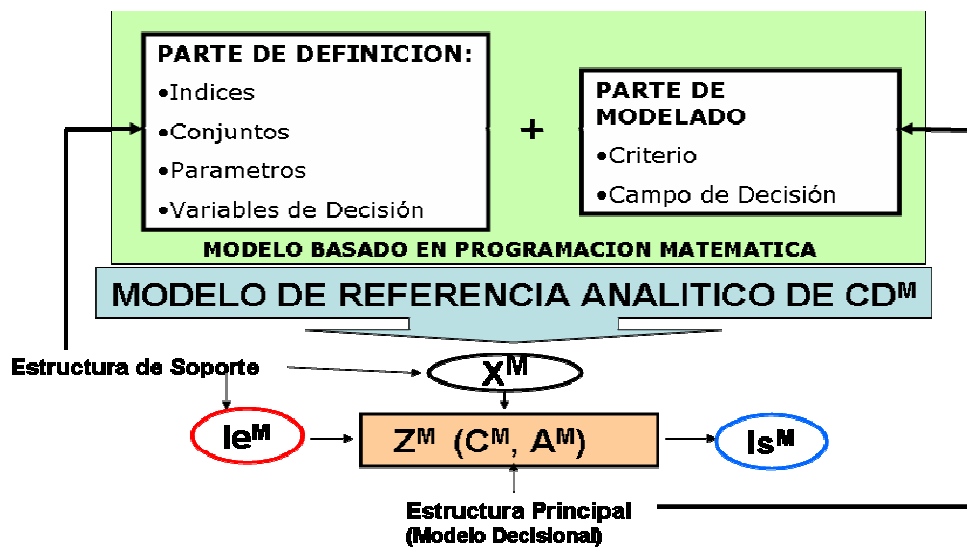


Figura 6-4. Estructura de un Modelo basado en Programación Matemática y su relación con el Modelo Analítico de referencia (elaboración propia)

⁴ De aquí en adelante se utilizará el concepto “Parámetros” en lugar de “Información de Entrada” (definida como tal en el Modelo Analítico de Referencia).

A continuación se detalla cómo se obtendrían para un CD^M genérico cada uno de dichos Componentes y como sería su representación algebraica en un Modelo Determinista basado en Programación Matemática.

Posteriormente, en los dos últimos apartados del capítulo, se define propiamente la **Metodología (II)**, estructurada en dos bloques:

El **primer bloque** se basa en la descripción detallada anterior de todos los Componentes, indicándose de manera clara y ordenada los **pasos que debería seguir cualquier CD^M genérico para definir un Modelo Determinista basado en Programación Matemática (PLEM)**.

El **segundo bloque** indica los pasos para el Modelado (basado en PLEM) general del Proceso, haciendo especial énfasis en cómo “interaccionan” los Modelos individuales anteriormente descritos. Lo anterior permitirá la **resolución/validación de los diferentes Modelos y por tanto una evaluación cuantitativa, tanto de cada CD individualmente como del Proceso en su conjunto**.

Es importante reseñar que la citada Metodología (II) permitirá modelar analíticamente el Proceso de Planificación Colaborativa en cualquier RdS/D, pudiendo ser ésta de diferentes grados de complejidad. Además, no sólo se podrá modelar la situación actual (AS-IS), sino que la Metodología descrita permitirá evaluar diferentes configuraciones o situaciones futuras (TO-BE), a partir de cambios tanto desde el punto de vista Físico, Organizacional, Decisional e Informacional.

A continuación se describen de manera detallada los Componentes de un Modelo determinista basado en PLEM.

6.4.1 Parte de Definición (I)

6.4.1.1 Índices

Para establecer el contenido de esta parte del Modelo serán necesarios los siguientes pasos:

1. Identificación de los Índices existentes
2. Asignación de un nombre a cada Índice.
3. Definición del Campo de Existencia de cada Índice.

6.4.1.1.1 Identificación de los Índices existentes

En el capítulo anterior, en la Metodología (I) para el modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, se identificaron un conjunto de Centros de Decisión, los cuáles interactuaban

decisionalmente entre sí dando lugar también a un conjunto de Actividades Decisionales, que se ejecutaban con una secuencia determinada.

Asimismo, en la última parte de la citada Metodología (I) se definió a nivel Macro **qué** se realizaba en cada una de las anteriores Actividades Decisionales. En concreto, lo que se realizaba era un Plan Operacional (POP), Táctico u Operativo, el cuál estaba formado por un conjunto de decisiones específicas que se iban a tomar, o más bien, se pretendían tomar sobre las denominadas Actividades de Transformación (Producción/Operaciones, Almacenamiento y Transporte) e Interconexión (Compras y Ventas).

Dichas decisiones (en un estado anterior denominadas Variables de Decisión⁵), en un marco de Planificación, hacen referencia a unos **Ítems** que tienen que “hacerse” (producirse, transportarse...) sobre unos **Recursos** y a lo largo del **Tiempo**.

En base a lo anterior se definieron tres Categorías:

- ¿Qué se “hace” en el Plan Operacional?: **Categoría “Ítems en general”**
- ¿Dónde?: **Categoría “Recursos”**
- ¿Cuándo? : **Categoría “Períodos de Planificación”**

Además, para cada Categoría se definieron los siguientes Tipos de Elementos (de mayor a menor grado de detalle):

- **Categoría “Ítems en General”**: Ítems y Grupos de Ítems.
- **Categoría “Recursos”**: Alternativas, Etapas (Intra-Nodo), Nodos, Puntos de Venta, Grupos de Nodos, Grupos de Puntos de Venta y Centros de Decisión
- **Categoría “Períodos de Planificación”**: Diario, Semanal, Mensual, Trimestral, Cuatrimestral, Semestral, Anual...

Los **Índices** se pueden definir como “entidades que no tienen valor y que generalmente se corresponden con cosas, objetos o conceptos identificables del problema que se quiere modelar, en nuestro caso, analíticamente”.

En el contexto anterior de Planificación, las “cosas, objetos o conceptos” se refieren a los **Tipos de Elementos** que se han considerado en cada una de las Categorías.

Se distinguen dos Tipos de Índices:

⁵ Cuya definición detallada se realizará posteriormente en la Metodología.

- Índices Locales
- Índices por Interdependencia

6.4.1.1.1.1 *Índices Locales*

Los **Índices Locales** corresponden a aquellos **Tipos de Elementos** que tienen significado por sí mismos para el problema del Centro de Decisión que se está modelando, independientemente de las relaciones de Interdependencia con otros Centros de Decisión pertenecientes a su Entorno Decisional.

No obstante el concepto de “local” es diferente según se trate de interacciones decisionales a nivel espacial o a nivel temporal:

- Desde el punto de vista **espacial** se trataría de aquellos Tipos de Elementos que pertenecen al Alcance/Frontera de un CD^M genérico (se entiende que en un Nivel Decisional concreto).
- Desde el punto de vista **temporal** se trataría de aquellos Tipos de Elementos que pertenecen **propiamente** al Nivel Decisional en el que se ubica el CD^M genérico en cuestión.

- Nivel Decisional Táctico:

- Cualquier CD ubicado en el Nivel Decisional Táctico considerará como Índices Locales cualquier “agregación” sobre Tipos de Elementos considerados en CD del Nivel Decisional Operativo pertenecientes a su Entorno Decisional. En caso de no existir tal “agregación”, se considerará como Índice por Interdependencia, como se verá a continuación.

- Nivel Decisional Operativo:

- Cualquier CD ubicado en el Nivel Decisional Operativo considerará como Índices Locales aquellos Tipos de Elementos que se encuentran en un estado de “agregación” menor respecto los Tipos de Elementos considerados en CD del Nivel Decisional Táctico pertenecientes a su Entorno Decisional.

No obstante, la Metodología (II) distingue a su vez dos sub-tipos a efectos de facilitar el modelado analítico. Estos son: Índices Locales Básicos e Índices Locales Complementarios.

6.4.1.1.1.1.1 *Índices Locales Básicos*

La Metodología para el Modelado Analítico de un Centro de Decisión define inicialmente **un Índice Local Básico** por **Categoría**, el cual hará referencia a un **Tipo de Elemento** concreto.

Por ejemplo, un CD^M genérico, a un Nivel Operativo, podría identificar tres Índices Locales Básicos, “Ítems”, “Alternativas” y “Meses”, cada uno correspondiente a una de las tres Categorías existentes.

No obstante, en ocasiones, será necesario definir **más de un Índice Local Básico por Categoría**.

El/los Índice/s Básicos⁶ que se establecen para las dos primeras Categorías, es decir, “Ítems en General” y “Recursos”, dependerán del grado de detalle con el que el CD^M considere su Alcance (Visión Física-Organizacional fundamentalmente).

El/los Índice/s Básicos que se establecen para la tercera Categoría, “Período de Planificación”, dependerá del tipo de decisiones tomadas por dicho CD, ya sean tácticas y/o operativas. De manera análoga a las anteriores dos Categorías, dependerán del grado de detalle con el que el CD^M considere el Horizonte de Planificación (Visión Decisional).

Por último, sólo se definirá un Índice Básico (aunque también puede extrapolarse a los demás) cuando exista más de un Elemento correspondiente al Tipo de Elemento que ha originado dicho Índice.

Por ejemplo, no se definiría a Nivel Operativo el Índice Básico “Alternativa” si sólo existiera una.

6.4.1.1.1.1.2 Índices Locales Complementarios

Estos se derivan de los Índices Locales Básicos, y se caracterizan por no ser “conceptos o cosas nuevas”, sino agrupaciones de estos últimos⁷.

De alguna manera el Índice Local Básico correspondería al Tipo de Elemento (de una Categoría en particular) y el Índice Local Complementario a un Subtipo, entendido éste como una característica común que cumplen algunos de los Elementos pertenecientes a dicho Tipo de Elemento.

Dichas agrupaciones dependerán del Alcance de un Centro de Decisión, y normalmente se definirán por dos motivos fundamentales⁸:

⁶ Ya que un Modelo podrá identificar como Índice Básico más de un Tipo de Elemento de una Categoría concreta. Por ejemplo se podrían identificar los Tipos de Elementos “Alternativa” y “Nodos” correspondientes a la Categoría “Recursos”.

⁷ Aunque se tratan de agrupaciones conviene definirlos inicialmente, a efectos de modelado, como Índices y no como Conjuntos, como se verá posteriormente.

⁸ No obstante el decisor podría definir algún Índice Complementario más si lo estima oportuno.

- Si dicho Alcance incluye Nodos de varias Etapas/Sub-Etapas: Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación/Montaje y Distribución.
- Si en dicho Alcance se han identificado ítems de diferente índole: Productos Finales, Productos Intermedios y/o Materia Prima.

A continuación se citan dichos **Índices Complementarios**, agrupados según el Índice Básico⁹ del que se derivan:

Categoría “Ítems en General”

- El Índice Básico “Items” puede incluir los siguientes Índices Complementarios¹⁰:
 - “Materia Prima”
 - “Producto Intermedio”
 - “Producto Final”
- El Índice Básico “Grupos de Items” puede incluir los siguientes Índices Complementarios:
 - “Grupos de Materias Primas”
 - “Grupos de Productos Intermedios”
 - “Grupos de Productos Finales”

Categoría “Recursos”

- El Índice Básico “Nodo” puede incluir los siguientes Índices Complementarios:
 - “Nodos en Etapa Proveedores” (que a su vez podría incluir):
 - “Nodos en Etapa Proveedores que suministran Producto Final (Subcontratados)”
 - “Nodos en Etapa Proveedores (1er Nivel)¹¹”

⁹ Se puede observar que **no** todos los Índices Básicos poseen Índices Complementarios.

¹⁰ Cuando el Índice Básico de lugar únicamente a un Índice Complementario, se podrá utilizar uno u otro indistintamente. Por tanto se podría utilizar “Ítem” en vez de “Producto Final” si sólo existe este último.

¹¹ Los Niveles corresponderían a Nodos ubicados en diferentes Sub-Etapas.

- “Nodos en Etapa Proveedores (2º Nivel)”, etc.
- “Nodos en Etapa Aprovisionamiento” :
 - “Nodos en Etapa Aprovisionamiento (1er Nivel)”
 - “Nodos en Etapa Proveedores (2º Nivel)”, etc.
- “Nodos en Etapa Fabricación/Montaje”¹²
- “Nodos en Etapa Distribución” :
 - “Nodos en Etapa Distribución (1er Nivel)”
 - “Nodos en Etapa Distribución (2º Nivel)”, etc.¹³.
- El Índice Básico “Centro de Decisión” puede incluir los siguientes Índices Complementarios:
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico” :
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico pertenecientes al Entorno Decisional”
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico pertenecientes al Entorno Decisional Compradores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico pertenecientes al Entorno Decisional Vendedores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional”
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional Compradores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional Vendedores”

¹² La Etapa de Fabricación/Montaje es la única donde sólo puede existir un Nivel, tal y como se definió en el Marco (Visión Física). No obstante, un Nodo de dicha Etapa podría tener más de una Etapa (Intra-Nodo), por ejemplo una primera de Fabricación-Almacenamiento y una segunda de Montaje-Almacenamiento (ó bien dos de Fabricación), pero únicamente se trataría de un Nodo.

¹³ O lo que es lo mismo, distinguir en la Etapa de Distribución entre Mayoristas, Minoristas, etc.

- “Centros de Decisión en Nivel Operativo”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo pertenecientes al Entorno Decisional”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo pertenecientes al Entorno Decisional Compradores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo pertenecientes al Entorno Decisional Vendedores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional Compradores”
 - “Centros de Decisión en Nivel Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional Vendedores”

Hay que resaltar que sólo se han señalado los Índices Complementarios más utilizados como **guía orientativa** para facilitar la construcción de Modelos. No obstante, el usuario podrá definir algún Índice Complementario más, ya sea sobre algún Índice básico, ya sea sobre algún Índice Complementario.

Por ejemplo se podría definir sobre el Índice Complementario “Productos Finales” (definido sobre el Índice Básico “Ítem”), dos Índices Complementarios más: “Productos Finales subcontratados parcialmente” y “Productos Finales no subcontratados”.

6.4.1.1.1.2 Índices por Interdependencia

Los **Índices por Interdependencia** corresponden a aquellos **Tipos de Elementos** que tienen significado en cuanto existe un Entorno Decisional para el problema del Centro de Decisión que se está modelando, y por consiguiente existen unas Relaciones de Interdependencia con otros Centros de Decisión.

Al igual que se hizo anteriormente, el concepto de “interdependencia” es diferente según sea ésta a nivel espacial o a nivel temporal:

- Desde el punto de vista **espacial** se trataría de aquellos Tipos de Elementos que **no** pertenecen al Alcance/Frontera de un CD^M genérico (se entiende que en un Nivel Decisional concreto).
- Desde el punto de vista **temporal** se trataría de aquellos Tipos de Elementos que **no** pertenecen **propiamente** al Nivel Decisional en el que se ubica el CD^M genérico en cuestión.

- Nivel Decisional Táctico:
 - Cualquier Centro de Decisión ubicado en el Nivel Decisional Táctico considerará como Índices por Interdependencia aquellos Tipos de Elementos de Centros de Decisión del Nivel Decisional Operativo (pertenecientes a su Entorno Decisional) que se hayan considerado en su propio Modelo.
- Nivel Decisional Operativo:
 - Cualquier Centro de Decisión ubicado en el Nivel Decisional Operativo considerará como Índices por Interdependencia aquellos Tipos de Elementos de Centros de Decisión del Nivel Decisional Táctico (pertenecientes a su Entorno Decisional) que se hayan considerado en su propio Modelo.

A continuación se detallan qué Índices por Interdependencia debería tener en cuenta un CD^M genérico, a partir de las Relaciones de Interdependencia con CDs pertenecientes a su Entorno Decisional.

Para ello se han considerado:

1. Desde un punto de vista temporal: CD^{Tt} y CD^{Bt} .
2. Desde un punto de vista espacial: CD^{Te} y CD^{Be} .

6.4.1.1.1.2.1 Índices por Interdependencia con CD^{Tt}

Se considerará la posible Interdependencia Temporal con los CDs superiores, ya que el CD^M en cuestión deberá **desagregar** las variables/decisiones globales (enviadas a modo de **Instrucción**) que se tomaron en un Nivel Superior con respecto a las mismos Tipos de Elementos (dimensiones), en base a los que se agregó la información.

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los tipos de desagregación que se van a llevar a cabo en dicho CD^M .

- Por ejemplo, si CD^{Tt} considera Grupos de Ítems, Nodos y Meses y CD^M considera Ítems, Alternativas y Meses, para este último, además de definir 3 Índices (Locales) para Ítems, Alternativas y Meses, será necesario definir 2 Índices (por Interdependencia) más, uno para Grupos de Ítems (sobre el cuál se va a realizar la desagregación a Ítems) y otro para Nodos (sobre el cuál se va a realizar la desagregación a Alternativas).

6.4.1.1.1.2.2 Índices por Interdependencia con CD^{Bt}

Se considerará la posible Interdependencia Temporal con otros CDs inferiores, ya que CD^M podría tener que definir más Índices en caso que realizase algún **Grado de Anticipación** de dichos CD^{Bt} , en este

caso anticipando los Tipos de Elementos (dimensiones) que CD^{Bt} deberá **desagregar** al recibir una Instrucción por parte de CD^M .

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los tipos de desagregación (anticipados) que llevarán a cabo los CD^{Bt} .

- Por ejemplo, si CD^M considera Ítems, Alternativas y Meses, y **se ha anticipado** que CD^{Bt} considerará Ítems, Alternativas y semanas, para este primero, además de definir 3 Índices (Locales) para Ítems, Alternativas y Meses, será necesario definir un Índice (por Interdependencia) más, en concreto aquél que se refiera al Tipo de Elemento anticipado “semana” .

6.4.1.1.1.2.3 Índices por Interdependencia con CD^{Te}

Se considerará la posible Interdependencia Espacial con otros CD superiores, ya que CD^M podría tener que definir más Índices en los siguientes casos:

Un primer caso en el que se tenga que **desagregar ó agregar**¹⁴ las decisiones (enviadas a modo de **Instrucción**) que se tomaron en un Nivel Superior con respecto a las mismos Tipos de Elementos (dimensiones), en base a los que se agregó/desagregó la información.

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los tipos de desagregación/agregación que se van a llevar a cabo en dicho CD^M .

- Por ejemplo, si CD^{Te} considera Ítems y Trimestres¹⁵ y CD^M considera Ítems y Meses, para este último, además de definir 2 Índices (Locales) para Ítems y Meses, será necesario definir un Índice (por Interdependencia) más, en concreto aquél que se refiera al Tipo de Elemento “trimestre” (sobre el cuál se va a realizar la desagregación a “meses”).¹⁶

¹⁴ En el caso de la Interdependencia Espacial, a diferencia de la Temporal, la información que CD^M utilice deberá agregarse o desagregarse en función de la que maneje/envíe (a modo de IN) el CD^{Te} .

¹⁵ Supongamos que sólo se planifica en un Nodo (y por tanto no se define ningún Índice para el mismo).

¹⁶ No obstante, será muy común el caso en el que no haya que definir ningún Índice por Interdependencia con CD^{Te} , puesto que ambos manejarán la Información en el mismo Estado de Agregación/Desagregación, aunque haya sido por una coordinación previa.

Un segundo caso en el que se tenga que **relacionar** las decisiones (enviadas a modo de **Instrucción**) que se tomaron en un Nivel Superior, aun estando éstas en el **mismo Estado de Agregación/Desagregación**.

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los **Índices Complementarios** diferentes entre el Nivel Superior (CD^{Te}) y el Inferior (CD^M).

- Por ejemplo, si CD^{Te} considera Ítems, Nodos de la Etapa Distribución y Meses y CD^M considera Ítems, Nodos de la Etapa Fabricación/Montaje y Meses, para este último, además de definir 3 Índices (Locales) para Ítems, Nodos de la Etapa de Fabricación/Montaje y Meses, será necesario definir un Índice (por Interdependencia) más, en concreto aquél que se refiera al Tipo de Elemento “Nodos de la Etapa Distribución” (los cuales habrá que relacionar con los Nodos de la Etapa de Fabricación/Montaje)¹⁷

6.4.1.1.1.2.4 Índices por Interdependencia con CD^{Be}

Se considerará la posible Interdependencia Espacial con otros CD inferiores, ya que CD^M podría tener que definir más Índices al considerar algún **Grado de Anticipación** respecto a dichos CD^{Be} .

Se consideran los siguientes casos:

Un primer caso en el que considere la **desagregación/agregación (anticipada)** que habrá de llevar a cabo CD^{Be} respecto a algunos de los Tipos de Elementos (dimensiones) que CD^M le enviará a modo de Instrucción.

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los tipos de desagregación/agregación (anticipados) que llevarán a cabo los CD^{Be} .

- Por ejemplo, si CD^M considera Ítems y Meses¹⁸, y **se ha anticipado** que CD^{Be} considerará Ítems y semanas, para este primero, además de definir 2 Índices (Locales) para Ítems y

¹⁷ Por ejemplo al declarar, como se verá posteriormente, la “Cantidad demandada” por cada uno de los Nodos de la Etapa Distribución pertenecientes a CD^{Te} . En este caso habría que conocer, por ejemplo, qué ítems se van a transportar/almacenar-vender (desde cada uno de los Nodos de la Etapa de Fabricación a cada uno de los Nodos de la Etapa de Distribución).

¹⁸ De nuevo supóngase que sólo se planifica en la Categoría “Recursos” a un nivel de agregación de un único Nodo (y por tanto no se define ningún Índice para el mismo).

Meses, será necesario definir un Índice (de Interdependencia) más, en concreto aquél que se refiera al Tipo de Elemento anticipado “semana” .

Un segundo caso en el que mediante la **Función Anticipación** CD^M pretenda **relacionar** las decisiones que se enviarán a modo de **Instrucción** a CD^{Be} , aunque los Tipos de Elementos utilizados por ambos estén en el **mismo Estado de Agregación/Desagregación**.

Por tanto, será necesario definir más Índices (por Interdependencia) por cada uno de los **Índices Complementarios** diferentes entre el Nivel Superior (CD^M) y el Inferior (CD^{Be}).

- Por ejemplo, si CD^M considera Ítems (Productos Finales) y Meses, y **se ha anticipado** que CD^{Be} considerará Ítems (Productos Intermedios) y Meses, para este primero, además de definir 2 Índices (Locales) para Ítems y Meses, será necesario definir un Índice (de Interdependencia) más, en concreto aquél que se refiera al Tipo de Elemento anticipado “Ítem (Producto Intermedio)” .

Por último, es importante reseñar, que la identificación/definición de los **Índices de Interdependencia** será un aspecto clave para modelar adecuadamente (de forma realista) los distintos Modelos correspondientes a cada uno de los Centros de Decisión (“propietarios” de Actividades Decisionales) que componen el Proceso de Planificación Colaborativa que se está analizando.

Como se verá más adelante, su identificación/definición permitirá que los distintos Centros de Decisión identificados a Nivel Macro se “entiendan”, o de manera más formal, permitirán formular adecuadamente el “Criterio por Interdependencias” y el “Campo de Decisión por Interdependencias”, tal y como se especificará más adelante.

6.4.1.1.2 Asignación de un nombre a cada Índice

Cada Índice definido en el apartado anterior, tanto **Índice Local** como **por Interdependencia**, deberá tener asociado un nombre, lo más conciso y representativo posible. Los índices se representarán con las siguientes letras minúsculas.

- Categoría “Ítems en General”:
 - Ítems: **i**
 - Materia Prima: **mp**
 - Producto Intermedio: **pi**
 - Producto Final: **pf**
 - Grupos de Ítems: **gi**

- Grupos de Materia Prima: **gmp**
- Grupos de Producto Intermedio: **gpi**
- Grupos de Producto Final: **gpf**
- Categoría “Recursos”:
 - Alternativa/Línea: **l**
 - Etapa (Intra-Nodo): **e**
 - Nodos: **n**
 - En Etapa Proveedores: **p**
 - Nodos Proveedores de Nivel n : **pⁿ** ¹⁹
 - En Etapa Aprovisionamiento: **a**
 - Nodos Aprovisionamiento de Nivel n : **aⁿ**
 - En Etapa Fabricación/Montaje: **f**
 - Nodos Proveedores de Productos Finales (Subcontratas): **s**
 - En Etapa Distribución: **d**
 - Nodos Distribución de Nivel n : **dⁿ**
 - Puntos de Venta: **pv**
 - Grupos de Nodos: **gn**
 - Grupos de Puntos de Venta: **gpv**
 - Centros de Decisión: **cd**
 - CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional: **cdt**
 - CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **cdtc**
 - CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **cdtv**

¹⁹ Siendo p^n el Proveedor de Nivel n .

- CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional: **cdt'**
 - CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **cdtc'**
 - CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **cdtv'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional: **cdo**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **cdoc**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **cdov**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional: **cdo'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **cdoc'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **cdov'**
- Categoría “Períodos de Planificación”: t / t' ²⁰

6.4.1.1.3 Definición del Campo de Existencia de un Índice

El **Campo de Existencia** de un Índice, ya sea **Índice Local o de Interdependencia**, corresponde a qué **Elementos** concretos abarca el **Tipo de Elemento** que ha originado dicho Índice. Se colocará entre paréntesis al lado derecho del Índice, con caracteres numéricos y separados por comas.

Por ejemplo, CD^M podría definir los siguientes Campos de Existencia para sus Índices en la Categoría “Ítems en general”:

²⁰ El Modelo utilizará siempre el Índice Local Básico **t** para el Tipo de Elemento de la Categoría “Período de Planificación” considerado en el Nivel Decisional Táctico. En cambio se utilizará **t'** en caso de que considere también el Nivel Decisional Operativo.

- Grupos de Ítems (por Interdependencia con CD^{Tt}):
 - Grupos de Producto Final: **gpf (1,2)**
- Ítems:
 - Producto Final: **pf (1,2,3,4)**

6.4.1.2 Conjuntos

Para establecer el contenido de esta parte del Modelo analítico serán necesarios los siguientes pasos:

1. Identificación de los Conjuntos existentes
2. Asignación de un nombre distinto a cada Conjunto
3. Definición del Campo de Existencia de cada Conjunto.

6.4.1.2.1 Identificación de los Conjuntos existentes

Los **Conjuntos** son “una colección de Elementos que cumplen con algún criterio de similitud, ya sea entre Elementos pertenecientes a un mismo Tipo de Elemento ó entre Elementos pertenecientes a distintos Tipos de Elementos”.

Al igual que con los Índices, se distinguen dos Tipos de Conjuntos:

- Conjuntos Locales
- Conjuntos por Interdependencia.

6.4.1.2.1.1 *Conjuntos Locales*

Los **Conjuntos Locales** son aquellos que se componen de Elementos pertenecientes a Tipos de Elementos definidos mediante Índices Locales.

Los Conjuntos Locales se subdividen a su vez en: Conjuntos Locales Simples y Conjuntos Locales Relacionales.

6.4.1.2.1.1.1 Conjuntos Locales Simples

Los **Conjuntos Locales Simples** son aquellos que están formados por Elementos pertenecientes a un mismo Tipo de Elemento.

Por la propia definición, hasta el momento se habrían definido tantos Conjuntos Locales Simples como Índices Locales se definieron, tanto Básicos como Complementarios.

Por ejemplo un CD en el Nivel Decisional Operativo podría definir el Conjunto Local Simple “Nodos” (definido a partir de un Índice Local Básico) o el Conjunto Local Simple “Nodos de la Etapa Proveedores” (definido a partir de un Índice Local Complementario).

6.4.1.2.1.1.2 Conjuntos Locales Relacionales

Además de los Conjuntos Locales Simples, es necesario definir los llamados **Conjuntos Locales Relacionales**, que son aquellos que están formados por Elementos pertenecientes a distintos Tipos de Elementos.

Estos Conjuntos Relacionales se definirán directamente a partir de los Índices Locales definidos anteriormente, tanto Básicos como Complementarios.

Concretamente estarán formados por dos Índices, denominados “Dependiente” y “Base”.

Es importante reseñar que los Conjuntos Relacionales sólo se definirán en caso que tenga sentido hacerlo. Como regla básica, únicamente **se definirá un Conjunto Relacional cuando el Campo de Existencia del Índice Dependiente dependa del Índice Base considerado.**

Por ejemplo, únicamente se definirá el Conjunto Relacional “Ítems (Índice Dependiente) que puede producir una Línea (Índice Base)” si las Líneas no producen los mismos Ítems, es decir, el Campo de Existencia del Índice Dependiente asociado a Ítem varía en función del Índice Base Línea.

La Metodología diferencia entre distintos **tipos** de Conjuntos Relacionales:

1. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Ítems en General”**
 - a. Ejemplo: “Productos Intermedios que forman parte de cada Producto Final”
2. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Recursos”**
 - a. Ejemplo: “Nodos de la Etapa Proveedores de Nivel 2 que suministran a un Nodo de la Etapa Proveedores de Nivel 1”.
3. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Períodos de Planificación”**
 - a. Ejemplo: “Días que componen cada Mes”
4. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Ítems en General” y “Recursos”**
 - a. Ejemplo 1: “Producto Final que puede producir cada Línea”

- b. Ejemplo 2: “Líneas en las que puede fabricarse un Grupo de Productos Finales”
- 5. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Ítems en General” y “Períodos de Planificación”**
 - i. Ejemplo: “Producto Final que puede producirse cada Mes”
- 6. Conjuntos Relacionales entre Índices Locales de la **Categoría “Recursos” y “Períodos de Planificación”**
 - i. Ejemplo: “Líneas disponibles en cada Semana”

6.4.1.2.1.2 *Conjuntos por Interdependencia*

Los **Conjuntos por Interdependencia** son aquellos que se componen, o bien de Elementos pertenecientes a un mismo Tipo de Elemento definido como Índice por Interdependencia o bien de Elementos pertenecientes a distintos Tipos de Elementos, en los que siempre aparecerá al menos un Índice por Interdependencia.

En función de la anterior clasificación, los Conjuntos por Interdependencia, al igual que los Locales, se subdividen a su vez en: Conjuntos por Interdependencia Simples y Conjuntos por Interdependencia Relacionales.

6.4.1.2.1.2.1 *Conjuntos por Interdependencia Simples*

Los **Conjuntos por Interdependencia Simples** son aquellos que están formados por Elementos pertenecientes a un mismo Tipo de Elemento, siempre que este último se haya definido como un Índice por Interdependencia.

Por la propia definición, hasta el momento se habrían definido tantos Conjuntos por Interdependencia Simples como Índices por Interdependencia se definieron, tanto Básicos como Complementarios.

Por ejemplo, un CD en el Nivel Decisional Operativo podría definir el Conjunto por Interdependencia Simple “Grupos de Nodos” (definido a partir de un Índice por Interdependencia, en este caso Básico).

6.4.1.2.1.2.2 *Conjuntos por Interdependencia Relacionales*

Además de los Conjuntos por Interdependencia Simples, es necesario definir los llamados **Conjuntos por Interdependencia Relacionales**, que son aquellos que están formados por Elementos

pertenecientes a distintos Tipos de Elementos, siempre que, al menos uno de ellos, haya sido definido como Índice por Interdependencia.

Estos Conjuntos por Interdependencia Relacionales estarán formados, al igual que los Conjuntos Locales Relacionales, por dos Índices, denominados “Dependiente” y “Base”, pudiendo ser indistintamente cualquiera de ellos el Índice por Interdependencia.

De alguna manera serían similares a los Conjuntos Locales Relacionales, por lo que la Metodología los identifica de la misma forma, distinguiendo entre los 6 tipos antes señalados.

No obstante, a efectos del modelado posterior, conviene clasificarlos dependiendo de qué CD perteneciente a su Entorno Decisional lo ha originado, o lo que es lo mismo, de qué Índice por Interdependencia proceden:

A continuación se detallan qué Conjuntos por Interdependencia debería tener en cuenta un CD^M genérico, a partir de las Relaciones de Interdependencia con CD pertenecientes a su Entorno Decisional.

Para ello se han considerado:

- a. Desde un punto de vista temporal: CD^{Tt} y CD^{Bt} .
- b. Desde un punto de vista espacial: CD^{Te} y CD^{Be} .

6.4.1.2.1.2.2.1 Conjuntos por Interdependencia con CD^{Tt}

Estos se definirán siempre que existe un Índice por Interdependencia con CD^{Tt} , de manera que se pueda reflejar la Interdependencia Temporal con los CDs superiores.

Cada Índice por Interdependencia con CD^{Tt} (que actuará como Índice Base) dará lugar a un Conjunto por Interdependencia con CD^{Tt} , en el que el Índice Local actuará como Índice Dependiente.

Por ejemplo, a partir del Índice por Interdependencia “Grupos de Producto Final (gpf)” y el Índice Local “Producto Final (pf)” se puede definir el Conjunto por Interdependencia “Conjunto de Productos Finales que integran cada Grupo de Productos Finales”.

6.4.1.2.1.2.2.2 Conjuntos por Interdependencia con CD^{Bt}

Estos se definirán siempre que existe un Índice por Interdependencia con CD^{Bt} , de manera que se pueda reflejar la Interdependencia Temporal con los CDs inferiores.

Cada Índice por Interdependencia con CD^{Bt} (que actuará en este caso como Índice Dependiente) dará lugar a un Conjunto por Interdependencia con CD^{Bt} , en el que el Índice Local actuará como Índice Base.

6.4.1.2.1.2.2.3 Conjuntos por Interdependencia con CD^{Te}

Estos se definirán siempre que existe un Índice por Interdependencia con CD^{Te} , de manera que se pueda reflejar la Interdependencia Espacial con los CDs superiores.

Cada Índice por Interdependencia con CD^{Te} (en este caso actuando como Índice Base ó como Índice Dependiente)²¹ dará lugar a un Conjunto por Interdependencia con CD^{Te} , en el que el Índice Local actuará también como Índice Dependiente ó como Índice Base dependiendo del anterior.

6.4.1.2.1.2.2.4 Conjuntos por Interdependencia con CD^{Be}

Estos se definirán siempre que existe un Índice por Interdependencia con CD^{Be} , de manera que se pueda reflejar la Interdependencia Espacial con los CDs inferiores.

Cada Índice por Interdependencia con CD^{Be} (en este caso actuando como Índice Base ó como Índice Dependiente)²² dará lugar a un Conjunto por Interdependencia con CD^{Be} , en el que el Índice Local actuará también como Índice Dependiente ó como Índice Base dependiendo del anterior.

Por ejemplo, a partir del Índice por Interdependencia “Nodo de la Etapa Proveedores (p)” y el Índice Local “Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje (f)” se puede definir el Conjunto por Interdependencia “Conjunto de Nodos de la Etapa Proveedores que suministran a cada Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje”.

6.4.1.2.2 Asignación de un nombre distinto a cada Conjunto

Cuando un **Conjunto es Simple** (ya sea Local o por Interdependencia), y por tanto se ha definido a partir de un Índice Local únicamente (ya sea Básico o Complementario), se le suele dar el mismo nombre que al Índice Local pero en mayúsculas. Dicho Conjunto estará formado por unos elementos concretos definidos mediante su Campo de Existencia, como se verá en el próximo paso.

Se consideran pues los siguientes **Conjuntos Simples**:

- Categoría “Ítems en General”:
 - Ítems: **I**

²¹ Ya que, como se dijo anteriormente, las Decisiones que CD^M tome deberán **desagregarse/ agregarse** o **relacionarse** dependiendo de las decisiones enviadas a modo de Instrucción por CD^{Te} .

²² Ya que, como se dijo anteriormente, se anticipan las Decisiones que CD^{Be} tome, sabiendo que deberá **desagregar/agregar** o **relacionar** algunas de las decisiones enviadas a modo de Instrucción por CD^M .

- Materia Prima: **MP**
- Producto Intermedio: **PI**
- Producto Final: **PF**
- Grupos de Ítems: **GI**
 - Grupos de Materia Prima: **GMP**
 - Grupos de Producto Intermedio: **GPI**
 - Grupos de Producto Final: **GPF**
- Categoría “Recursos”:
 - Alternativa/Línea : **L**
 - Etapa (Intra-Nodo) : **E**
 - Nodos: **N**
 - En Etapa Proveedores: **P**
 - Nodos Proveedores de Nivel n: **Pⁿ**
 - En Etapa Aprovisionamiento: **A**
 - Nodos Aprovisionamiento de Nivel n: **Aⁿ**
 - En Etapa Fabricación/Montaje: **F**
 - Nodos Proveedores de Productos Finales (Subcontratas): **S**
 - En Etapa Distribución: **D**
 - Nodos Distribución de Nivel n: **Dⁿ**
 - Puntos de Venta: **PV**
 - Grupos de Nodos: **GN**
 - Grupos de Puntos de Venta: **GPV**
 - Grupos de Nodos: **GN**
 - Centros de Decisión: **CD**
 - CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional: **CDT**

- CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **CDTC**
 - CD en Nivel Decisional Táctico pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **CDTV**
 - CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional: **CDT'**
 - CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **CDTC'**
 - CD en Nivel Decisional Táctico no pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **CDTV'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional: **CDO**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **CDOC**
 - CD en Nivel Decisional Operativo pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **CDOV**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional: **CDO'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional compradores: **CDOC'**
 - CD en Nivel Decisional Operativo no pertenecientes al Entorno Decisional vendedores: **CDOV'**
- Categoría “Períodos de Tiempo”: **T / T'**

Cuando un **Conjunto es Relacional** (Local o por Interdependencia), es decir, se define a partir de la relación entre dos Índices, ambos Locales o uno de ellos por Interdependencia, respectivamente, se utiliza una letra mayúscula que representa al Índice Dependiente y entre paréntesis y en minúscula el Índice Base, es decir, Índice Independiente.

- Ejemplo 1: “Productos Finales que forman parte de cada Grupo de Productos Finales”: **PF (gpf)**

- Ejemplo 2: “Productos Intermedios que se necesitan para la “producción” de cada Producto Final”: **PI (pf)**
- Ejemplo 3: “Líneas que forman parte de cada Nodo de la Etapa de Fabricación-Montaje”: **L (f)**
- Ejemplo 4: “Nodos que forman parte de cada Grupo de Nodos”: **N (gn)**
- Ejemplo 5: “Nodos de la Etapa Proveedores de nivel 2 que suministran a cada Nodo de la Etapa de Proveedores de nivel 1”: **P² (p¹)**
- Ejemplo 6: “Producto Intermedio que puede producir cada Nodo de la Etapa Proveedores”: **PI (p)**
- Ejemplo 7: “Líneas en las que puede fabricarse cada Grupo de Productos Finales”: **L (gpf)**

6.4.1.2.3 Definición del Campo de Existencia de cada Conjunto

El **Campo de Existencia** de un Conjunto, ya sea Conjunto Simple o Relacional, corresponde a qué **Elementos** concretos abarca dicho Conjunto.

Sólo habrá que definirlo para los Conjuntos Relacionales, puesto que el Campo de Existencia de los Conjuntos Simples ya se habrá definido para los propios Índices Locales y por Interdependencia que dieron lugar a dichos Conjuntos Simples.

Para los Conjuntos Relacionales, el Campo de Existencia del Índice Dependiente será distinto en función del Índice Base que se considere, el cual variará a su vez, a lo largo de su Campo de Existencia.

Por tanto, para cada valor del Campo de Existencia del Índice Base (en minúsculas) se tendrá un Campo de Existencia concreto para el Índice Dependiente (entre paréntesis y separados por comas).

Por ejemplo:

PF (gpf) ; $gpf = 1 \rightarrow PF (1,2)$

$gpf = 2 \rightarrow PF (3,4)$

No obstante, en los Modelos, normalmente, no será indispensable indicar explícitamente el Campo de Existencia de un Conjunto, y bastará simplemente con identificarlo y nombrarlo.

6.4.2 Parte de Definición (II)

6.4.2.1 Variables de Decisión

Las **Variables de Decisión** (X^M) representan una “característica o propiedad desconocida” de un Índice ó Conjunto, cuyo valor será determinado una vez ejecutado el Modelo de Decisión Z^M correspondiente a una Actividad Decisional (AD) de un CD^M genérico.

Dichas Variables de Decisión se definirán sobre los Índices y Conjuntos anteriores, de manera que es necesario que estos se hayan definido previamente en la Parte de Definición (I).

Las Variables de Decisión y los Parámetros (como se verá en el siguiente apartado) conformarán la Parte de Definición (II) del Modelo de Decisión Z^M de CD^M y equivalen a lo que en el Modelo Analítico de Referencia se denominó Estructura de Soporte.

En el Marco del capítulo 4 se estableció que un Centro de Decisión genérico CD^M , dependiendo de cuál es su Alcance/Frontera, del Nivel Decisional en el que se ubica (Táctico u Operativo) y de las Relaciones de Interdependencia con los CDs pertenecientes a su Entorno debía definir las siguientes **Variables de Decisión** (X^M):

- **Variables de Decisión Locales** (X_i^M)
- **Variables de Decisión por Interdependencias** (X_i^M)

A continuación, se describen los pasos para definir las **Variables de Decisión** (X^M) de un CD^M , tanto las Variables de Decisión Locales (X_i^M) como las Variables de Decisión por Interdependencias (X_i^M).

6.4.2.1.1 Variables de Decisión Locales

En el capítulo anterior, en la Metodología (I) para el Modelado del Proceso, se definieron un conjunto de Actividades Decisionales que se ejecutaban en un determinado orden/secuencia y en las que se realizaban/tomaban decisiones que daban lugar a Planes Operacionales (Tácticos u Operativos), los cuales eran el resultado de asignar valores concretos a un conjunto de Variables de Decisión.

No obstante en el capítulo anterior, sólo se abordó el Modelado del Proceso a un nivel Macro (utilizando los conceptos vistos fundamentalmente en la Sub-Visión Macro-Decisional del Marco), por lo que no se detallaron de qué **decisiones específicas** estaban formados dichos **Planes Operacionales (Tácticos y/u Operativos)**. Es ahora cuando tiene sentido definir las en detalle.

¿Cómo se formulan analíticamente las **Variables Locales** (X_i^M)?

Como ya se especificó en el capítulo 4, las **Variables Locales** se tratarían de aquellas Variables de Decisión que:

- Desde el punto de vista espacial pertenecen al Alcance/Frontera de un CD^M genérico.
- Desde el punto de vista temporal son Variables de Decisión que pertenecen *propiamente* al Nivel Decisional en el que se ubica el CD^M genérico en cuestión.
 - o Nivel Táctico: VECP²³ ligadas a la planificación de la **capacidad** de las AT/AI.
 - o Nivel Operativo: VECP ligadas a la planificación de la **ejecución** de las AT/AI.

Para ello, en el Marco se enumeraron (como guía orientativa) las distintas VECP que tenía sentido incluir para la “Toma de Decisiones” en cada una de dichas AT/AI.

En este caso, desde el punto de vista algebraico, se han expresado de forma abreviada con letras mayúsculas, como se indica a continuación:

En lo que se refiere a las AT:

1. Producción-Operaciones

- a. Cantidad a producir-operar (PR)
- b. Número de Lanzamientos (NL)²⁴
- c. Número de Lotes a producir (NLPR)²⁵
- d. Producir o no (YPR)
- e. Realizarse un cambio de partida o no (YFPR)
- f. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” en un período (YPPR)
- g. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” al inicio de un período (YPIPR)

²³ Variables Específicas en Contextos de Planificación.

²⁴ Normalmente se tratará del número de lanzamientos de los Ítems pertenecientes a un Grupo de Ítems, el cuál se va a producir en última instancia.

²⁵ Sobre el Lote Mínimo, el cuál se definirá a continuación en “Parámetros”.

- h. Un “Recurso” se haya preparado para producir o no de un “Item en general” al final de un período (YFPFR)
- i. Un “Recurso” está activado/encendido o no en un período (Y)
- j. Un “Recurso” se activa/enciende o no al principio de un período (YA)
- k. Un “Recurso” se desactiva/apaga o no al principio de un período (YD)
- l. Un “Recurso” produce más de un “Item en general” o no en un período (YW)
- m. Capacidad normal (C)
- n. Capacidad normal por turno (CT)
- o. Número de turnos (NT)
- p. Capacidad extra (CEX)
- q. Capacidad extra por turno (CEXT)
- r. Capacidad ociosa (COC)
- s. Capacidad ociosa por turno (COCT)

2. Almacenamiento

- a. Cantidad a almacenar/inventariar (IN)
- b. Cantidad por debajo del Stock de Seguridad Objetivo (SS)
- c. Capacidad de Almacenamiento (CIN)

3. Transporte

- a. Cantidad a transportar (TR)
- b. Transportar o no (YTR)
- c. Capacidad de transporte (CTR)

En lo que se refiere a las AI:

4. Compras

- a. Cantidad a comprar / subcontratar (CO)
- b. Comprar o no (YCO)

5. Ventas

- a. Cantidad a vender (VE)

- b. Cantidad a diferir (DIF)
- c. Cantidad a rechazar (REC)
- d. Vender o no (YVE)

Una vez expresadas de forma algebraica las distintas VECP ligadas a cada una de las AT/AI, se detalla cómo se formularía cada una de las Variables Locales.

Dicha **formulación** estará formada de **dos partes** claramente diferenciadas:

La **primera parte** de la Variable Local hará referencia a una **VECP ligada a una AT/AI concreta**. Dependiendo del Centro de Decisión, éste podrá definir más de una VECP sobre dicha AT/AI. Esta primera parte de la Variable Local, tal y como se desprende de su definición, estará directamente relacionada tanto con la definición del **Alcance/Frontera** de dicho Centro de Decisión como con el **Nivel Decisional** en el que se encuentra.

Por ejemplo, si el Centro de Decisión incluye en su Alcance la AT Producción (de cierta Etapa de la RdS/D) y está situado en el Nivel Decisional Operativo, se podrían definir dos Variables Locales, una con la VECP “cantidad a producir...”, y otra con la VECP “realizar un cambio de partida o no...”. Como puede apreciarse, por tratarse del Nivel Operativo se trataría de VECP ligadas a la “planificación de la ejecución” en dicha AT, en este caso Producción.

Desde el punto de vista algebraico, cada VECP se formulará de manera abreviada y en letras mayúsculas según se ha hecho anteriormente.

La **segunda parte** de la Variable Local afectará directamente a la VECP en cuestión, pero de manera diferente según se trate de aquellas ligadas a AT o a AI.

En cuánto a aquellas ligadas a las AT, éstas tendrán sentido en cuanto planifican unos **Ítems** que se “realizan” (producen, almacenan o transportan) en ciertos **Recursos** según unos **Períodos de Planificación**. Lo anterior está directamente relacionado con el Estado de Agregación de las diferentes “Categorías”, y más concretamente con la definición de los Tipos de Elementos de dicho Centro de Decisión.

Desde el punto de vista algebraico, los Tipos de Elementos anteriores se formularán mediante los **Índices** definidos en la Parte de Definición (I). Dichos Índices se colocarán como subíndices separados por comas a la derecha de la VECP.

En la Tabla 6-1 se muestra de manera tabular como se formularía una Variable Local ligada a una AT:

1. Una VECP ligada a una AT de una determinada Etapa de la RdS/D (según Alcance y Nivel Decisional del CD).
2. Unos Tipos de Elementos (representando los distintos Estados de Agregación de las diferentes “Categorías”) que responden a qué, donde y para cuánto tiempo se planifica la VECP en cuestión.

ALCANCE/ NIVEL DECISIONAL	ESTADOS DE AGREGACION - Índices Básicos		
Etapas RdS/D (AT / VECP)	¿Qué?	¿Dónde?	¿Para cuánto tiempo?
	Ítems en General	Recursos	Período de Planificación
PRODUCCIÓN - OPERACIONES	Ítem Grupo de Ítems	Alternativa/Línea Etapa (intra-Nodo)	Diario
ALMACENAMIENTO		Nodo	Semanal
TRANSPORTE		Puntos de Venta Grupo de Nodos	Bimensual Trimestral
		Grupos de Puntos de Venta Centros de Decisión	Cuatrimstral Semestral Anual

Tabla 6-1. Definición Tabular de las Variables Locales ligadas a las AT (elaboración propia)

Algunas consideraciones sobre la Tabla 6-1:

- En cuanto a los “Items en General” el usuario de la Metodología deberá indicar, si lo cree oportuno, si los Ítems o en su caso Grupos de Ítems se refiere a Materia Prima, Productos Intermedios o Productos Finales (ver Índices Complementarios correspondientes a los Índices Básicos “Ítems” y “Grupos de Ítems”).
- En cuanto a los “Recursos”, y en el caso particular de la AT Transporte se trataría más bien de “dónde a dónde”. Asimismo, el usuario de la Metodología deberá indicar, si lo cree oportuno, si los Nodos pertenecen a alguna de las Etapas Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje o Distribución (ver Índices Complementarios correspondientes al Índice Básico “Nodo”). Lo anterior dependerá si se el Alcance del CD afecta a AT pertenecientes a distintas Etapas (ó Sub-Etapas) de la RdS/D.

Por último, conviene tener presente las siguientes **reglas** a efectos del modelado analítico:

- La Variable Local siempre se definirá sobre **uno o más Índices**, ya que la Categoría “Período de Planificación” siempre existirá, tal y como se indicó en la Visión Decisional.
 - Ejemplo 1 (**C_t**): se puede definir la Variable “Capacidad Normal a reservar en un Mes” (en este caso la VECP Capacidad Normal sólo ha tenido sentido definirla sobre un Tipo de Elemento de la Categoría “Períodos de Planificación” y no de la Categoría “Ítems en general” ni la de “Recursos”²⁶).
 - Ejemplo 2 (**PR_{pf,t}**): “Cantidad a Producir de cada Producto Final en cada Nodo de la Etapa de Fabricación-Montaje en cada Mes” (en este caso la VECP Cantidad a Producir tiene sentido definirla sobre Tipos de Elementos correspondientes a las tres Categorías).
- La Variable Local se puede definir sobre **más de un Tipo de Elemento de una misma Categoría**.
 - Ejemplo (**PR_{pf,l,e,p,t}**): “Cantidad a Producir de cada Producto Final en cada Línea de cada Etapa (Intra-Nodo) de cada Nodo de la Etapa de Proveedores en cada Semana” (en este caso se han considerado los Tipos de Elemento Línea, Etapa Intra-Nodo y Nodo correspondientes a la Categoría “Recursos”).
- La Variable Local **sólo se definirá mediante Índices que por defecto corresponderán a Conjuntos Básicos**. En caso contrario, **esos Índices formarán Conjuntos Relacionales**, los cuales se deben tener en cuenta a efectos de modelado para facilitar la posterior resolución.
 - Ejemplo (**PR_{i,l,n,t}**): “cantidad a producir de cada Ítem en cada Línea de cada Nodo en cada Mes”.
 - En este caso se han definido cuatro Índices, entre los cuales, por defecto, se supone que corresponden a Conjuntos Básicos, $i \in I$, $l \in L$, $n \in N$ y $t \in T$, por lo que existirían $I*L*N*T$ posibles valores para dicha Variable. En caso que no fuera así, sería recomendable a efectos de modelado y posterior resolución, que

²⁶ En este caso no tendría sentido definir un índice básico de la Categoría “Ítems en general” y el índice básico, por ejemplo Nodo, que se definiría para la Categoría “Recursos” tendría un campo de existencia igual a 1.

se acotasen los posible valores, sin más que definir, en caso que así sea, Conjuntos Relacionales, como pudiera ser $i \in I(l)$ y $l \in L(n)$ ²⁷.

En cuánto a aquellas ligadas a las AI, éstas tendrán sentido en cuanto planifican unos **Ítems** que se compran/venden en/desde ciertos **Recursos** a otros **Recursos** según unos **Períodos de Planificación**. Lo anterior, al igual que antes, está directamente relacionado con el Estado de Agregación de las diferentes “Categorías”, y concretamente con la definición de los Tipos de Elementos de dicho Centro de Decisión.

Desde el punto de vista algebraico, los Tipos de Elementos anteriores se formularán mediante los Índices definidos en la Parte de Definición (I). Dichos Índices se colocarán como subíndices separados por comas a la derecha de la VECP.

En la Tabla 6-2 se muestra de tabularmente como se formularía una Variable Local ligada a una AI:

1. Una VECP ligada a una AI de una determinada Etapa de la RdS/D (según Frontera y Nivel Decisional del CD).
2. Unos Tipos de Elementos (representando los Estados de Agregación de las “Categorías”) que responden a qué, dónde, a quién y para cuánto tiempo se planifica dicha VECP.

FRONTERA / NIVEL DECISIONAL	ESTADOS DE AGREGACIÓN - Índices Básicos				
	Etapa RdS/D (AI / VECP)	¿Qué?	¿Dónde?	¿A quién?	¿Para cuánto tiempo?
		Ítems en General	Recursos (I)	Recursos (II)	Período de Planificación
COMPRAS	Ítem Grupo de Ítems	Etapa (intra-Nodo) Nodo Grupo de Nodos	Punto de Venta Grupos de Puntos de Venta Centros de Decisión	Diario	
VENTAS				Semanal Bimensual Trimestral Cuatrimestral Semestral Anual	

Tabla 6-2. Definición Tabular de las Variables Locales ligadas a las AI (elaboración propia)

²⁷ La definición de Conjuntos Locales Relacionales será muy importante cuando se formule Z^M (C^M y A^M) a partir de las Variables Locales.

Algunas consideraciones sobre la Tabla 6-2:

- En el caso de “a quién” se compra/vende, habrá que distinguir si la compra/venta se realiza a un Centro de Decisión perteneciente al Entorno Decisional o no (distinguiendo a su vez entre aquellos Centros de Decisión “vendedores” o “compradores”).
- En el caso de que la venta se realice “in situ” en los puntos de venta, se podrá omitir “dónde” se vende, puesto que en este caso coincidirían.

Un ejemplo de formulación de una Variable Local ligada a una AI podría ser:

- o Ejemplo ($VE_{gpf,d,pv,t}$): “Cantidad a Vender de cada Grupo de Productos Finales en cada Nodo de la Etapa Distribución a cada Punto de Venta en cada Trimestre” .

6.4.2.1.2 Variables de Decisión por Interdependencias

¿Cómo se formulan algebraicamente las **Variables por Interdependencias** (X_i^M)?

Desde el punto de vista algebraico, la formulación de las Variables por Interdependencia es análoga a la de las Variables Locales, si bien cabe reseñar lo siguiente:

- a. Aquellas Variables de Decisión que se plantean como **desviaciones de CD^M con respecto a las Variables Globales enviadas a modo de Instrucción desde CD^T**
 - i. Ejemplo 1: Respecto a un CD^{Tt} determinado se podría plantear la Variable por Interdependencia $IN_{gpf,d,t}^+$ ²⁸ “Desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada Grupo de productos Finales en cada Nodo de la Sub-Etapa de Distribución 1 al final de cada Trimestre”.
 - ii. Ejemplo 2: Respecto a un CD^{Te} determinado se podría plantear la Variable por Interdependencia $CO_{pf,t}$ “Desviación negativa sobre la cantidad “objetivo”²⁹ requerida

²⁸ Como puede observarse la desviación se expresará analíticamente mediante un supraíndice – ó + situado a la derecha de la VECP recibida a modo de Variable Global.

²⁹ Como se verá posteriormente, la desviación negativa tiene sentido en cuanto existe una Variable/Decisión Global enviada desde CD^T , “Cantidad requerida de Compras”, que actuará como un “objetivo” a cumplir por parte de CD^M con mayor o menor flexibilidad.

de Compras de cada Producto Final en cada Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje en cada Mes”.³⁰

- b. Aquellas Variables de Decisión que se plantean como “**anticipaciones**” respecto a CD^B , en un estadio previo al envío de Instrucciones.
 - i. Ejemplo 1: Respecto a un CD^{Bt} determinado se podría plantear la Variable por Interdependencia $ant_PR_{gpf,l,t}$ “Anticipación³¹ de la cantidad a producir de cada Grupo de Productos Finales en cada Línea de cada Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje en cada Trimestre.
 - ii. Respecto a un CD^{Be} determinado se podría plantear la Variable por Interdependencia $ant_VE_{pi,p,t}$ “Anticipación de la cantidad a vender de cada Producto Intermedio en/desde cada Nodo de la Etapa Proveedores en cada Semana”

6.4.2.2 Parámetros

La Parte de Definición (II) queda completada con la definición de los Parámetros, los cuales, del mismo modo que con las Variables de Decisión, se definirán sobre los Índices y Conjuntos anteriores.

Los Parámetros tendrán un único valor (caso Determinista³²) o una distribución de probabilidad (caso Aleatorio) y representarán “una característica o propiedad conocida/estimada de los Índices o Conjuntos”.

Los **Parámetros** corresponderían a toda la **Información de Entrada (Ie^M)** (tal y como se indicó en el Modelo Analítico de Referencia), de la que dispone un Centro de Decisión CD^M a la hora de tomar Decisiones, el cual, mediante un Modelo Decisional Z^M (compuesto de un Criterio C^M y un Campo de Decisión A^M), asignará valores a las Variables de Decisión X^M , previamente definidas.

³⁰ No obstante, el usuario de la Metodología podrá definir explícitamente qué CD^{Te} le ha enviado la Variable Global formulando la Variable por Interdependencia como $CO_{pf,f,cdo2,t}$ “Desviación negativa sobre la cantidad “objetivo” requerida de Compras de cada Producto Final en cada Nodo de la Etapa de Fabricación/Montaje al **Centro de Decisión Operativo 2** en cada Mes”.

³¹ No obstante, el usuario de la Metodología podrá omitir el texto “Anticipación de” ya que resulta evidente a partir de la formulación algebraica mediante el sufijo $_ant$.

³² En la presente Tesis sólo se abordará el caso Determinista, es decir, los Parámetros serán fijos y la Incertidumbre en la “Planificación” se tendrá en cuenta de manera implícita mediante Stocks de Seguridad.

Al igual que para las Variables de Decisión, un CD^M , dependiendo de cuál en su Alcance/Frontera, del Nivel Decisional en el que se ubica (Táctico u Operativo) y de las Interacciones Decisionales con los CDs pertenecientes a su Entorno deberá definir en su Modelo Decisional Z^M los siguientes **Parámetros (Ie^M)** (Figura 6-5) :

- **Parámetros Locales (Ie_i^M ó Ie^{MM})**
- **Parámetros por Interdependencia (Ie_i^M)**

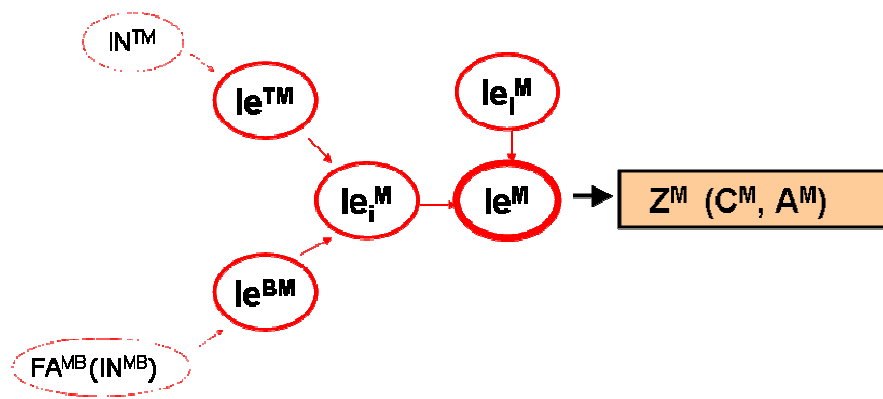


Figura 6-5. Detalle de la Información de Entrada Ie^M de un Modelo Decisional genérico Z^M .
(elaboración propia)

6.4.2.2.1 Parámetros Locales

¿Cómo se formulan algebraicamente las **Parámetros Locales (Ie_i^M ó Ie^{MM})** ?

Como ya se especificó en el Marco (Visión Informacional) del capítulo 4, los Parámetros Locales³³ se tratarían de aquellos Parámetros que:

- Desde el punto de vista **espacial** pertenecen al Alcance/Frontera de un CD^M genérico.
- Desde el punto de vista **temporal** son Parámetros que pertenecen propiamente al Nivel Decisional en el que se ubica el CD^M genérico en cuestión.
 - o Nivel Táctico: PECP³⁴ ligados a la planificación de la **capacidad** de las AT/AI.

³³ Aunque más bien se utilizó el concepto de Información de Entrada Local en vez de Parámetros Locales.

- Nivel Operativo: PECP ligados a la planificación de la **ejecución** de las AT/AI.

Asimismo, entre los anteriores Parámetros Locales se diferenciaron entre los Parámetros Locales “Internos” y los Parámetros Locales “Externos”, dependiendo de si estos se encontraban en el Alcance o en la Frontera respectivamente.

Desde el punto de vista algebraico se distinguen tres tipos de Parámetros Locales (\mathbf{Ie}_l^M):

1. c_l^M : Parámetros Locales (ingreso/coste)
2. a_l^M : Parámetros Locales (coeficientes tecnológicos)
3. $\max_l^M / \min_l^M / ig_l^M$: Parámetros Locales (RHS)

Para ello, en el Marco se enumeraron distintos PECP que potencialmente podrían incluirse (como guía orientativa) para la “Toma de Decisiones” en contextos de Planificación.

A continuación se enumeran nuevamente los Parámetros específicos que se consideran tanto a nivel de Ítems como de las AT/AI y la nomenclatura a utilizar desde el punto de vista algebraico, representándose de forma abreviada y con letras minúsculas:

En lo que se refiere a nivel de Ítem:

- a. Lista de Materiales (lismat)
- b. Peso (pes)
- c. Superficie (sup)
- d. Volumen (vol)

En lo que se refiere a las AT:

1. Producción-Operaciones

- a. Coste unitario de Producción-Operación (costpr – costop)
- b. Coste Fijo / Cambio en la Producción (costfpr)
- c. Coste Fijo/Cambio “medio” en la Producción (costmfpr)
- d. Tiempo unitario de Producción-Operación (tpr)
- e. Tiempo Fijo/Cambio en la Producción (tfpr)
- f. Tiempo Fijo/Cambio “medio” en la Producción (tmfpr)

³⁴ Parámetros Específicos en Contextos de Planificación.

- g. Lote Mínimo o Tiempo Mínimo requerido de Producción (l_{minpr}/ t_{minpr})
- h. Lote Máximo o Tiempo Máximo requerido de Producción-Operación (l_{maxpr}/ t_{maxpr})
- i. Lote Medio ó Tiempo Medio de Producción-Operación (l_{mpr})
- j. Lote de Producción-Operación (l_{pr})³⁵
- k. Rendimientos ($rend$)³⁶
- l. Capacidad normal (c ó c_{pr})³⁷
- m. Número de turnos (nt)
- n. Capacidad normal por turno (ct)
- o. Coste de Capacidad normal ($costc$)
- p. Coste de mantener un turno ($costt$)
- q. Máxima Capacidad extra ($maxcex$)
- r. Máxima Capacidad ociosa ($maxcoc$)
- s. Coste Capacidad extra ($costcex$)
- t. Coste Capacidad ociosa ($costcoc$)

2. Almacenamiento

- a. Capacidad de Almacenamiento/ Inventario (cin)
- b. Cantidad mínima a Almacenar ($minin$)
- c. Coste unitario de Inventario ($costin$)

³⁵ Normalmente este “lote” de producción tendrá como base el lote mínimo, a partir del cual, la producción se realizará según un múltiplo de dicho “lote”, a partir de la Variable de Decisión antes definida “número de lotes de producción (NLPR)”

³⁶ Se distinguirá a su vez entre $rendb$ y $rendm$, representando el coeficiente de productos “buenos” (aptos para la Venta) y el coeficiente de “malas” (defectuosas).

³⁷ Si en el Modelo se tuvieran en cuenta otros tipos de Capacidad Normal se formularían, en principio, como c_2 , c_3 y así sucesivamente. Por ejemplo podría existir una Capacidad Normal de Recursos Humanos y otra de Recursos Tecnológicos.

- d. Stock de Seguridad Objetivo (ss)
- e. Máxima cantidad por debajo con respecto al Stock de Seguridad objetivo (maxss)
- f. Coste por estar por debajo del Stock de Seguridad Objetivo (costss')

3. Transporte

- a. Capacidad de Transporte (ctr)
- b. Coste unitario de Transporte (costtr)
- c. Lote mínimo de Transporte (lmintr)
- d. Coste Fijo de Transporte (costftr)
- e. Tiempo de Transporte (ttr)

En lo que se refiere a las AI:

4. Compras

- a. Coste unitario de Compra (costco)
- b. Lote mínimo de Compra (lminco)

5. Ventas

- a. Cantidad demandada (dem)³⁸
- b. Ingreso (ing)
- c. Coste de diferir (costdif)
- d. Coste de rechazar (costrec)
- e. Máxima cantidad a diferir (maxdif)
- f. Máxima cantidad a rechazar (maxrec)
- g. Lote mínimo de Ventas (lminve)

³⁸ Se entiende en este caso que la demanda es **Independiente** (Previsión de Demanda), y por tanto el “Recurso” que “demanda” es un CD no perteneciente al Entorno Decisional, un Punto de Venta o un Grupo de Puntos de Venta. Otro caso distinto, es si la demanda fuera **dependiente** (Plan de Demanda /Requerimientos), la cual estaría generada por un CD perteneciente a su Entorno Decisional. Este último caso se analizará en el apartado de Parámetros por Interdependencia.

Una vez expresadas de forma analítica los distintos PECP ligados tanto a los Ítems en General como a cada una de las AT/AI, se detalla cómo se formularía cada uno de los Parámetros Locales.

Dicha formulación, tal y como se planteó en el capítulo anterior, estará formada de **dos partes** claramente diferenciadas:

La **primera parte** del Parámetro Local hará referencia a un **PECP ligado a una AT/AI concreta**. Dependiendo del Centro de Decisión, éste podrá definir más de un PECP sobre dicha AT/AI ³⁹. Esta primera parte del Parámetro Local, tal y como se desprende de su definición, estará directamente relacionado tanto con la definición del **Alcance/Frontera** de dicho Centro de Decisión como con el **Nivel Decisional** en el que se encuentra.

Por ejemplo, si el Centro de Decisión incluye en su Alcance la AT Producción (de cierta Etapa de la RdS/D) y está situado en el Nivel Decisional Operativo, se podrían definir dos Parámetros Locales, una con el PECP “tiempo de producción unitario...”, y otro con la PECP “coste fijo de realizar un cambio de partida...”. Como puede apreciarse, por tratarse del Nivel Operativo se trataría de PECP ligados a la “planificación de la ejecución” en dicha AT, en este caso Producción.

Desde el punto de vista algebraico, cada PECP se formulará de manera abreviada y en letras minúsculas según se ha hecho anteriormente.

La **segunda parte** del Parámetro Local afectará directamente al PECP en cuestión, pero de manera diferente según se trate de aquellos ligados a AT o a AI.

En cuanto a aquellos **ligados a las AT**, éstos tendrán sentido en cuanto existe una Variable Local a la cual acompañan, y por tanto se hace referencia a unos **Ítems** que se “realizan” (producen, almacenan o transportan) en ciertos **Recursos** según unos **Períodos de Planificación**. Lo anterior está directamente relacionado con el Estado de Agregación de las diferentes “Categorías”, y más concretamente con la definición de los Tipos de Elementos de dicho Centro de Decisión, al igual que se estableció para las Variables Locales.

Desde el punto de vista algebraico, los Tipos de Elementos anteriores se formularán mediante los Índices definidos en la Parte de Definición (I). Dichos Índices se colocarán como subíndices separados por comas a la derecha del PECP.

En la Tabla 6-3 se muestra de manera tabular como se formularía un Parámetro Local definida sobre una AT :

³⁹ Lo cuál estará directamente relacionado si se ha formulado más de una Variable Local para la AT en cuestión.

1. Un PECP ligado a la AT de una determinada Etapa de la RdS/D (según Alcance y Nivel Decisional del CD).
2. Unos Tipos de Elementos que responden a qué (o sobre qué Ítems en General actúa el PECP), dónde (en qué Recursos específicos se “realizan” los Ítems en General anteriores) y si su valor depende del Periodo de Planificación ⁴⁰.

ALCANCE/ NIVEL DECISIONAL	ESTADOS DE AGREGACION - Índices Básicos		
	Etapa RdS/D (AT / PECP)	¿Qué? Ítems en General	¿Dónde? Recursos	¿Para cuánto tiempo? Período de Planificación
PRODUCCIÓN - OPERACIONES	Ítem Grupo de Ítems	Alternativa/Línea Etapa (intra-Nodo)	Diario
ALMACENAMIENTO		Nodo	Semanal
TRANSPORTE		Puntos de Venta Grupo de Nodos Grupos de Puntos de Venta	Bimensual Trimestral Cuatrimestral Semestral Anual

Tabla 6-3. Definición Tabular de los Parámetros Locales ligados a las AT (elaboración propia)

Por último, conviene tener presente las siguientes **reglas** a efectos del modelado algebraico:

- Un Parámetro Local se definirá sobre uno o más Índices (o incluso, a diferencia de las Variables de Decisión, sin hacer referencia a ningún Índice ⁴¹)

⁴⁰ En muchos de los parámetros no existirá un Tipo de Elemento que haga referencia a la Categoría Período de Planificación, es decir, éste será constante a lo largo del Horizonte de Planificación.

⁴¹ En este último caso la definición del PECP ligado a una de las AT/AI sería suficiente, sin necesidad de utilizar Índices, por lo que se trataría de un Parámetro que tomaría un valor “**Constante**”, no dependiente de ningún Tipo de Elemento perteneciente a las Categorías “Ítems en general”, “Recursos” o “Períodos de Tiempo”.

- Ejemplo 1 ($\mathbf{tpr}_{gi,n,t}$) : “tiempo de producción (PECP ligado a la AT Producción) de un Grupo de Items (Índice ligado a la categoría “Ítems en General”) en cada Nodo (Índice ligado a la categoría “Recursos”) en cada Trimestre (Índice ligado a la categoría “Período de Planificación”). En este caso el Parámetro Local se ha definido sobre tres Índices pertenecientes a cada una de las tres Categorías.
- Ejemplo 2 ($\mathbf{cpr}_{l,t}$): “capacidad de producción (PECP ligado a la AT Producción) en cada Línea (Índice ligado a la Categoría “Recursos”) en cada Semana (Índice ligado a la Categoría “Período de Planificación”)”. En este Parámetro Local sólo existirían dos Índices y no existiría ningún Índice ligado a la Categoría “Ítems en General”.
- Ejemplo 3 (\mathbf{ctr}): “capacidad de transporte” (PECP ligado a la AT Transporte). En este Parámetro Local no existiría ningún Índice.
- Un Parámetro Local tendrá siempre menor o igual número de índices que la Variable Local a la cual acompañan. Lo primero dependerá de si el valor de dicho Parámetro es el mismo a lo largo del Campo de Existencia de algunos de los índices sobre los cuales se ha definido la Variable Local.
 - Ejemplo: ($\mathbf{tfpr}_{i,t}$): “tiempo fijo / cambio (PECP ligado a la AT Producción) de cada Ítem (Índice ligado a la Categoría “Ítems en General”) en cada Línea (Índice ligado a la Categoría “Recursos”)”. En este caso no existe ningún Índice ligado a la categoría “Período de Planificación” siendo que podría acompañar a la Variable Local $\mathbf{YPR}_{i,l,t}$
- Al igual que las Variables de Decisión, un Parámetro Local sólo se definirá mediante Índices Locales, y por defecto, estos corresponderán a Conjuntos Básicos. En caso contrario, como ocurrirá normalmente, esos Índices Locales formarán Conjuntos Relacionales, los cuales es necesario tener en cuenta a efectos de modelado y posterior resolución.
 - Por ejemplo se puede definir el Parámetro Local ($\mathbf{costpr}_{i,l,n,t}$) : “coste unitario de producción de cada Ítem en cada Línea de cada Nodo en cada Mes” . En este caso el Parámetro Local se ha definido sobre cuatro Índices, entre los cuales, por defecto, se supone que corresponden a Conjuntos Locales, $i \in I$, $l \in L$, $n \in N$ y $t \in T$, por lo que existirían $I * L * N * T$ posibles valores para dicho Parámetro Local. En caso que no fuera así, sería recomendable a efectos de modelado y resolución, que se tuvieran en cuenta sólo los valores que son posibles, sin más que definir, en caso que así sea, Conjuntos Relacionales, como pudiera ser $i \in I(l)$ y $l \in L(n)$.

En cuanto a aquellos **ligados a las AI**, éstos tendrán sentido en cuanto se refieren a unas Variables Locales formuladas a partir de VECP ligadas a las AI Compras y Ventas. Por tanto, los PECP se

formularán, en principio sobre los mismos Tipos de Elementos sobre los que se han definido estas últimas, es decir, sobre unos **Ítems** que se compran/venden en/desde ciertos **Recursos** a otros **Recursos** según unos **Períodos de Planificación**. Lo anterior, al igual que en el caso anterior, está directamente relacionado con el Estado de Agregación de las diferentes “Categorías”, y más concretamente con la definición de los Tipos de Elementos de dicho Centro de Decisión.

Desde el punto de vista algebraico, los Tipos de Elementos anteriores se formularán mediante los Índices definidos en la Parte de Definición (I). Dichos Índices se colocarán como subíndices separados por comas a la derecha del PECP.

En la Tabla 6-4 se muestra de manera tabular como se formularía un Parámetro Local ligado a una AI:

1. Un PECP ligado a la AI de una determinada Etapa de la RdS/D (según Frontera y Nivel Decisional del CD).
2. Unos Tipos de Elementos que responden a qué (qué Items en General se venden/compran), dónde (en qué Recursos específicos se “venden/compran”), a quién (a qué Recursos específicos se “venden/compran”) y si el valor del PECP en cuestión depende del Período de Planificación.

FRONTERA / NIVEL DECISIONAL	ESTADOS DE AGREGACIÓN - Índices Básicos			
Etapa RdS/D (AI / PECP)	¿Qué?	¿Dónde?	¿A quién?	¿Para cuánto tiempo?
	Ítems en General	Recursos (I)	Recursos (II)	Período de Planificación
COMPRAS	Ítem Grupo de Ítems	Etapa (intra-Nodo) Nodo Grupo de Nodos	Punto de Venta Grupos de Puntos de Venta Centros de Decisión	Diario
VENTAS				Semanal Bimensual Trimestral Cuatrimestral Semestral Anual

Tabla 6-4. Definición Tabular de los Parámetros Locales ligadas a las AI (elaboración propia)

6.4.2.2.2 Parámetros por Interdependencia

¿Cómo se formulan algebraicamente los **Parámetros por Interdependencia** (Ie_i^M)?

Los Parámetros por Interdependencias se tratarían de aquellos Parámetros que aparecen como consecuencia de las Relaciones de Interdependencia con otros Centros de Decisión pertenecientes al Entorno Decisional.

A diferencia de las Variables por Interdependencia, que sólo aparecen en determinados casos, los Parámetros por Interdependencia siempre existirán tanto en cuanto un Centro de Decisión tenga Entorno Decisional.

De forma análoga a las Variables por Interdependencia, se distinguen dos grandes tipos, dependiendo de si dicha interdependencia se originaba respecto a CD^T ó a CD^B .

En el contexto en el que se enmarca la presente Metodología (II), descrito al principio del capítulo, los parámetros por Interdependencia de un CD^M genérico respecto a CD^T provendrán de las Instrucciones enviadas desde estos últimos, y los parámetros por Interdependencia respecto a CD^B provendrán de los diversos grados de Anticipación que se realicen. Todo ello se puede ver reflejado en la Figura 6-6.

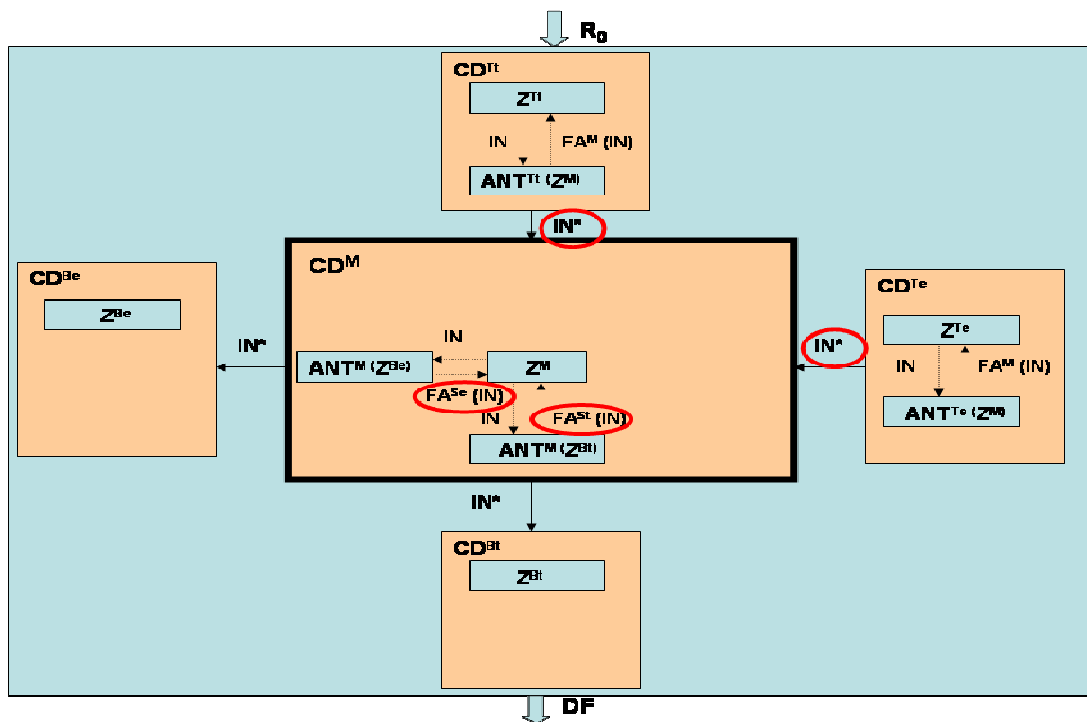


Figura 6-6. Parámetros por Interdependencia de un CD^M genérico (elaboración propia)

Más concretamente, los Parámetros por Interdependencia, se tratan de:

1. Aquellos Parámetros que provienen de la **Instrucciones enviadas desde CD^T** .
 - a. Parámetros que hacen referencia a las **Variables Globales** enviadas desde CD^T (que desde el punto de vista analítico se tratarán más bien de Decisiones ya tomadas que podrán ser o no cambiadas en función de si son Finales o no Finales).
 - b. Parámetros que hacen referencia a la **Información Global** (parámetros complementarios que acompañan a la Variable/Decisión Global anterior y que de algún modo facilitan la coordinación entre los diferentes Centros de Decisión ⁴²).
2. Aquellos Parámetros que se plantean como “**anticipaciones**” respecto a CD^B , en un estadio previo al envío de Instrucciones a estos últimos.
 - a. Desde el punto de vista **espacial** (CD^{Bc}) se trataría de anticipaciones de Parámetros que **no** pertenecen al Alcance/Frontera de dicho CD^M genérico.
 - b. Desde el punto de vista **temporal** (CD^{Bt}) se trataría de anticipaciones de Parámetros que pertenecen propiamente a un Nivel Decisional diferente en el que se ubica el CD^M genérico.

A continuación se realiza una clasificación de los Parámetros por Interdependencia (Ie_i^M) dependiendo de la interacción, en su caso, de CD^M con los CDs de su **Entorno**. Todos ellos, desde el punto de vista algebraico, irán precedidos del signo “**o**”, en caso que provengan de CD^T o precedidos del prefijo “**ant_**”, en caso que provengan de CD^B .

- a. Para cada CD^{Tt} : (Ie^{TtM})
 - i. Instrucciones enviadas desde CD^{Tt}
 1. o_x^{TtM} (o_{max}^{TtM} / o_{min}^{TtM} / o_{ig}^{TtM}): Parámetros (RHS) que CD^{Tt} envía a CD^M . Normalmente dichos Parámetros fueron previamente una Variable de Decisión de CD^{Tt} que era Global. Dicho Parámetro es el más importante y siempre existirá cuando haya Planificación Colaborativa.
 2. o_i^{TtM} :
 - a. o_{costx}^{+TtM} , o_{costx}^{-TtM} (o_c^{TtM}): indican los “costes” por desviaciones positivas o negativas sobre las

⁴² Como por ejemplo la máxima desviación permitida respecto a dicha Variable/Decisión Global, o los costes que supondría dicha desviación, etc.

Variables/Decisiones Globales “enviadas” desde cada CD^{Tt} y orientados a la coordinación.

- b. \circ_{\max}^{+TtM} , \circ_{\max}^{-TtM} (\circ_{\max}^{TtM} / \circ_{\min}^{TtM} / \circ_{ig}^{TtM}): indican las máximas desviaciones positivas o negativas que se permiten sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” desde cada CD^{Tt} y orientados a la coordinación.
- c. \circ_a^{TtM} : Parámetros (coeficientes tecnológicos) que CD^{Tt} envía a CD^M orientados a la coordinación.
- d. \circ_p^{TtM} : Otros Parámetros que CD^{Tt} envía a CD^M y que puedan servir como mecanismo de coordinación.

b. Para cada CD^{Te} : (Ie^{TeM})

i. Instrucciones enviadas desde CD^{Te}

- 1. \circ_x^{TeM} (\circ_{\max}^{TeM} / \circ_{\min}^{TeM} / \circ_{ig}^{TeM}): Parámetros (RHS) que CD^{Te} envía a CD^M . Normalmente dichos Parámetros fueron previamente una Variable de Decisión de CD^{Te} que era Global. Dicho Parámetro es el más importante y siempre existirá cuando haya Planificación Colaborativa.
- 2. \circ_i^{TeM} :
 - a. $\circ_{\text{cost}x}^{+TeM}$, $\circ_{\text{cost}x}^{-TeM}$ (\circ_c^{TeM}): indican los “costes” por desviaciones positivas o negativas sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” desde cada CD^{Te} y orientados a la coordinación.
 - b. \circ_{\max}^{+TeM} , \circ_{\max}^{-TeM} (\circ_{\max}^{TeM} / \circ_{\min}^{TeM} / \circ_{ig}^{TeM}): indican las máximas desviaciones positivas o negativas que se permiten sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” desde cada CD^{Te} y orientados a la coordinación.
 - c. \circ_a^{TeM} : Parámetros (coeficientes tecnológicos) que CD^{Tt} envía a CD^M orientados a la coordinación.
 - d. \circ_p^{TeM} : Otros Parámetros (para la coordinación) que CD^{Tt} envía a CD^M y que puedan servir como mecanismo de coordinación.

c. Para cada CD^{Bt} : (Ie^{BtM})

i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M

1. $ant_max_i^{Bt}$ / $ant_min_i^{Bt}$ / $ant_ig_i^{Bt}$: Parámetros Locales (RHS) de CD^{Bt} que anticipa CD^M .
2. $ant_c_i^{Bt}$: Parámetros Locales (ingreso/coste) de CD^{Bt} que anticipa CD^M .
3. $ant_a_i^{Bt}$: Parámetros Locales (coeficientes tecnológicos) de CD^{Bt} que anticipa CD^M .

d. Para cada CD^{Be} : (Ie^{MBe})

i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M

1. $ant_max_i^{Be}$ / $ant_min_i^{Be}$ / $ant_ig_i^{Be}$: Parámetros Locales (RHS) de CD^{Be} que anticipa CD^M .
2. $ant_c_i^{Be}$: Parámetros Locales (ingreso/coste) de CD^{Be} que anticipa CD^M .
3. $ant_a_i^{Be}$: Parámetros Locales (coeficientes tecnológicos) de CD^{Be} que anticipa CD^M .

Desde el punto de vista **algebraico**, la formulación de los Parámetros por Interdependencia es análoga a la de los Parámetros Locales, si bien cabe reseñar lo siguiente:

- a. Aquellos parámetros que provienen de **Instrucciones** enviadas desde CD^T (Variables Globales y en su caso, Información Global).
 - i. Ejemplo: Respecto a un CD^{Tt} determinado se podría plantear el Parámetro por Interdependencia $in_{gpf,d,t}$, “cantidad a almacenar objetivo de cada Grupo de Productos Finales en cada Nodo de la Etapa de Distribución en cada Trimestre”, proveniente de la Variable Global $IN_{gpf,d,t}$.
- b. Aquellos Parámetros que se plantean como “**Anticipaciones**” respecto a CD^B , en un estadio previo al envío de Instrucciones.

- ii. Ejemplo: Respecto a un CD^{Be} determinado se podría plantear el Parámetro por Interdependencia $ant_c_{p,t}$ “Anticipación⁴³ de la capacidad normal de producción de cada Nodo de la Etapa Proveedores en cada Mes”.

Finalmente es importante señalar de nuevo en este punto que los **Parámetros por Interdependencia** que se hayan considerado condicionarán el Modelo de Decisión Z^M , en una doble vertiente, como ya se apuntó en el Marco:

1. A la **Estructura** del Modelo Decisional Z^M :
 - a. sólo al Campo Decisional (A^M): coeficientes tecnológicos y capacidades/disponibilidades.
 - b. sólo al Criterio (C^M): coeficientes de beneficio/coste.
 - c. a ambos (C^M y A^M).
2. A la **Precisión** con la que se resuelva el Modelo Decisional Z^M (C^M , A^M), ya que estos Parámetros podrán conocerse exactamente o sólo de manera aproximada/estimada⁴⁴.
 - a. Los parámetros anticipados que sólo se sepan de manera aproximada se formularán, desde el punto de vista algebraico, con el signo #. Por ejemplo $ant_c_{p,t} \#$.

6.4.3 Parte de Modelado

6.4.3.1 Criterio

El **Criterio** es una función (Uniobjetivo) o varias funciones (Multiobjetivo) no restringidas que representan las preferencias del Centro de Decisión.

Dicho Criterio, al igual que se hará posteriormente con el Campo de Decisión, se expresará a partir de los 4 componentes (Índices, Conjuntos, Variables de Decisión y Parámetros) descritos en la Parte de Definición (I y II) del Modelo (Figura 6-7).

⁴³ No obstante, al igual que se hizo con las Variables por Interdependencia, el usuario de la Metodología podrá omitir el texto “Anticipación de” ya que resulta evidente a partir de la formulación analítica mediante el prefijo “ant_”.

⁴⁴ En este sentido tienen especial importancia los conceptos de Simetría/Asimetría de la Información apuntados en el Marco del capítulo 4, en la Visión Decisional.

Ambos, Criterio y Campo de Decisión, describen al Modelo Z^M de CD^M propiamente dicho, y se corresponden con la Estructura Principal definida en el Modelo Analítico de Referencia.

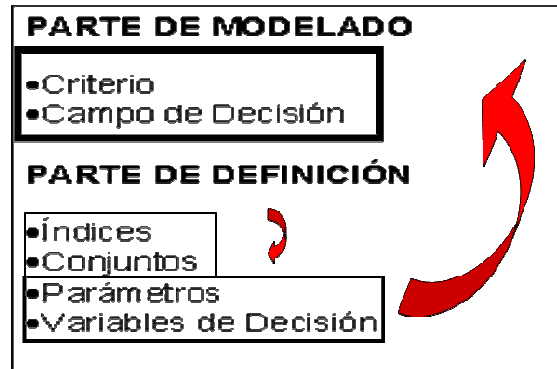


Figura 6-7. Interrelación entre Parte de Definición y de Modelado (elaboración propia)

Sea Z^M el Modelo Decisional de CD^M , de manera que $Z^M = Z^M(C^M, A^M)$, donde C^M es el Criterio y A^M el Campo de Decisión de CD^M .

La resolución de dicho Modelo Decisional Z^M pretende asignar un valor a las Variables de Decisión, Locales y por Interdependencia (X^M)⁴⁵, que proporcione el mejor valor del Criterio C^M y cumpla con las limitaciones expresadas en el Campo de Decisión A^M .

En caso de un Modelo Decisional Uniobjetivo se habla normalmente⁴⁶ de optimización (ya sea maximización o minimización), por lo que la mejor solución estará formada por aquellos valores de las Variables de Decisión que proporcionen un valor máximo o mínimo de la Función Objetivo (con la que se expresará matemáticamente el Criterio).

En el caso de un Modelo Decisional Multiobjetivo, al existir diversos objetivos se pueden combinar criterios de maximización y minimización.

En la Metodología (II) que se desarrolla en la presente Tesis sólo se contemplará el caso Uniobjetivo.

⁴⁵ Es importante reseñar que las Variables por Interdependencia correspondientes a la anticipación de las Variables Locales de otro CD son simplemente anticipaciones, ya que las decisiones finales se tomarán (en principio) por el CD^B que reciba la Instrucción correspondiente.

⁴⁶ A veces no se desea maximizar o minimizar y simplemente alcanzar un “Nivel de Aspiración” determinado. En lo sucesivo, para simplificar, sólo se hablará de optimización, ya sea maximización o minimización.

Por otra parte, en un contexto de Planificación Colaborativa, normalmente el Criterio no sólo tendrá en cuenta aspectos ligados bien al Alcance/Frontera del propio Centro de Decisión o bien a aspectos propiamente atribuibles al Nivel Decisional en cuestión, sino que además se tendrán en cuenta, en mayor o menor medida, aspectos referentes a otros Centros de Decisión del **Entorno Decisional**, ya que como se comentó anteriormente, las decisiones tomadas por unos afectan, restringen o condicionan a las decisiones tomadas por otros, aunque si bien el contexto Organizacional en el que se enmarca la Tesis, implica que todo lo anterior se haga en basa a un Objetivo Global Común.

Es por ello que en el **Criterio C^M** se distinguen, al igual que se hizo con las Variables de Decisión y con los Parámetros, dos componentes:

- **Criterio Local (C_i^M ó C^{MM})**
- **Criterio por Interdependencias (C_i^M)**

6.4.3.1.1 Criterio Local

El **Criterio Local (C_i^M ó C^{MM})**, estará formado por todos aquellos “conceptos” que están ligados a las distintas AT/AI que pertenecen al **Alcance/Frontera** de CD^M en un **Nivel Decisional** concreto, siempre que la Variable de Decisión y el Parámetro que originan dicho “concepto” se traten de una Variable Local y un Parámetro Local respectivamente.

La Metodología (II) que se desarrolla en la presente Tesis únicamente considerará “conceptos” de tipo **monetarios**, relacionados con Ingresos y Costes, y por tanto Beneficios. No obstante se podrían optimizar otros, como la Calidad, el Nivel Medio de Servicio al Cliente, etc.⁴⁷

¿Cómo se formula algebraicamente el **Criterio Local (C_i^M ó C^{MM})**?

Como se verá en el próximo apartado de manera más detallada, se plantean todos los posibles “Conceptos” (de ingreso/coste) que afectan o se definen sobre Parámetros y Variables Locales asociadas a las diferentes ATs (Producción-Operaciones, Transporte y Almacenamiento) y posteriormente aquellos Conceptos (de ingreso/coste) que afectan o se definen sobre Parámetros y Variables Locales asociadas a las diferentes AIs (Compras y Ventas).

⁴⁷ Otros posibles “conceptos” como la Calidad, Nivel Medio de Servicio al Cliente se podrán considerar “implícitamente” en el Modelo Z^M , a través del Criterio C^M mediante penalizaciones “monetarias” por incumplimiento de cierto Plan/Previsión de Demanda o a través del Campo de Decisión A^M mediante el establecimiento de cotas superiores/inferiores de incumplimiento.

En cuanto a la nomenclatura a utilizar, ésta es la misma que se ha utilizado para las Variables de Decisión pero con el prefijo COST o ING dependiendo de si se trata de un Coste o un Ingreso, respectivamente:

En lo que se refiere a las AT:

1. Producción-Operaciones

- a. Costes de Producción-Operación (COSTPR-COSTOP)
- b. Costes Fijos / Preparación (COSTYPR)
- c. Costes de realizar un cambio en la Producción o no (COSTYFPR)
- d. Costes de Capacidad Normal (COSTC)
- e. Costes de Capacidad Extra (COSTCEX)
- f. Costes de Ociosidad (COSTCOC)

2. Almacenamiento

- a. Costes de Almacenamiento-Inventario (COSTIN)
- b. Costes por estar por debajo del Stock de Seguridad Objetivo (COSTSS)
- c. Costes de Capacidad de Almacenamiento (COSTCIN)

3. Transporte

- a. Costes de Transporte (COSTTR)
- b. Costes Fijos de Transporte (COSTYTR)
- c. Costes de Capacidad de Transporte (COSTCTR)

En lo que se refiere a las AI:

4. Compras

- a. Costes de Compra/Subcontratación (COSTCO)

5. Ventas

- a. Ingresos por Ventas (INGVE)
- b. Costes por Diferir (COSTDIF)
- c. Costes por Rechazar (COSTREC)

Desde el punto de vista algebraico, cada “concepto” se representará en el Modelo de Programación Matemática PLEM a partir de un Parámetro Local (en nuestro caso únicamente Ingresos o Costes) multiplicado por una Variable Local, ambos sumados a lo largo de los campos de Existencia de los Índices con los que se definieron.

Respecto al sumatorio a lo largo del Campo de Existencia de dichos Índices cabe distinguir entre:

- Aquellos Índices cuyo Campo de Existencia está ligado al Conjunto Simple que han originado automáticamente.
- Aquellos Índices cuyo Campo de Existencia está ligado a un Conjunto Relacional (se trataría de aquellos que “dependen” de otro Índice “base” con el que también se han definido el Parámetro y Variable Local que dan lugar a dicho “concepto”).

Por ejemplo, si la Etapa es Distribución y la AT identificada es Almacenamiento, se puede incluir el “concepto” Local Costes de Almacenamiento (COSTIN), el cual estaría formado por el Parámetro Local Coste de Almacenar ($costin_{pf,d}$) multiplicado por la Variable de Decisión Local Cantidad a Almacenar ($IN_{pf,d,t}$).

En este caso habría un sumatorio según dichos Índices a lo largo de su Campo de Existencia distinguiendo entre:

- Aquellos cuyo Campo de Existencia está ligado al Conjunto Simple que han originado.
 - Por ejemplo: $d \in D$ ó $t \in T$
- Aquellos cuyo Campo de Existencia está ligado a un Conjunto Relacional.
 - Por ejemplo: $pf \in PF(d)$

$$\text{Por tanto, se tendría } COSTIN = \left(\sum_{pf \in PF(d)} \sum_d \sum_t costin_{pf,d} * IN_{pf,d,t} \right)^{48}$$

De manera general, cada “concepto” incluido en el Criterio Local estaría compuesto de un Parámetro Local $c_l^M_{i,r,t}$ multiplicado por una Variable de Decisión Local $X_l^M_{i,r,t}$ ⁴⁹

⁴⁸ Se puede observar en el sumatorio, que aquellos Índices cuyo Campo de existencia está ligado al del Conjunto Simple que originaron automáticamente, no hace falta asociarlos a este último. Por ejemplo, no hace falta poner $\left(\sum_{d \in D} \right)$ y es suficiente con $\left(\sum_d \right)$

Dicha multiplicación se produciría bajo un sumatorio que tendría sentido sólo para los diferentes valores que pudieran tomar los Índices con los que se definieron el Parámetro Local y la Variable de Decisión Local.

Los valores que estos Índices puedan tomar corresponderán a:

- Todo su Campo de Existencia (o de manera equivalente al Campo de Existencia del Conjunto Básico que se deriva de forma automática a partir del Índice en cuestión).
 - Por ejemplo: $i \in I, r \in R, t \in T$ (o tal y como se comentó anteriormente, simplemente i, r, t).
- Un Campo de Existencia que dependerá del valor que tome otro Índice también definido (o de manera equivalente al Campo de Existencia del Conjunto Relacional que se ha establecido entre dichos Índices).
 - Por ejemplo: $i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t)$ y $r \in R(t)$ ⁵⁰

Así pues, dicho “concepto” (genérico) asociado al Criterio Local quedaría algebraicamente de la siguiente forma:

$$\text{“Concepto”}(C_i^M) = \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{i \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} c_{i,r,t}^M * X_{i,r,t}^M \right)$$

6.4.3.1.2 Criterio por Interdependencias

En cuanto al **Criterio por Interdependencias** (C_{ik}^M) estará formado por aquellos “conceptos” que se deriven de las Relaciones de Interdependencia con su **Entorno** Decisional.

A continuación, se realiza una clasificación dependiendo de qué CDs pertenecientes a su Entorno Decisional provenga el “concepto” que se esté incluyendo en el Criterio:

- a. Para cada CD^{Tt} : C^{MTt}

⁴⁹ Sin pérdida de generalidad y por simplificar la forma analítica, una Variable de Decisión Local X_i^M se formularía únicamente a partir de las 3 Categorías: Ítems en general (i), Recursos (r) y Períodos de Planificación (t).

⁵⁰ Por razones de simplicidad se ha utilizado en algunos casos el mismo Índice Dependiente que el Base, como por ejemplo, $i \in I(i)$. Este por ejemplo correspondería a uno de los 6 grupos de Conjuntos Relacionales definidos anteriormente en la Metodología, concretamente aquél que se origina entre Tipos de Elementos de la Categoría “Ítems en General” (con el mismo o distinto Estado de Agregación).

- i. Instrucciones enviadas desde CD^{Tt}
 1. $COSTX^{+TtM}$: desviaciones positivas sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Tt} .
 2. $COSTX^{-TtM}$: desviaciones negativas sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Tt} .
- b. Para cada CD^{Te} : C^{MTe}
 - i. Instrucciones enviadas desde CD^{Te}
 1. $COSTX^{+TeM}$: desviaciones positivas sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Te} .
 2. $COSTX^{-TeM}$: desviaciones negativas sobre las Variables/Decisiones Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Te} .
- c. Para cada CD^{Bt} : C^{MBt}
 - i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M
 1. $ant_C_i^{Bt}$: “conceptos específicos” del Criterio Local de CD^{Bt} que anticipará CD^M .
- d. Para cada CD^{Be} : C^{MBe}
 - i. Anticipaciones a la Instrucción de CD^M
 1. $ant_C_i^{Be}$: “conceptos específicos” del Criterio Local de CD^{Be} que anticipará CD^M .

¿Cómo se formula algebraicamente el **Criterio por Interdependencias** (C_i^M) ?

La nomenclatura que se utilizará para los diferentes “conceptos” que aparecen en el Criterio por Interdependencias será análoga a la utilizada anteriormente para el Criterio Local.

Cualquier “concepto” siempre llevará un prefijo de Coste (COST) ó Ingreso (ING) seguido de (también en mayúsculas) la Variable por Interdependencia en cuestión:

- Ejemplo 1: ${}^{\circ}COSTIN^+$, que significaría el Coste de CD^M originado por la desviación positiva respecto de la Variable Global no Final IN (cantidad a almacenar), enviada a modo de Instrucción desde un CD^{Tt} .
- Ejemplo 2: $ant_COSTCEX$, que significaría el Coste (anticipado) de CD^M respecto al coste que le supone hacer horas extras a un CD^B .

Cada “concepto” se representará algebraicamente en el Modelo de Programación Matemática PLEM a partir de un Parámetro por Interdependencia multiplicado por una Variable por Interdependencia, ambos sumados a lo largo de los campos de Existencia de los Índices correspondientes.

Respecto al sumatorio a lo largo del Campo de Existencia de dichos Índices cabe distinguir entre:

- Aquellos que su Campo de Existencia está ligado al Conjunto Simple que han originado.
- Aquellos que su Campo de Existencia está ligado a un Conjunto Relacional.

Por ejemplo CD^{Tt} podría “enviar” la Variable Global no final Cantidad a Almacenar ($IN_{gpf,l,t}$), lo que podría originar Variables por Interdependencia en CD^M , en concreto aquellas debidas a posibles desviaciones positivas o negativas “permitidas” por CD^{Tt} . Se podría definir el concepto “Coste por desviación positiva respecto a la Cantidad a Almacenar” compuesto por el Parámetro por Interdependencia ($^{\circ}costpr^+_{gpf,l}$) multiplicado por la Variable de Decisión por Interdependencia ($^{\circ}PR^+_{gpf,l,t}$).

En este caso habría un sumatorio a lo largo de los Índices con los que se definieron el Parámetro y la Variable por Interdependencia, sabiendo que algunos de estos Índices pertenecerán a Conjuntos Básicos y otros a Conjuntos Relacionales, como pueda ser el caso de $gpf \in GPF(l)$.

En el ejemplo anterior se podría tener:

$$COSTPR^+ = \left(\sum_{gpf \in GPF(l)} \sum_l \sum_t ^{\circ} costpr^+_{gpf,l} * PR^+_{gpf,l,t} \right)$$

De manera general, cada “concepto” incluido en el Criterio por Interdependencia estaría compuesto de un Parámetro por Interdependencia $c_i^M_{i,r,t}$ multiplicado por una Variable de Decisión por Interdependencia $X_i^M_{i,r,t}$.⁵¹

Dicha multiplicación se produciría bajo un sumatorio que tendría sentido sólo para los diferentes valores que pudieran tomar los Índices con los que se definieron el Parámetro por Interdependencia y la Variable de Decisión por Interdependencia.

Los valores que estos Índices puedan tomar corresponderán a:

- Todo su Campo de Existencia (o el Campo de Existencia del Conjunto Básico que se deriva de forma automática a partir del Índice).

⁵¹ Sin pérdida de generalidad y por simplificar la forma algebraica, una Variable de Decisión por Interdependencia X_i^M se formulará, al igual que las Locales, únicamente a partir de las 3 Categorías: Ítems en general (i), Recursos (r) y Períodos de Planificación (t). El/los Tipo/s de Elemento/s concreto/ utilizado/s en cada Categoría podrán ser tanto Índices Locales como por Interdependencia.

- Por ejemplo: $i \in I, r \in R, t \in T$ (ó simplemente i, r, t).
- Un Campo de Existencia que dependerá del valor que tome otro Índice también definido (o el Campo de Existencia del Conjunto Relacional que se ha establecido entre dichos Índices).
 - Por ejemplo: $i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t)$ y $r \in R(t)$

Así pues, dicho “concepto” (genérico) asociado al Criterio por Interdependencia quedaría algebraicamente de la siguiente forma:

$$\text{“Concepto” } (C_i^M) = \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} c_{i,r,t}^M * X_{i,r,t}^M \right)$$

6.4.3.2 Campo de Decisión

El **Campo de Decisión** viene representado por una serie de **restricciones** expresadas mediante funciones que “restringen” el valor que pueden tomar cada una de las Variables de Decisión⁵².

Dicho Campo de Decisión se expresará también, al igual que el Criterio, a partir de los 4 componentes (Índices, Conjuntos, Variables de Decisión y Parámetros) descritos en la Parte de Definición (I y II) del Modelo.

Las restricciones consideradas en el Campo de Decisión se clasifican, al igual que se hizo con el Criterio, en dos Subcomponentes:

- **Campo de Decisión Local** (A_i^M ó A^{MM})
- **Campo de Decisión por Interdependencias** (A_i^M)

No obstante, desde el punto de vista algebraico y en lo que se refiere al Campo de Decisión se añadirán dos Subcomponentes más, como son el Campo de Decisión – Restricciones Lógicas y el Campo de Decisión – Restricciones Técnicas, las cuales se explicarán posteriormente.

6.4.3.2.1 Campo de Decisión Local

El **Campo de Decisión Local** (A_i^M ó A^{MM}) se compone de todas aquellas “limitaciones/restricciones” que están ligadas a las distintas AT/AI correspondientes al

⁵² A veces directamente sobre las Variables de Decisión.

Alcance/Frontera de CD^M en un **Nivel Decisional** concreto, siempre que las Variables de Decisión y los Parámetros ⁵³ que dan lugar a dicha limitación/restricción se traten de Variables Locales y Parámetros Locales respectivamente.

En la **Sub-Visión Micro-Decisional** del Marco se consideraron **tres grandes grupos**, compuestos a su vez de **restricciones “específicas”**, aplicables dependiendo de qué AT/AI se encuentren bajo el Alcance de CD^M .

A continuación se vuelven a enumerar dichos Grupos/Restricciones específicas con la nomenclatura que se utilizará desde el punto de vista algebraico.

1. Limitaciones de Materiales (LM)
2. Limitaciones de Recursos (LR)
3. Políticas (PO)

¿Cómo se formula algebraicamente el **Campo de Decisión Local** (A_l^M ó A^{MM}) ?

Las Restricciones Locales que se consideraran en el Campo de Decisión Local para cualquiera de los 3 Grupos definidos, se tratarían, a diferencia del Criterio, de Funciones Restringidas.

$$\min_{l, i, r, t}^M \leq \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} a_l^M * X_l^M \right) \leq \max_{l, i, r, t}^M$$

$$\forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t), r \in R(t)$$

Dicha Función estaría formada por Parámetros Locales (coeficientes tecnológicos) a_l^M que multiplican a las Variables de Decisión Locales X_l^M , o simplemente estas últimas.

Por otra parte, en dicha Función también existiría un sumatorio según los Índices Locales con los que se definieron los Parámetros y Variables Locales, en este caso sobre Conjuntos Locales Simples y Relacionales.

Es importante reseñar, que a diferencia del Criterio, aquí el sumatorio en los Índices Locales que se consideren se planteará para cada valor fijo que puedan tomar otros Índices diferentes a estos ⁵⁴, en caso que estos últimos no formen parte también de los sumatorios. Se utiliza el operador “para todo (\forall)” para expresar sobre qué valores de los Índices Locales tiene sentido plantear los anteriores sumatorios. En este caso también se utilizarán Conjuntos Locales Simples y Relacionales.

⁵³ Dichos parámetros corresponderían en este caso únicamente a los Coeficientes Tecnológicos y RHS.

⁵⁴ Sólo algunos o todos los demás.

Con objeto de generalizar la formulación algebraica de dichas restricciones se ha optado por utilizar al mismo tiempo los Parámetros Locales (RHS). De manera que se asignará a cualquier Función restringida un límite mínimo (min) y un límite máximo (max), de manera que, si dicha función se encuentra únicamente restringida inferiormente se deberá proporcionar un determinado valor para (min) y un valor de infinito para (max).

De la misma manera, si dicha Función se encuentra únicamente restringida superiormente se deberá proporcionar un determinado valor para (max) y un valor de menos infinito para (min).

Finalmente, si dicha Función se encuentra restringida superior e inferiormente, se deberá proporcionar un determinado valor para (max) y para (min), de manera que el operador de “=” se puede reflejar a través de un valor para (max) y para (min) tal que (max) = (min).

6.4.3.2.2 Campo de Decisión por Interdependencias

El **Campo de Decisión por Interdependencias** (A_i^M) se trata de aquellas restricciones que reflejan las Relaciones de Interdependencia del CD^M analizado con otros CDs pertenecientes a su **Entorno** Decisional.

El Campo de Decisión por Interdependencias (a diferencia del Criterio por Interdependencias), siempre existirá mientras se haya identificado al menos un CD perteneciente al Entorno Decisional.

De manera general, se puede constatar que dependiendo del **Tipo de Interdependencia**, estas restricciones reflejan la coherencia, consistencia, sincronización y flexibilidad dada por el nivel superior (CD^T) al inferior (CD^M), así como la manera en la que este último (CD^M) tiene en cuenta a su vez, a su nivel inferior (CD^B), anticipándolo en mayor o menor medida.

A continuación, se realiza una clasificación dependiendo de qué CDs pertenecientes al Entorno Decisional de CD^M provenga la restricción que se esté incluyendo en el Campo de Decisión:

1. Centros de Decisión superiores temporalmente (CD^{Tt}): A^{MTt}
 - En base a **Variables Globales Finales** (Decisiones Finales) enviadas a modo de IN desde CD^{Tt} , y consideradas por CD^M como Parámetros por Interdependencia, en concreto aquellos Parámetros que actúan como RHS, y que restringen inferior (min), superior (max) o igualmente (ig) a la Función definida por CD^M

$$\min_{(F)}^{TiM} \leq \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} a_{i,r,t}^M * X_{i,r,t}^M \right) \leq \max_{(F)}^{TiM}$$

$$\forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t), r \in R(t)$$

- La aparición de sumatorios en la Función expresa la necesidad de que CD^M pueda tener que ajustar las dimensiones (Índices) con las que toma sus decisiones con respecto a los CD^{Tt} , en este caso desagregándolas.
- Se tratan de “Restricciones Duras” que afectarán de manera definitiva al Campo de Decisión de CD^M , ya que se tratan de Decisiones que ya han sido implementadas previamente por CD^{Tt} .
- En base a **Variables Globales no Finales** enviadas a modo de IN desde CD^{Tt} , y consideradas por CD^M como Parámetros por Interdependencia pero con posibilidad de poder cambiar su valor.

$$\min_{(NF)}^{TtM} \leq \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} a_l^M * X_l^M \right) \leq \max_{(NF)}^{TtM} \quad \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), I \in I(t), r \in R(t)$$

ó

$$\left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} a_l^M * X_l^M + X^{-TtM} - X^{+TtM} \right) = ig_{(NF)}^{TtM} \quad \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), I \in I(t), r \in R(t)$$

- En este caso se tratan de restricciones blandas, ya que pueden ser “violadas” hasta cierto punto⁵⁵, puesto que tratan de obtener una desagregación consistente de decisiones (**Condiciones de Consistencia en la Desagregación ó CCD**) que aún no han sido implementadas por CD^{Tt} . La manera de formularlas debe ser fiel reflejo de la flexibilidad que CD^{Tt} otorgue a CD^M a la hora de tomar sus decisiones.

2. Centros de Decisión superiores espacialmente (CD^{Te}): A^{MTe}

- En base a Variables Globales Finales (Decisiones Finales) enviadas a modo de IN desde CD^{Te} , y consideradas por CD^M como Parámetros por Interdependencia, en concreto

⁵⁵ En la segunda formulación, aparecen Variables por Interdependencia (X^{+TtM} y X^{-TtM}) debidas a las posibles desviaciones respecto de la Variable Global No final enviada desde CD^{Tt} ($ig_{(NF)}^{TtM}$). Estas desviaciones, en el caso más general podrían tener cierta penalización ficticia en el Criterio y unas cotas inferiores y/o superiores en el Campo de Decisión. Todo lo anterior con el objetivo de facilitar esa Coordinación en aras de un Objetivo Global Común.

aquellos Parámetros que actúan como RHS, y que restringen inferior (min), superior (max) o igualmente (ig) a la Función definida por CD^M

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i')} \sum_{r \in R(r')} \sum_{t \in T(t')} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} \min_{(F)}^{TeM} \quad i', r', t' \leq \\
 & \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} a_l^M * X_l^M \right) \leq \\
 & \sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i')} \sum_{r \in R(r')} \sum_{t \in T(t')} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} \max_{(F)}^{TeM} \quad i', r', t' \\
 & \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t), r \in R(t) \\
 & \forall i', r', t', i' \in I'(i'), r' \in R'(r'), t' \in T'(t'), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')
 \end{aligned}$$

- La aparición de sumatorios no sólo en las Función sino también en los límites mínimo (min) y máximo (max) expresa la necesidad de que CD^M pueda tener que ajustar las dimensiones (Tipos de Elementos) con las que toma sus decisiones con respecto a los CD^{Te}⁵⁶, en este caso, a diferencia de los CD^{Tt}, existiendo la posibilidad de tener que agregar algunas de ellas. Además, en la mayoría de ocasiones, no habrá que agregar ni desagregar y simplemente “relacionar”.
- Por otra parte, el hecho de que en un sumatorio las Categorías “Ítems en General” (i), “Recursos” (r) y “Períodos de Planificación” (t) aparezcan con y sin prima, intenta reflejar que si en uno de los sumatorios aparece una dimensión correspondiente a cualquiera de las Categorías, en el otro no puede aparecer y viceversa, puesto que es uno de los CDs (ya sea CD^M ó CD^{Te}) el que toma las decisiones más o menos agregadas con respecto a una dimensión.
- En base a **Variables Globales no Finales** enviadas a modo de IN desde CD^{Te}, y consideradas por CD^M como Parámetros por Interdependencia pero con posibilidad de cambiar su valor.

⁵⁶ Si es que esto no se ha hecho con anterioridad, es decir, ha habido un trabajo previo de coordinación en el proceso de toma de decisiones para definir un mismo grado de detalle por parte de los CDs para tomar sus decisiones, ya que en ese caso los sumatorios no tendrían sentido.

$$\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} \min_{(NF)}^{TeM} X_{i',r',t'} \leq$$

$$\left(\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} a_l^M * X_l^M \right) \leq$$

$$\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} \max_{(NF)}^{TeM} X_{i',r',t'}$$

$\forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')$

$\forall i', r', t', i' \in I'(i'), r' \in R'(r'), t' \in T'(t'), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')$

6

$$\left(\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} a_l^M * X_l^M \right) + X_{i',r',t',t'}^{-TeM} - X_{i',r',t',t'}^{+TeM} =$$

$$\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} ig_{(NF)}^{TeM} X_{i',r',t'}$$

$\forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')$

$\forall i', r', t', i' \in I'(i'), r' \in R'(r'), t' \in T'(t'), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')$

- En este caso se tratan de restricciones blandas, ya que pueden ser “violadas” hasta cierto punto, puesto que tratan de obtener una desagregación/agregación/relación consistente de decisiones (**Condiciones de Consistencia en la Coordinación ó CCD**) que aún no han sido implementadas por CD^{Te}. La manera de formularlas debe ser fiel reflejo de la flexibilidad que CD^{Te} otorgue a CD^M a la hora de tomar sus decisiones, propias de un contexto organizacional.

3. Centros de Decisión inferiores temporalmente (CD^{Bt}): A^{MBt}

- En base a la anticipación de cómo responderá CD^{Bt} ante las **Variables Globales No Finales** enviadas a modo de IN desde CD^M, lo cuál facilitará/mejorará/flexibilizará las Condiciones de Consistencia en la Desagregación posteriormente planteadas por CD^{Bt}.

$$\left(\sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i' \in I'(r')} \sum_{i' \in I'(t')} \sum_{r' \in R'(t')} ant_a^{BtM} * ant_X^{BtM} + ant_X^{-MBt} - ant_X^{+MBt} = X_{NF}^{MBt} \right)$$

$\forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i' \in I'(r'), i' \in I'(t'), r' \in R'(t')$

- En base a la anticipación de **Parámetros y Variables del Campo de Decisión Local de CD^{Bt}** que pueden afectar a las Variables de Decisión en general de CD^M y por tanto a las Variables de Decisión por Interdependencia de CD^M respecto de CD^{Bt}

$$\begin{aligned}
 & ant_min_{i,r,t}^{Bt} \leq \\
 & \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{I \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} ant_a_{i,r,t}^{Bt} * ant_X_{I,i,r,t}^{Bt} \right) \leq \\
 & ant_max_{I,i,r,t}^{Bt} \\
 & \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), I \in I(t), r \in R(t)
 \end{aligned}$$

- Dicha Función sería análoga a la planteada anteriormente para el caso el Campo de Decisión Local, aunque en este caso formada por Parámetros y Variables por Interdependencia correspondientes a la anticipación de Parámetros y Variables Locales de CD^{Bt}.
- En dicha Función también existiría un sumatorio según los Índices con los que se definieron Parámetros y Variables por Interdependencia. Dicho sumatorio, según los Índices que se consideren, se planteará para cada valor fijo que puedan tomar otros Índices diferentes a estos, en caso que estos últimos no formen parte también de los sumatorios.
- Como ya se ha dicho, ant_min^{Bt} y ant_max^{Bt} se tratarán de Parámetros por Interdependencia “anticipados”. Tal y como se comentó en apartados anteriores, en caso que no se sepan con certeza y sean estimativos ⁵⁷ llevarán el signo #, es decir, ant_min^{Bt} # y ant_max^{Bt} #.

4. Centros de Decisión inferiores espacialmente (CD^{Bc}) : A^{MBe}

- En base a la anticipación de cómo responderá CD^{Bc} ante las **Variables Globales No Finales** enviadas a modo de IN desde CD^M, lo cuál facilitará/mejorará/flexibilizará las Condiciones de Consistencia en la Coordinación posteriormente planteadas por CD^{Bc}.

$$\begin{aligned}
 & \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{I \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} ant_a_{i,r,t}^{Bc} * ant_X_{I,i,r,t}^{Bc} \right) + ant_X_{i,i',r',t,t'}^{-MBe} - ant_X_{i,i',r',t,t'}^{+MBe} = \\
 & \sum_{i'} \sum_{r'} \sum_{t'} \sum_{i \in I(i')} \sum_{r' \in R(r')} \sum_{t' \in T(t')} \sum_{i \in I(r')} \sum_{I \in I(t')} \sum_{r \in R(t')} ig_{(NF)}^{MBe}_{i',r',t'} \\
 & \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), I \in I(t), r \in R(t) \\
 & \forall i', r', t', i' \in I(i'), r' \in R(r'), t' \in T(t'), i' \in I(r'), I' \in I(t'), r' \in R(t')
 \end{aligned}$$

⁵⁷ Dichos **Parámetros por Interdependencia anticipados** se conocerán o con **certeza**, debido a un intercambio de información relevante propia de un contexto Organizacional o de manera **aproximada**, debido a una incertidumbre intrínseca a algún Parámetro (por razones de decalaje en el tiempo entre la Toma de Decisiones) o a que existe un deseo por ocultar dicho Parámetro por razones de privacidad.

- En base a la anticipación de **Parámetros y Variables del Campo de Decisión Local de CD^{Be}** que pueden afectar a las Variables de Decisión en general de CD^M y por tanto a las Variables de Decisión por Interdependencia de CD^M respecto de CD^{Be}

$$\begin{aligned}
 & ant_min_{l_{i,r,t}}^{Be} \leq \\
 & \left(\sum_i \sum_r \sum_t \sum_{i \in I(i)} \sum_{r \in R(r)} \sum_{t \in T(t)} \sum_{i \in I(r)} \sum_{i \in I(t)} \sum_{r \in R(t)} ant_a_{l_{i,r,t}}^{Be} * ant_X_{l_{i,r,t}}^{Be} \right) \leq \\
 & ant_max_{l_{i,r,t}}^{Be} \\
 & \forall i, r, t, i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), i \in I(t), r \in R(t)
 \end{aligned}$$

- Dicha Función sería análoga a la planteada anteriormente para el caso el Campo de Decisión Local, aunque en este caso formada por Parámetros y Variables por Interdependencia correspondientes a la anticipación de Parámetros y Variables Locales de CD^{Be}.
- En dicha Función también existiría un sumatorio según los Índices con los que se definieron los Parámetros y Variables por Interdependencia. Dicho sumatorio, según los Índices que se consideren, se planteará para cada valor fijo que puedan tomar otros Índices diferentes a estos, en caso que estos últimos no formen parte también de los sumatorios.

6.4.3.2.3 Campo de Decisión: restricciones lógicas & técnicas

Además de las restricciones ligadas al Campo de Decisión Local y al Campo de Decisión por Interdependencias, existen otros dos tipos de restricciones, como son las Lógicas y las Técnicas, que se describen en este capítulo porque son propias del modelado algebraico.

Las **restricciones Lógicas** representan relaciones, en ocasiones formuladas artificialmente, para que el modelo sea coherente.

$$\min_g^M (X^M) \leq F_g(X^M) \leq \max_g^M (X^M)$$

Siendo:

- $F_g(X^M)$: función que se establece entre Variables de Decisión del CD^M
- $\min_g^M (X^M)$ y $\max_g^M (X^M)$: límites superior e inferior de dicha relación.

Las **restricciones Técnicas** representan el límite inferior y superior, respectivamente, de las variables de decisión X^M y, por tanto, establecen el campo de existencia de dichas Variables.

$$\min_c^M (X^M) \leq X^M \leq \max_c^M (X^M)$$

Siendo:

- X^M : las Variables de Decisión del CD^M
- $\min_c^M (X^M)$ y $\max_c^M (X^M)$: límites superior e inferior de las Variables de Decisión.

6.5 Metodología (II) para el Modelado Determinista basado en Programación Matemática y la Resolución/Evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa en Redes de Suministro / Distribución (RdS/D).

6.5.1 1er Bloque: Modelado determinista basado en PLEM de un Centro de Decisión genérico asociado a cada una de las Actividades Decisionales del Proceso

En este **1er Bloque** de la Metodología (II) se indican los **pasos que deberá seguir cualquier Centro de Decisión genérico asociado a cualquiera de las Actividades Decisionales identificadas** previamente en el modelado del Proceso, para desarrollar un Modelo Analítico de Ayuda a la Toma de Decisiones, en particular, un **Modelo Determinista basado en Programación Matemática (PLEM)**.

Posteriormente, en un **2º bloque**, se abordará, también metodológicamente, **cómo se “enlazan” los anteriores Modelos individuales**, ya que la finalidad última de la Metodología (II) es el **Modelado determinista basado en PLEM del Proceso de Planificación Colaborativa** (ó del conjunto de las Actividades Decisionales identificadas en el mismo) **en una RdS/D, y cómo éste debe ser ejecutado/validado de forma integrada para cuantificar/evaluar el grado de Planificación Colaborativa actual (o AS-IS)**.

Para aplicar el 1er Bloque de la Metodología (II) es necesario, por una parte, la visión Macro (conceptual) obtenida del Proceso mediante la aplicación de la Metodología (I) descrita en el capítulo 5, en el que se señalaron los distintos tipos de interdependencias e información intercambiada entre las diferentes actividades Decisionales identificadas y por otra parte la visión Micro (Sub-Visión Micro

Decisional del Marco descrito en el capítulo 4), en cada uno de los Centros de Decisión asociados a cada una de las Actividades Decisionales .

Por tanto, en este 1er Bloque de la Metodología (II) se establecen los siguientes pasos:

1. **Caracterización cualitativa (conceptual) de los diferentes Centros de Decisión.**
2. **Definición de los Modelos deterministas basados en PLEM para cada uno de los Centros de Decisión** (de acuerdo a la descripción detallada de cada uno de sus componentes analizada en el apartado anterior).

6.5.1.1 Caracterización cualitativa de los diferentes Centros de Decisión

Para el Modelado Determinista basado en PLEM de los diferentes Centros de Decisión asociados a las Actividades Decisionales del Proceso, es importante previamente la **caracterización cualitativa de cada uno de ellos desde el punto de vista de la Toma de Decisiones**, aspecto que se ha analizado en la Sub-Visión Micro-Decisional y la Visión Informacional (Micro) del Marco descrito en el capítulo 4.

Además, como se dijo anteriormente, lo anterior se complementa con todos los aspectos relativos a las **Relaciones de Interdependencia, tanto la debida a Anticipaciones (ANT) como la debida a Instrucciones (IN)**, previamente analizados en el Modelado del Proceso mediante la Metodología (I), aunque **en este caso ya definidos de manera detallada**.

Se trata de plantear para cada uno de los CDs de manera individual, qué tipos de decisiones específicas toman, en base a qué objetivos y cuáles son las posibles limitaciones existentes. Además será necesario conocer cuál es la información de entrada de que dispone cada CD en el momento de la Toma de Decisiones, es decir, en la obtención de planes tácticos y/u operativos con una serie de características temporales.

Todo lo anterior, en escenarios colaborativos, se verá afectado de ciertos “componentes por Interdependencia” (además de los “componentes locales”) como consecuencia de las Relaciones por Interdependencia analizadas anteriormente en el Modelado del Proceso.

Por tanto, para cada uno de los CDs se establecen los siguientes **pasos** para su **caracterización cualitativa**:

1. A partir de la Sub-Visión Micro-Decisional:
 - Señalar las **características Temporales** de los distintos Planes Tácticos y/u Operativos realizados, indicando:
 - i. Horizonte
 - ii. Período de Planificación
 - iii. Período de Replanificación

- Señalar qué tipo de Decisiones se toman, a modo de **Variables de Decisión**, distinguiendo entre:
 - i. Locales
 - ii. Por Interdependencias
 - Señalar qué objetivos se intentan optimizar, a modo de **Criterio**, distinguiendo entre:
 - i. Local
 - ii. Por Interdependencias
 - Señalar qué tipo de restricciones limitan el valor de las Decisiones tomadas, a modo de **Campo de Decisión**, distinguiendo entre:
 - i. Local
 - ii. Por Interdependencias
2. A partir de la Visión Informacional (Micro):
- Señalar de qué tipo de información de entrada se dispone para la Toma de Decisiones, a modo de **Parámetros**, distinguiendo entre:
 - i. Locales
 - ii. Por Interdependencias

Una vez caracterizados cualitativamente cada uno de los CDs, es necesario **conocer en detalle cuál es la Información (parámetros) por Interdependencias**, y más concretamente aquella que **un CD intercambia con los demás una vez éste ha resuelto su modelo de decisión**.

Cabe remarcar en este punto la **conexión con el modelado integrado del Proceso realizado en el capítulo anterior mediante la Metodología (I)**, y especialmente, el análisis que se hizo de la información intercambiada entre los diferentes CDs, a modo de Instrucciones y Anticipaciones. Dicho análisis previo determina (a nivel Macro) el componente “por interdependencias”, propio de escenarios de Planificación Colaborativa, y que en este punto se debe explicitar a Nivel Micro.

En lo que respecta a la Información de Entrada que procede de las distintas Anticipaciones llevadas a cabo por los diferentes CDs (respecto de CD^B), ésta se supone que ya ha sido recogida en la Sub-Visión Micro-Decisional indicada anteriormente, afectando indistintamente a sus Campos de Decisión y/o Criterio.

No obstante, en lo que respecta a la **Información de Entrada por Interdependencias que procede de las distintas Instrucciones** (compuestas tanto por Variables Globales, como en su caso, por Información Global complementaria), ésta no se conoce hasta que el/los CD^T han resuelto sus modelos de decisión (en este caso basados en PLEM).

Por su especial relevancia, no tanto para el posterior modelado matemático como para la resolución y evaluación integrada de los mismos, la Metodología (II) recoge de manera ordenada en la Tabla 6-5 cuál ha sido la Información de Entrada por Interdependencias obtenida a nivel Micro. En ella se indica por una parte cuál es el CD origen y por otra parte quiénes son los CDs destinatarios. El CD origen establecerá un tipo de interdependencia (Temporal o Espacial) con cada uno de ellos y les transmitirá, una vez resuelto su Modelo de Decisión, unas Instrucciones, compuestas de Variables Globales, como en su caso Información Global complementaria para facilitar la coordinación conjunta. Finalmente tanto las Variables Globales como la Información Global se convertirán en Información de Entrada por Interdependencias para los CDs destinatarios, afectando a sus Modelos de Decisión, de la manera que se relató previamente en el apartado 6.4.3.

CD origen	Tipo de Interdependencia	Decisión Transmitida a modo de IN		CD destinatario	Información de Entrada (Parámetros por Interdependencia)
		Variables Globales	Información Global		

Tabla 6-5 Caracterización cualitativa de los CDs: Información de Entrada por Interdependencias relativa a Instrucciones (elaboración propia)

Por último hay que reseñar, que este 1er bloque de la Metodología (II), al caracterizar cualitativamente los distintos CDs en función del modelado matemático posterior, puede sugerir/proponer algunos cambios en el modo en el que se toman las Decisiones, siempre que éstas tengan un sentido y sean consensuadas con los responsables de dichos CDs.

La razón fundamental estriba en que la segunda parte de esta Metodología (II), tiene como objetivo el **Modelado determinista basado en Programación Matemática del Proceso de Planificación Colaborativa** (y no otras formas en las que se podrían estar tomando las decisiones). Dicho modelado exige en muchas ocasiones que las decisiones se tomen de forma diferente, para poder formular y posteriormente resolver/interpretar los Modelos matemáticos individuales (de los diferentes decisores) y evaluar el Proceso en general, en el que existe una interconexión entre los anteriores Modelos, propia de escenarios colaborativos.

6.5.1.2 Modelado determinista basado en PLEM de cada uno de los Centros de Decisión

Una vez caracterizados desde el punto de vista cualitativo cada uno de dichos CDs, se formulan los Modelos deterministas basados en PLEM de cada uno de ellos, teniendo en cuenta todos los aspectos descritos previamente en el apartado 6.4.

Sea Z^M el Modelo Decisional de un CD^M genérico, con la siguiente estructura, compuesta por un conjunto de Partes y Componentes:

- **Parte de Definición**
 - a. **Parte de Definición (I)**
 1. Índices
 2. Conjuntos
 - b. **Parte de Definición (II)**
 1. Variables de Decisión
 2. Parámetros
- **Parte de Modelado**
 1. Criterio
 2. Campo de Decisión

Todos los aspectos relativos a las posibles **Anticipaciones (ANT)**, vendrán reflejados en la Parte de Definición de los Modelos Decisionales individuales, en la generación de las Variables de Decisión y los Parámetros considerados por cada uno de los CDs, ya que se considerarán tanto “**Parámetros por Interdependencia**” como, en su caso, “**Variables de Decisión por Interdependencia**”. Además, dichos aspectos relativos a las ANT también afectarán posteriormente a la Fase de Modelado, en la generación del Criterio y del Campo de Decisión de cada uno de dichos CDs, ya que también se considerará el “**Criterio por Interdependencias**” y el “**Campo de Decisión por Interdependencias**”.

Por otra parte, como ya se señaló, todos los aspectos relativos a las **Instrucciones (IN)**, ligados a la información de carácter decisional intercambiada entre los diferentes CDs, necesitarán de la **correcta ejecución de las diferentes Actividades Decisionales según la secuencia de ejecución señalada previamente en el Modelado del Proceso, mediante la Metodología (I)**. Estas Instrucciones estaban compuestas en el caso más general de Variables/Decisiones Globales y de Información Global.

A continuación se detallan los **pasos** a seguir para **obtener de forma metodológica cada uno de los Componentes**, tanto de la Parte de Definición (I y II) como, posteriormente, la Parte de Modelado.

6.5.1.2.1 Parte de Definición (I)

6.5.1.2.1.1 Índices

Para la definición de los Índices de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir los **Índices Locales**
 - a. Considerar el **Alcance** de CD^M
 - iii. Considerar la Categoría **“Ítems en General”** y para cada una de las Etapas/Sub-Etapas (Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución) y a su vez para cada AT identificada en las mismas:
 1. Definir uno o más Tipos de Elementos (de mayor a menor estado de agregación).
 2. Nombrar dichos Tipos de Elementos mediante Índices Locales (Básicos ó Complementarios).
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Índices Locales.
 - iv. Considerar la Categoría **“Recursos”** y para cada una de las Etapas/Sub-Etapas y a su vez para cada AT identificada en las mismas:
 4. Definir uno o más Tipos de Elementos (de mayor a menor estado de agregación).
 5. Nombrar dichos Tipos de Elementos mediante Índices Locales.
 6. Definir el Campo de Existencia de dichos Índices Locales.
 - v. Considerar la Categoría **“Períodos de Planificación”**
 7. Definir 1 ó 2 Índices Locales en función de si el Alcance abarca Actividades sólo del Nivel Decisional Táctico u Operativo o en ambos, respectivamente.
 8. Nombrar dicho/s Índice/s Local/es Básico/s.
 9. Definir el Campo de Existencia de dicho/s Índice/s Local/es.
 2. Definir los **Índices por Interdependencia**

- a. Considerar el **Entorno** de CD^M
 - i. Considerar la Categoría “**Ítems en General**” y para cada una de las Etapas/Sub-Etapas (Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución) y a su vez para cada AT identificada en el Alcance de los CD pertenecientes al Entorno Decisional:
 1. Definir los Tipos de Elementos que permitirán desagregar/agregar o simplemente relacionar las decisiones tomadas por los CD pertenecientes al Entorno Decisional (enviadas a modo de Instrucción)
 2. Nombrar dichos Tipos de Elementos mediante Índices por Interdependencia.
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Índices por Interdependencia.
 - ii. Considerar la Categoría “**Recursos**” y para cada una de las Etapas/Sub-Etapas (Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución) y a su vez para cada AT identificada en el Alcance de los CD pertenecientes al Entorno Decisional:
 1. Definir los Tipos de Elementos que permitirán desagregar/agregar o simplemente relacionar las decisiones tomadas por los CD pertenecientes al Entorno Decisional (enviadas a modo de Instrucción)
 2. Nombrar dichos Tipos de Elementos mediante Índices por Interdependencia.
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Índices por Interdependencia.
 - iii. Considerar la Categoría “**Períodos de Planificación**”.
 1. Definir otro tipo de Elemento (con menor o mayor estado de agregación) que permitirán desagregar/agregar o simplemente relacionar las decisiones tomadas por los CD pertenecientes al Entorno Decisional (enviadas a modo de Instrucción)
 2. Nombrar dicho Tipos de Elementos mediante un Índice por Interdependencia.
 3. Definir el Campo de Existencia de dicho Índice por Interdependencia.

En la Figura 6-8 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:

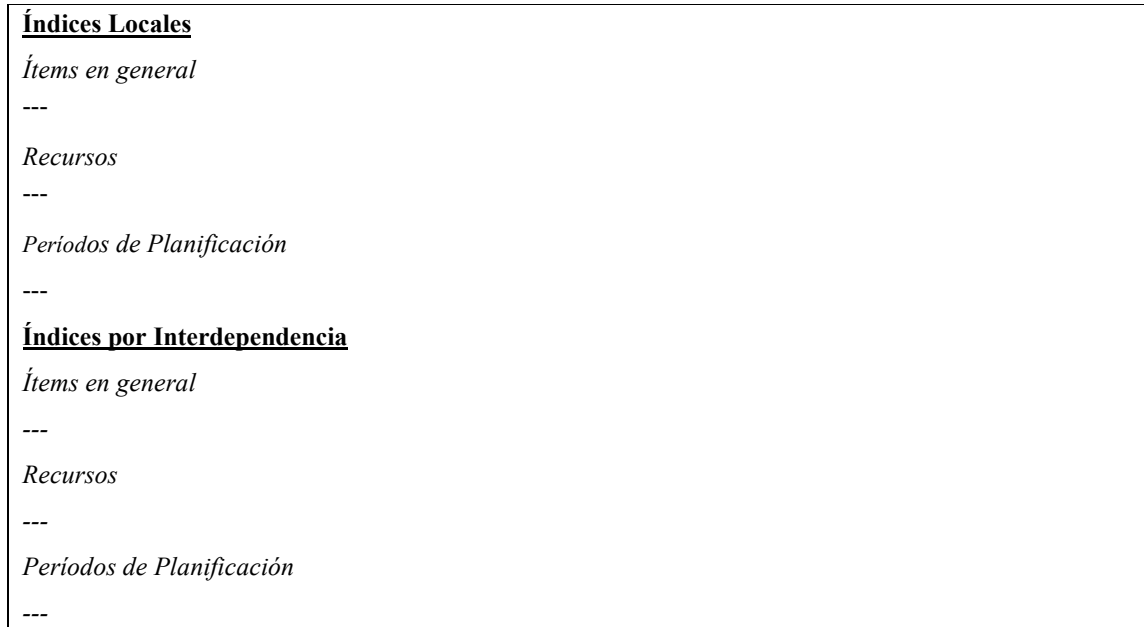


Figura 6-8. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (I): Índices (elaboración propia)

6.5.1.2.1.2 Conjuntos

Para la definición de los Conjuntos de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir los **Conjuntos Locales**

a. Considerar el **Alcance**

i. Considerar Conjuntos Locales Simples

1. Definir un Conjunto Local Simple por cada uno de los Índices Locales (tanto Básicos como Complementarios) definidos previamente.
2. Nombrar dichos Conjuntos Locales Simples.
3. Definir el Campo de Existencia de dichos Conjuntos Locales Simples.

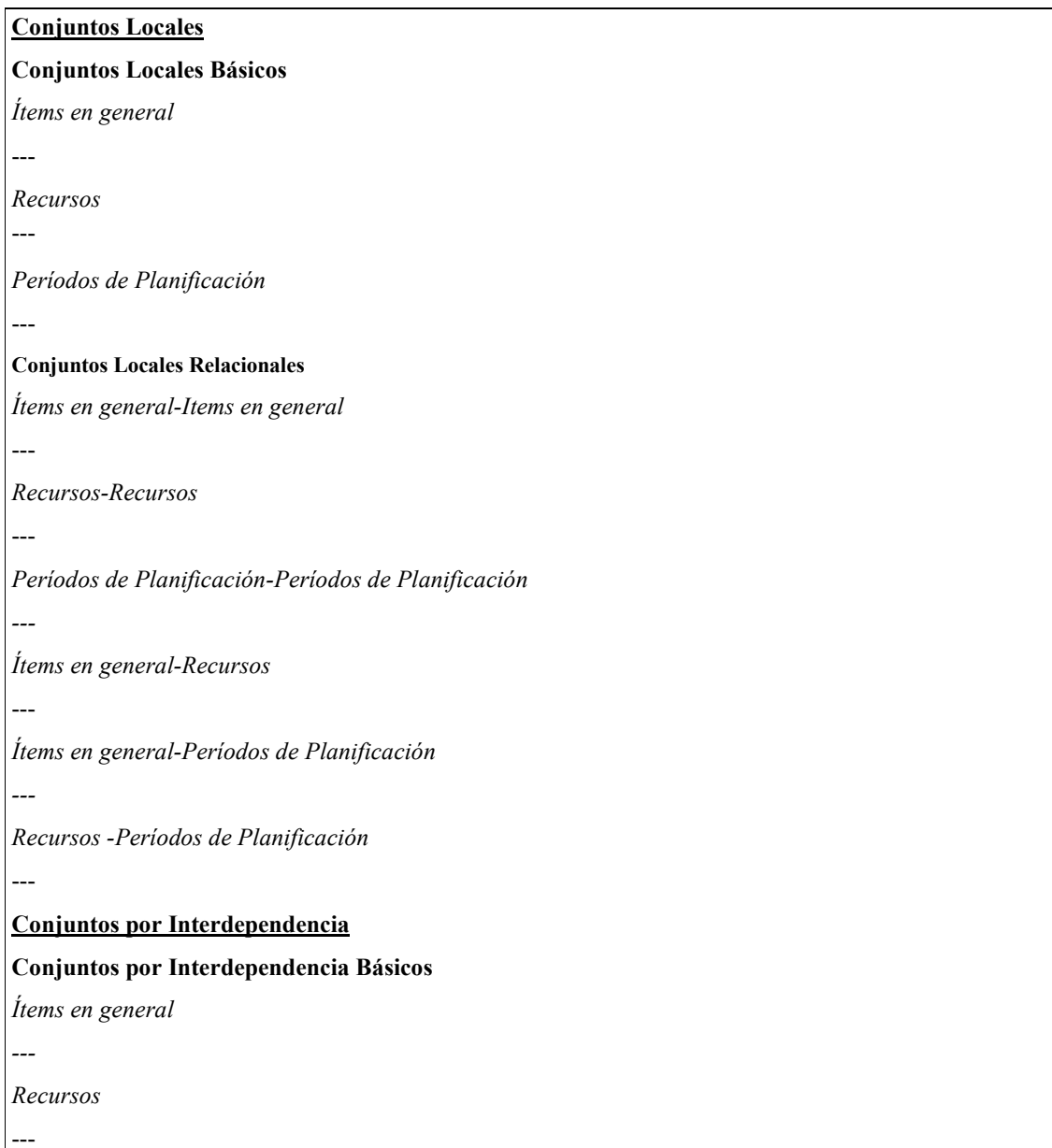
ii. Considerar Conjuntos Locales Relacionales

1. Definir un Conjunto Local Relacional por cada par de Índices Locales que estén interrelacionados (Visión Físico-Organizacional), dependiendo de las “categorías” en los cuales se definieron:

- a. “Ítems en General” / “Ítems en General”
 - b. “Recursos” / “Recursos”
 - c. “Períodos de Planificación” / “Períodos de Planificación”
 - d. “Ítems en General” / “Recursos”
 - e. “Ítems en General” / “Períodos de Planificación”
 - f. “Recursos” / “Períodos de Planificación”
2. Nombrar dichos Conjuntos Locales Relacionales.
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Conjuntos Locales Relacionales.
2. Definir los **Conjuntos por Interdependencia**
- a. Considerar el **Entorno** de CD^M
 - i. Considerar Conjuntos por Interdependencia Simples
 1. Definir un Conjunto por Interdependencia Simple por cada uno de los Índices por Interdependencia (tanto Básicos como Complementarios) definidos previamente.
 2. Nombrar dichos Conjuntos por Interdependencia Simples.
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Conjuntos por Interdependencia Simples.
 - ii. Considerar Conjuntos por Interdependencia Relacionales
 1. Definir un Conjunto por Interdependencia Relacional cuando haya un Índice Local y uno por Interdependencia interrelacionados (se realizará de manera idéntica a los Conjuntos Locales Relacionales, con la única diferencia que uno de los Índices será Local y el otro por Interdependencia) clasificados según “categorías” definidas antes.
 - a. “Ítems en General” / “Ítems en General”
 - b. “Recursos” / “Recursos”
 - c. “Períodos de Planificación” / “Períodos de Planificación”
 - d. “Ítems en General” / “Recursos”

- e. “Ítems en General” / “Períodos de Planificación”
 - f. “Recursos” / “Períodos de Planificación”
2. Nombrar dichos Conjuntos por Interdependencia Relacionales.
 3. Definir el Campo de Existencia de dichos Conjuntos por Interdependencia Relacionales.

En la Figura 6-9 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:



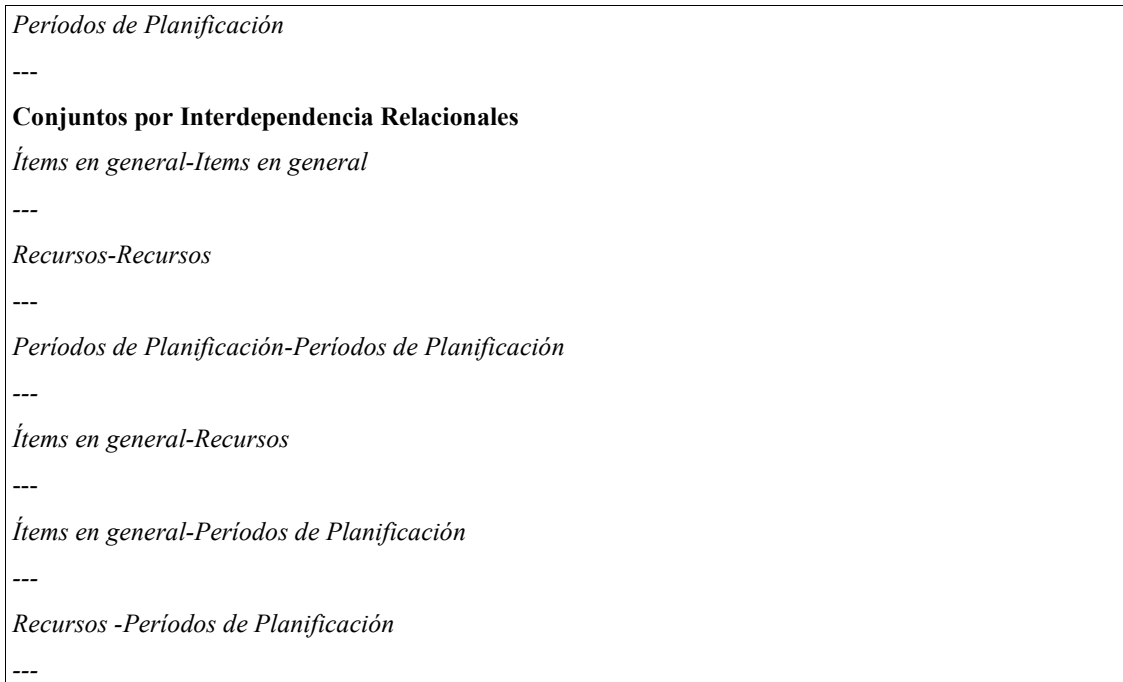


Figura 6-9. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (I): Conjuntos (elaboración propia)

6.5.1.2.2 Parte de Definición (II)

6.5.1.2.2.1 Variables de Decisión

Para la definición de las Variables de Decisión X^M de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir las **Variables Locales**

a. Identificar las diferentes Actividades de Transformación (AT) que se encuentran bajo el **Alcance** de CD^M

i. Considerar, en su caso, las AT^{58} de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapas/Sub-Etapas Proveedores:**

1. Indicar qué “VECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT de entre las mencionadas anteriormente⁵⁹, según Nivel Decisional en cuestión.

⁵⁸ Y en su caso AT/Etapas (Intra-Nodo), si dicha AT se repite en la Etapa/Sub-Etapa de la RdS/D.

- a. Táctico: VECP ligadas a la Planificación de la Capacidad.
 - b. Operativo: VECP ligadas a la Planificación de la Ejecución.
2. Indicar, para cada una de las “VECP”, sobre qué Índices ⁶⁰ tiene sentido definir las.
- a. Ítems en general: ítems (i) , grupos de ítems (gi)
 - b. Recursos: alternativas/líneas (l), etapas intra-nodo (e), nodos (n), grupos de nodos (gn), puntos de venta (pv), grupos de puntos de venta (gpv), centros de Decisión (cd)
 - c. Período de Planificación (t)
3. Formular algebraicamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices correspondientes.
- ii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas de Aprovisionamiento:**
1. Indicar qué “VECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT de entre las mencionadas anteriormente, según Nivel Decisional en cuestión.
 2. Indicar, para cada una de las “VECP”, sobre qué Índices tiene sentido definir las.
 3. Formular analíticamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices correspondientes.

⁵⁹ En el apartado de “Descripción de los componentes de un Modelo determinista basado en Programación Matemática”.

⁶⁰ Definidos en la primera parte de la Metodología. Únicamente se han señalado los Tipos de Elementos que dan lugar a los índices básicos para cada una de las tres Categorías.

iii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción-Operaciones y Transporte en la **Etapas de Fabricación/Montaje:**

1. Indicar qué “VECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT de entre las mencionadas anteriormente, según Nivel Decisional en cuestión.
2. Indicar, para cada una de las “VECP”, sobre qué Índices tiene sentido definir las.
3. Formular algebraicamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices correspondientes.

iv. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapas/Sub-Etapas de Distribución:**

1. Indicar qué “VECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT de entre las mencionadas anteriormente, según Nivel Decisional en cuestión.
2. Indicar, para cada una de las “VECP”, sobre qué Índices tiene sentido definir las.
3. Formular algebraicamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices correspondientes.

b. Identificar las Actividades de Interconexión (AI) que se encuentran en la **Frontera** de CD^M

i. Considerar, en su caso⁶¹, la AI **Compras** en las Etapas/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.

⁶¹ La AI Compras podrá ser considerada o no por un CD^M dependiendo de qué VECP de dicha AI pretendan incluirse en el Modelo de Decisión Z^M . En cambio, la AI Ventas siempre se considerará, porque siempre existirá al menos una VECP relacionada a dicha AI, concretamente, la VECP “Cantidad a Vender”, aunque esta tenga que ser necesariamente igual a la Demanda (Local/Demanda Independiente o por Interdependencia/Demanda Dependiente).

1. Indicar que “VECP” tiene sentido formular, en su caso en cada una de las Etapas/Sub-Etapas anteriores.
 2. Indicar, para las “VECP” definidas en dicha AI, sobre qué Índices tiene sentido definir las, los cuales indicarán:
 - a. Qué se compra
 - i. Ítems en general: ítems (i), grupos de ítems (gi)
 - b. Dónde se compra/n los Ítems en general
 - i. Recursos: etapas intra-nodo (e), nodos (n) y grupos de nodos (gn).
 - c. A quién se compra/n los Ítems en general
 - i. Recursos: centros de decisión (cd)⁶²
 - d. Para qué intervalos de tiempo
 - i. Periodo de Planificación (t).
 3. Formular algebraicamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices.
- ii. Considerar la AI **Ventas** en la Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovechamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
1. Indicar que “VECP” tiene sentido formular, en su caso, en cada una de las Etapas/Sub-Etapas anteriores.
 2. Indicar, para las “VECP” definidas en dicha AI, sobre qué Índices tiene sentido definir las, los cuales indicarán:
 - a. Qué se vende/difiere/rechaza
 - i. Ítems en general: ítems (i), grupos de ítems (gi)
 - b. Dónde se venden/difieren/rechazan los Ítems en general

⁶² Aunque en este caso habrá que diferenciar en el Modelo entre los pertenecientes al Entorno Decisional de CD^M “vendedores” en cada Nivel Decisional (cdtv/cdov) y aquellos **no** pertenecientes al Entorno Decisional de CD^M en cada Nivel Decisional (cdtv'/cdov').

- i. Recursos: etapas intra-nodo (e), nodos (n) y grupos de nodos (gn)
 - c. A quién se venden/difieren/rechazan los Ítems en general
 - i. Recursos: puntos de venta (v), grupos de puntos de venta (gv), Centros de Decisión (cd) ⁶³
 - d. Para cuántos intervalos de tiempo
 - i. Periodo de Planificación (t).
 3. Formular algebraicamente la/s Variable/s Locales que derivan de las anteriores “VECP” definidas sobre los Índices.
 2. Definir las **Variables por Interdependencia**, considerando el **Entorno** de CD^M
 - a. Para cada CD^{Tt}
 - i. Indicar desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Tt} (X^{+TtM} , X^{-TtM}).
 - b. Para cada CD^{Te}
 - i. Indicar desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde CD^{Te} (X^{+TeM} , X^{-TeM}).
 - c. Para cada CD^{Bt}
 - i. Indicar qué Variables Locales de CD^{Bt} anticipará CD^M (ant_ X^{Tt}), diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Bt} .
 - d. Para cada CD^{Be}
 - ii. Indicar qué Variables Locales de CD^{Be} anticipará CD^M (ant_ X^{Te}) diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Bt} .

En la Figura 6-10 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:

⁶³ Al igual que con la AI Compras, también habrá que diferenciar en el Modelo entre los pertenecientes al Entorno Decisional de CD^M “compradores” en cada Nivel Decisional (cdtc/cdoc) y aquellos **no** pertenecientes al Entorno Decisional de CD^M en cada Nivel Decisional (cdtc’/cdoc’).

Variables Locales

Ligadas a las ATs

Etapa⁶⁴ Proveedores

Almacenamiento_etapa e

Producción_etapa e-1

Almacenamiento_etapa e-1

Producción_etapa 1

Almacenamiento_etapa 1

Transporte

Etapa Aprovisionamiento

Almacenamiento

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_etapa e

Producción_etapa e-1

Almacenamiento_etapa e-1

Producción_etapa 1

Almacenamiento_etapa 1

Transporte

⁶⁴ O en su caso sub/Etapa de la RdS/D, si ésta se ha identificado previamente en la Visión Física.

Etapa Distribución
<i>Almacenamiento</i>

<i>Transporte</i>

<u>Ligadas a las AIs</u>
<i>Compras</i>
<i>CDTV</i>

<i>Ventas</i>
<i>CDTC</i>

<i>PV</i>

<i>GPV</i>

<u>Variables por Interdependencia</u>
<i>CD^{Ti}</i>

<i>CD^{Te}</i>

<i>CD^{Bt}</i>
<u>Ligadas a las ATs</u>
Ídem Variables Locales, pero en este caso “anticipadas”.
<u>Ligadas a las AIs</u>
Ídem Variables Locales, pero en este caso “anticipadas”.
<i>CD^{Be}</i>
<u>Ligadas a las ATs</u>
Ídem Variables Locales, pero en este caso “anticipadas”.
<u>Ligadas a las AIs</u>
Ídem Variables Locales, pero en este caso “anticipadas”.

Figura 6-10. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (II): Variables de Decisión (elaboración propia)

6.5.1.2.2.2 *Parámetros*

Para la definición de los Parámetros (Ie^M) genérico de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir los **Parámetros Locales**

- a. Identificar las diferentes Actividades de Transformación (AT) que se encuentran bajo el **Alcance** de CD^M
 - i. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas Proveedores**
 1. Indicar qué “PECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente ⁶⁵.
 2. Indicar, para cada uno de los “PECP”, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 - a. Ítems en general: ítems (i) , grupos de ítems (gi)
 - b. Recursos: alternativas/líneas (l), etapas intra-nodo (e), nodos (n), grupos de nodos (gn), puntos de venta (pv), grupos de puntos de venta (gpv)
 - c. Período de Planificación (t)
 3. Formular algebraicamente el/los Parámetro/s que derivan de los anteriores “PECP” definidos sobre los Índices.
 - ii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas de Aprovisionamiento**
 1. Indicar qué “PECP” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 2. Indicar, para cada una de los “PECP”, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 3. Formular algebraicamente el/los Parámetro/s que derivan de los anteriores “PECP” definidos sobre los Índices.

⁶⁵ Al igual que las Variables de Decisión, estos se citan en el apartado de “Descripción de los componentes de un Modelo determinista basado en Programación Matemática”.

- iii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapa de Fabricación/Montaje**.
 1. Indicar qué “Parámetros específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 2. Indicar, para cada una de los “Parámetros específicos”, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 3. Formular algebraicamente el/los Parámetro/s que derivan de los anteriores “Parámetros específicos” definidos sobre los Índices.
- iv. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas de Distribución**.
 1. Indicar qué “Parámetros específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 2. Indicar, para cada una de los “Parámetros específicos”, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 3. Formular algebraicamente el/los Parámetro/s que derivan de los anteriores “Parámetros específicos” definidos sobre los Índices.
- b. Identificar las diferentes Actividades de Interconexión (AI) que se encuentran en la **Frontera** de CD^M
 - a. Considerar, en su caso, la AI **Compras** en las Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
 - i. Indicar qué “PECP” tiene sentido formular en dicha AI de entre los mencionados anteriormente, según Nivel Decisional en cuestión.
 - ii. Indicar, para los “PECP” definidos en dicha AI, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 - iii. Formular algebraicamente los Parámetros que derivan de los anteriores “PECP” definidos sobre los Índices.
 - b. Considerar la AI **Ventas** en la Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
 - i. Indicar qué “PECP” tiene sentido formular en dicha AI de entre los mencionados anteriormente, según Nivel Decisional en cuestión.

- ii. Indicar, para los “PECP” definidos en dicha AI, sobre qué Índices tiene sentido definirlos.
 - iii. Formular algebraicamente los Parámetros que derivan de los anteriores “PECP” definidos sobre los Índices.
2. Definir los **Parámetros por Interdependencia** considerando el **Entorno** de CD^M
- a. Para cada CD^{Ti}
 - i. Indicar qué Variables Globales⁶⁶ son “enviadas” (a modo de IN), desde cada CD^{Ti} (x^{TiM}).
 - ii. Indicar, en su caso, si existe Información Global:
 - 1. Indicar costes por desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Ti} ($costx^{+TiM}, costx^{-TiM}$).
 - 2. Indicar límites máximos de las desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Ti} ($maxx^{+TiM}, maxx^{-TiM}$).
 - 3. Indicar otros Parámetros (por Interdependencia) que puedan formar parte de la IN.
 - b. Para cada CD^{Te}
 - i. Indicar qué Variables Globales son “enviadas” (a modo de IN), desde cada CD^{Te} (x^{TeM}).
 - ii. Indicar, en su caso, si existe Información Global:
 - 1. Indicar costes por desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Te} ($costx^{+TeM}, costx^{-TeM}$).
 - 2. Indicar límites máximos de las desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Te} ($maxx^{+TeM}, maxx^{-TeM}$).

⁶⁶ Variables Globales que, como se argumentó en el capítulo 4 y a lo largo del presente capítulo, podrían ser Finales (V.Globales Finales) o Tentativas (V.Globales No-Finales).

3. Indicar otros Parámetros (por Interdependencia) que puedan formar parte de la IN.
 - c. Para cada CD^{Bt}
 - i. Identificar, en su caso, los Parámetros por Interdependencia debidos a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Bt} (ant_x^{Bt}).
 - d. Para cada CD^{Be}
 - i. Identificar, en su caso, los Parámetros por Interdependencia debidos a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Be} (ant_x^{Be}).

En la Figura 6-11 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:



Producción_etapa e-1

Almacenamiento_etapa e-1

Producción_etapa 1

Almacenamiento_etapa 1

Transporte

Etapa Distribución

Almacenamiento

Transporte

Ligados a las AIs

Compras

CDTV

Ventas

CDTC

PV

GPV

Parámetros por Interdependencia

CD^{Ti}

CD^{Te}

CD^{Bt}

Ligadas a las ATs

Ídem Parámetros Locales, pero en este caso “anticipados”.

Ligadas a las AIs

Ídem Parámetros Locales, pero en este caso “anticipados”.

CD^{Be}

Ligadas a las ATs

Ídem Parámetros Locales, pero en este caso “anticipados”.

Ligadas a las AIs

Ídem Parámetros Locales, pero en este caso “anticipados”.

Figura 6-11. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Definición (II): Parámetros (elaboración propia)

6.5.1.2.3 Parte de Modelado

6.5.1.2.3.1 *Criterio*

Para la definición del Criterio C_k^M de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir el **Criterio Local**

a. Identificar las diferentes Actividades de Transformación (AT) que se encuentran bajo el **Alcance** de CD^M

i. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas Proveedores**

1. Indicar qué “Conceptos específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente ⁶⁷.

2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.

3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando si estos están definidos bien sobre:

a. Conjuntos básicos: $i \in I, r \in R, t \in T$

b. Conjuntos relacionales: $i \in I(i), r \in R(r), t \in T(t), i \in I(r), I \in I(t), r \in R(t)$

⁶⁷ Al igual que con las Variables de Decisión y los Parámetros, estos se citan en el apartado de “Descripción de los componentes de un Modelo determinista basado en Programación Matemática”.

- ii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapas/Sub-Etapas de Aprovisionamiento**
 - 1. Indicar qué “Conceptos específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 - 2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - 3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior.
 - iii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapas de Fabricación/Montaje**.
 - 1. Indicar qué “Conceptos específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 - 2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - 3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior.
 - iv. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapas/Sub-Etapas de Distribución**
 - 1. Indicar qué “Conceptos específicos” tiene sentido formular en cada una de dichas AT, de entre los mencionados anteriormente.
 - 2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - 3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior.
- b. Identificar las diferentes Actividades de Interconexión (AI) que se encuentran en la **Frontera de CD^M**
- i. Considerar, en su caso, la AI **Compras** en las Etapas/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.

1. Indicar qué “Conceptos específicos”, de entre los mencionados anteriormente, tiene sentido formular en cada una de las Etapas/Sub-Etapas donde se ha identificado la AI Compras.
 2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando, como se ha definido anteriormente, si estos están definidos sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales.
- ii. Considerar, en su caso, la AI **Ventas** en las Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
1. Indicar qué “Conceptos específicos”, de entre los mencionados anteriormente, tiene sentido formular en cada una de las Etapas/Sub-Etapas donde se ha identificado la AI Ventas.
 2. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos”, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 3. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando, como se ha definido anteriormente, si estos están definidos sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales.
2. Definir el **Criterio por Interdependencias** considerando el **Entorno** de CD^M
- a. Para cada CD^{Tt}
 - i. Indicar qué “conceptos específicos” (de Coste) derivan de las desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Tt} y por tanto forman parte del Criterio por Interdependencias ($COSTX^{+TtM}$, $COSTX^{-TtM}$).
 - ii. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos” anteriores, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - iii. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando si estos están definidos bien sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales

- b. Para cada CD^{Te}
 - i. Indicar qué “conceptos específicos” (de Coste) derivan de las desviaciones positivas o negativas sobre las Variables Globales “enviadas” (a modo de IN) desde cada CD^{Ti} y por tanto forman parte del Criterio por Interdependencias ($COSTX^{+TeM}$, $COSTX^{-TeM}$).
 - ii. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos” anteriores, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - iii. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando si estos están definidos bien sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales
- c. Para cada CD^{Bt}
 - i. Identificar, en su caso, “conceptos específicos” del Criterio Local de CD^{Bt} debido a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M , diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Bt} (ant_C^{Bt}).
 - ii. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos” anteriores, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - iii. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando si estos están definidos bien sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales.
- d. Para cada CD^{Be}
 - i. Identificar, en su caso, “conceptos específicos” del Criterio Local de CD^{Be} debido a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M , diferenciando entre Etapas/Sub-Etapas y AT/AI pertenecientes al Alcance/Frontera de CD^{Be} (ant_C^{Be}).
 - ii. Indicar, para cada uno de los “Conceptos específicos” anteriores, cuáles son los dos factores, Parámetro y Variable de Decisión, que lo definen.
 - iii. Indicar sobre qué índices tiene sentido formular el sumatorio del producto anterior, indicando si estos están definidos bien sobre conjuntos básicos o bien sobre conjuntos relacionales.

En la Figura 6-12 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:

Criterio Local

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Almacenamiento_etapa e

Producción_etapa e-1

Almacenamiento_etapa e-1

Producción_etapa 1

Almacenamiento_etapa 1

Transporte

Etapa Aprovisionamiento

Almacenamiento

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_etapa e

Producción_etapa e-1

Almacenamiento_etapa e-1

Producción_etapa 1

Almacenamiento_etapa 1

Transporte

Etapa Distribución

Almacenamiento

<i>Transporte</i>

<u>Ligado a las AIs</u>
<i>Compras</i>
<i>CDTV</i>

<i>Ventas</i>
<i>CDTC</i>

<i>PV</i>

<i>GPV</i>

<u>Criterio por Interdependencia</u>
CD^{Ti}

CD^{Te}

CD^{Bt}
<u>Ligado a las ATs</u>
Ídem Criterio Local, pero en este caso “anticipados”.
<u>Ligado a las AIs</u>
Ídem Criterio Local, pero en este caso “anticipados”.
CD^{Be}
<u>Ligado a las ATs</u>
Ídem Criterio Local, pero en este caso “anticipados”.
<u>Ligado a las AIs</u>
Ídem Criterio Local, pero en este caso “anticipados”.

Figura 6-12. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Modelado: Criterio
(elaboración propia)

6.5.1.2.3.2 *Campo de Decisión*

Para la definición del Campo de Decisión A^M de un Centro de Decisión CD^M genérico:

1. Definir el **Campo de Decisión Local**.

- a. Identificar las distintas AT que se encuentran bajo el **Alcance** de CD^M
 - i. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas Proveedores**
 1. Identificar para cada AT y para cada uno de los tres Grupos identificados anteriormente qué Restricción Local tiene sentido formular.
 2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
 - ii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas Aprovisionamiento**
 1. Identificar para cada AT y para cada uno de los tres Grupos identificados anteriormente qué Restricción Local tiene sentido formular.
 2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
 - iii. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento, Producción/Operaciones y Transporte en la **Etapa de Fabricación/Montaje**.
 1. Identificar para cada AT y para cada uno de los tres Grupos identificados anteriormente qué Restricción Local tiene sentido formular.
 2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
 - iv. Considerar, en su caso, las AT de Almacenamiento y Transporte en la **Etapa/Sub-Etapas Distribución**
 1. Identificar para cada AT y para cada uno de los tres Grupos identificados anteriormente qué Restricción Local tiene sentido formular.

2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
- b. Identificar las diferentes Actividades de Interconexión (AI) que se encuentran en la **Frontera de CD^M**
 - i. Considerar, en su caso, la AI **Compras** en las Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
 1. Indicar qué restricciones Locales de cada uno de los tres Grupos tiene sentido formular en cada una de las Etapas/Sub-Etapas donde se ha identificado la AI Compras.
 2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
 - ii. Considerar, en su caso, la AI **Ventas** en las Etapa/Sub-Etapas de Proveedores, Aprovisionamiento, Fabricación-Montaje y Distribución.
 1. Indicar qué restricciones Locales de cada uno de los tres Grupos tiene sentido formular en cada una de las Etapas/Sub-Etapas donde se ha identificado la AI Compras.
 2. Formular la Restricción Local a partir de los Parámetros y Variables de Decisión Locales según se ha explicitado también anteriormente.
2. Definir el **Campo de Decisión por Interdependencias** considerando el **Entorno de CD^M** .
 - a. Para cada CD^{Tt}
 - i. Identificar, en su caso, a partir de las Instrucciones enviadas desde CD^{Tt}, las Restricciones por Interdependencias (**Condiciones de Consistencia en la Desagregación ó CCD**) a partir de los Parámetros y Variables de Decisión por Interdependencias, según se ha explicitado en apartados anteriores.
 - b. Para cada CD^{Te}
 - i. Identificar, en su caso, a partir de las Instrucciones enviadas desde CD^{Te}, las Restricciones por Interdependencias (**Condiciones de Consistencia en la Coordinación ó CCO**) a partir de los Parámetros y Variables de Decisión por Interdependencias, según se ha explicitado en apartados anteriores.
 - c. Para cada CD^{Bt}

- i. Identificar, en su caso, Restricciones por Interdependencias debidas a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M .
 1. Formular las Restricciones por Interdependencias (**Anticipación de las Condiciones de Consistencia en la Desagregación ó ant_CCD**) a partir de los Parámetros y Variables de Decisión por Interdependencias, según se ha explicitado en apartados anteriores.
 2. Formular las Restricciones por Interdependencias resultantes de la anticipación del Campo de Decisión Local de CD^{Bt} (**ant_A^{Bt}**), según se ha explicitado en apartados anteriores.
- d. Para cada CD^{Be}
 - i. Identificar, en su caso, Restricciones por Interdependencias debidas a posibles anticipaciones a la Instrucción de CD^M .
 1. Formular las Restricciones por Interdependencias (**Anticipación de las Condiciones de Consistencia en la Desagregación ó ant_CCD**) a partir de los Parámetros y Variables de Decisión por Interdependencias, según se ha explicitado en apartados anteriores.
 2. Formular las Restricciones por Interdependencias resultantes de la anticipación del Campo de Decisión Local de CD^{Bt} (**ant_A^{Be}**), según se ha explicitado en apartados anteriores.
 3. Definir el **Campo de Decisión Lógico**
 4. Definir el **Campo de Decisión Técnico**

En la Figura 6-13 se muestra de forma esquemática todos los pasos descritos:

<p><u>Campo de Decisión Local</u></p> <p><u>Ligado a las ATs</u></p> <p>Etapa Proveedores</p> <p><i>Almacenamiento_ etapa e</i></p> <p><u>Limitaciones de Materiales (LM).</u></p> <p>---</p> <p><u>Limitaciones de Recursos (LR)</u></p> <p>---</p> <p><u>Políticas (PO)</u></p>

Producción_etapa e-1

LM, LR y PO

Almacenamiento_etapa e-1

LM, LR y PO

Producción_etapa 1

LM, LR y PO

Almacenamiento_etapa 1

LM, LR y PO

Transporte

LM, LR y PO

Etapa Aprovisionamiento

Almacenamiento

LM, LR y PO

Transporte

LM, LR y PO

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_etapa e

LM, LR y PO

Producción_etapa e-1

LM, LR y PO

Almacenamiento_etapa e-1

LM, LR y PO

Producción_etapa 1

LM, LR y PO

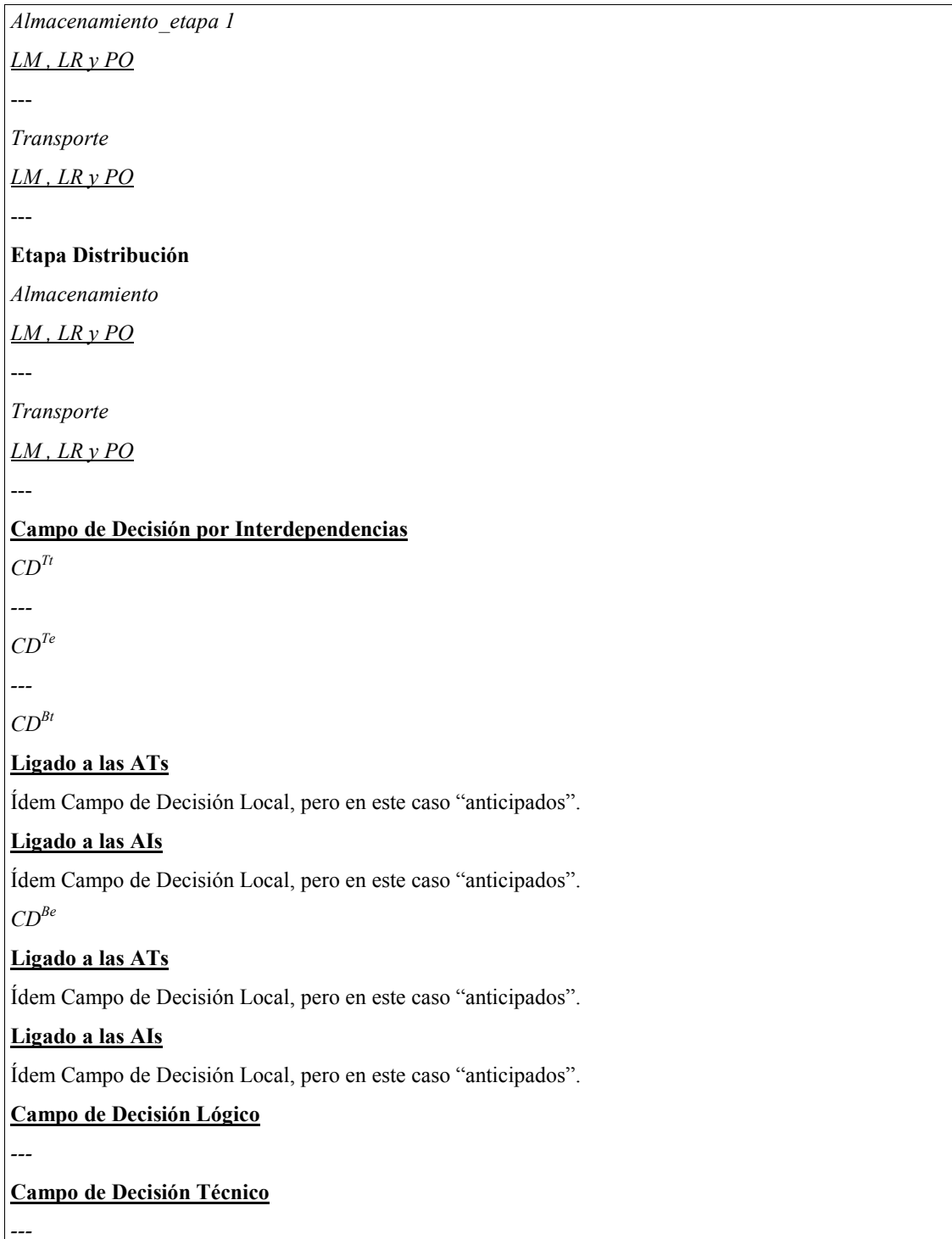


Figura 6-13. Modelo PLEM asociado a un CD^M genérico. Parte de Modelado: Campo de Decisión (elaboración propia)

6.5.2 2º Bloque: Modelado PLEM del Proceso y su Resolución para la evaluación del grado de Planificación Colaborativa actual

El **primer bloque** de la Metodología (II) ha tenido como objetivo la descripción detallada de todos los Componentes, indicándose de manera clara y ordenada los **pasos que debería seguir cualquier CD^M genérico**, “propietario” de una Actividad Decisional del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) de una RdS/D, **para definir un Modelo Determinista basado en PLEM**. Para ello se han tenido en cuenta desde el punto de vista algebraico tanto “componentes” locales como “por interdependencia”, estos últimos analizados previamente de manera “conceptual” en el Modelado del Proceso, mediante la caracterización de las Relaciones de Interdependencia entre Centros de Decisión e Información compartida.

El **segundo bloque**, que es el que se expone a continuación en el siguiente apartado, indica los **pasos para el Modelado PLEM del Proceso**, haciendo especial énfasis en cómo “interaccionan” los Modelos individuales anteriormente descritos, de manera que se pueda **obtener de manera cuantitativa cuál es el grado de colaboración actual a partir de la resolución/validación integrada de dichos Modelos**. Para ello será muy importante el orden de ejecución de las diferentes Actividades Decisionales/Centros de Decisión y la información compartida, lo cuál también se ha determinado previamente en el capítulo anterior mediante el Modelado del Proceso (Metodología (I)).

En definitiva, tal y como se comentó en la introducción del capítulo, la citada Metodología (II) permitirá modelar analíticamente mediante PLEM el Proceso de Planificación Colaborativa **en cualquier RdS/D, pudiendo ser ésta de diferentes grados de complejidad**, tanto desde el punto de vista Físico (Recursos/Ítems), como desde el punto de vista Organizacional-Decisional e Informacional.

Además, no sólo se podrá **modelar/resolver/evaluar la situación actual (AS-IS)**, sino que la Metodología (II) descrita permitirá **evaluar diferentes configuraciones o situaciones futuras (TO-BE)**, a partir de cambios tanto desde el punto de vista Físico, Organizacional-Decisional e Informacional.

El 2º bloque de la Metodología (II), por tanto, establece los siguientes pasos:

1. **Resolución de los Modelos PLEM asociados a las Actividades Decisionales según secuencia del Proceso.**
 - a. Obtención de toda la **Información de Entrada**, tanto la Local como aquella debida a Interdependencias.
 - b. **Resolución de Modelos y posterior evaluación de resultados**, indicando cuál serían los valores que tomarían las Variables de Decisión definidas y por tanto el valor del Criterio, distinguiendo también entre Local y el debido a Interdependencias.

- c. **Descripción de la Información de Salida**, identificando que Variables Globales, y en su caso Información Global asociada, formarían parte de cada una de las Instrucciones enviadas.

2. Evaluación de resultados integrada del Proceso de Planificación Colaborativa.

6.5.2.1 Resolución de los Modelos PLEM asociados a las Actividades Decisionales según secuencia del Proceso

Para la **resolución individual** de cada uno de los Modelos PLEM, es importante el Modelo del Proceso a nivel Macro (conceptual) obtenido mediante la aplicación de la Metodología (I).

Lo anterior es necesario pues por una parte en el **Modelado del Proceso** se describieron todas las Actividades Decisionales del Proceso y su orden de ejecución, lo cual determinará la **secuencia en la que habrán de resolverse los diferentes Modelos PLEM** de los Centros de Decisión asociados a dichas Actividades Decisionales y por otra parte también se hizo un análisis de la **Información compartida entre los distintos Centros de Decisión a partir de las Relaciones de Interdependencia** (detallada posteriormente a Nivel Micro), tanto la información debida a Anticipaciones como aquella debida a Instrucciones. La debida a Anticipaciones ya se tuvo en cuenta en el 1er bloque de la Metodología (II), al plantear los Modelos PLEM, previos a su resolución, pero la relativa a **Instrucciones** es especialmente relevante en este 2º bloque para la resolución de los diferentes modelos PLEM y por tanto para la evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa actual.

En la Figura 6-14 se muestra cuál sería la secuencia de las Actividades Decisionales del Proceso, sólo para el primer Período de Replanificación, en el que coinciden⁶⁸, en su caso, la activación de las Actividades Decisionales cuyos Centros de Decisión asociados pertenecen al Nivel Decisional Táctico y al Operativo.

Una vez descrita la secuencia de las distintas Actividades Decisionales, y para cada uno de los Centros de Decisión asociados, empezando por el primero de ellos, se irán resolviendo sus modelos PLEM. Para ello se planteará metodológicamente para cada uno individualmente cuál es su información de entrada⁶⁹, cuáles han sido los resultados obtenidos y cuál es la información de salida.

⁶⁸ Aunque en dicho primer período de Replanificación coincidan, éstas “guardarán” una cierta secuencia de activación, tal y como se argumentó en el capítulo 4.

⁶⁹ Si bien la Información de Entrada ya se consideró en el 1er bloque de la Metodología (II), en la parte de Definición de los Modelos PLEM, aquí se analiza más detalladamente, fundamentalmente aquella que

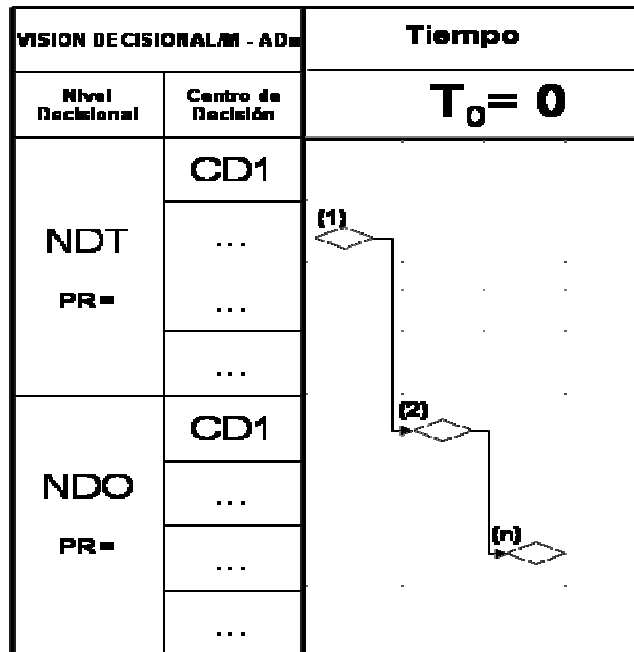


Figura 6-14. Descripción de las Actividades Decisionales del Proceso (1...n) y orden de ejecución (elaboración propia)

6.5.2.1.1 Información de Entrada

Para efectuar la descripción de la Entrada de Datos para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a cada uno de los Centros de Decisión se distinguen entre aquellos Parámetros que son Locales (**Información de Entrada Local**) y aquellos debidos a las Interdependencias (**Información de Entrada por Interdependencias**).

Por otra parte, dichos Parámetros se derivan del análisis realizado mediante la **Metodología (I)** en la que se obtuvieron la **Visión Física, Organizacional y Decisional** del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D sujeta a estudio.

6.5.2.1.1.1 *Parámetros Locales.*

En primer lugar se indica la Información de Entrada Local que se ha considerado para la resolución/validación individual de los Modelos PLEM asociados a los distintos CDs.

es debida a las Interdependencias con otros CDs, y que necesita de la correcta ejecución de los mismos según secuencia establecida en el Modelado del Proceso.

Dicha Información se deberá ordenar metodológicamente, según se hizo en el 1er bloque de la Metodología (II). En la misma se distingue entre aquellos Parámetros ligados únicamente a los “ítems en general” y aquellos ligados a los “Recursos” o la relación entre ambos. Estos últimos, a su vez se clasifican dependiendo de si están asociados a Actividades de Transformación (ATs) (Producción/Operaciones, Transporte y Almacenamiento) ó a Actividades de Interconexión (AIs) (Compras y Ventas).

En cuanto a las ATs, la información se recoge de izquierda a derecha respecto a las Etapas/Sub-Etapas de la RdS/D que están bajo el Alcance del CD en cuestión. Posteriormente, se consideran las AIs, Compras y Ventas, respectivamente.

En la Figura 6-15 se muestra el Alcance de un CD^M genérico (NDT/O- CDn°), asociado a la Actividad Decisional n de la secuencia del Proceso, sobre el cuál se han recogido los distintos Parámetros de Entrada Locales, ligados a la **Planificación de la Capacidad o de la Ejecución** de las distintas AT/AIs, dependiendo de si el CD está ubicado en el **Nivel Decisional Táctico u Operativo** respectivamente, tal y como se argumentó en el Marco del capítulo 4.

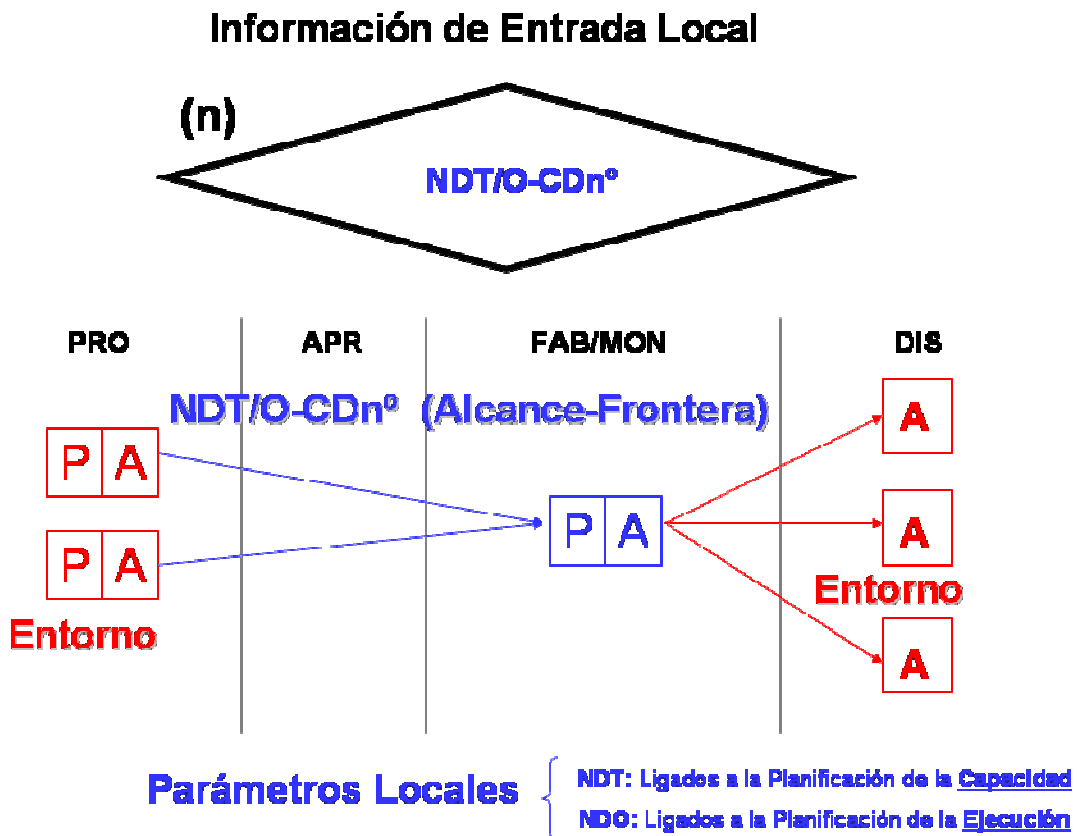


Figura 6-15. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de un CD^M genérico asociado a la Actividad Decisional n del Proceso (elaboración propia)

6.5.2.1.1.2 *Parámetros por Interdependencias.*

Una vez indicada la Información de Entrada Local, se ha de indicar a continuación la Información de Entrada por Interdependencias que se ha considerado para la resolución/validación individual de los Modelos PLEM asociados a los CDs.

Información de Entrada por Interdependencias

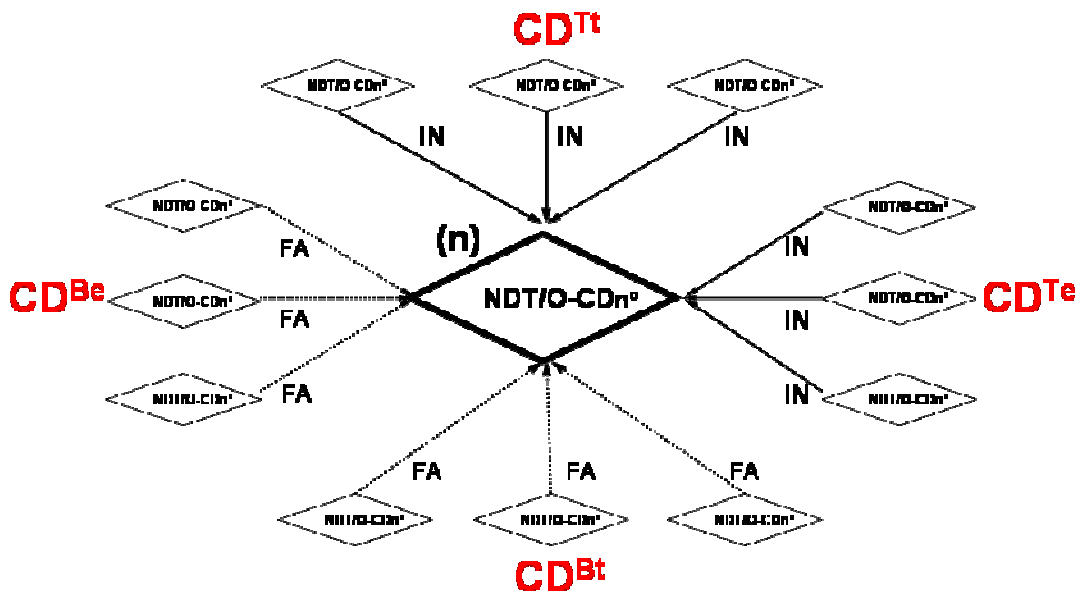


Figura 6-16. Información de Entrada por Interdependencias/M de una Actividad Decisional n (elaboración propia)

Se muestra inicialmente (Figura 6-16) cuál sería la Información de Entrada por Interdependencias/M⁷⁰ de una Actividad Decisional activada en el lugar n de la secuencia establecida en el Proceso. Dicha Información deriva del Modelo del Proceso realizado a nivel Macro según Metodología (I).

Se consideran dos tipos básicos:

- Instrucciones (IN) enviadas desde CD^T (en forma de Variables/Decisiones globales y en su caso Información Global).
- Anticipaciones (FA) de CD^B .

⁷⁰ En el Marco descrito en el capítulo 4 ya se utilizó la nomenclatura M (a nivel Macro) para distinguirla de m (a nivel Micro).

En la Tabla 6-6 se muestra en detalle (a nivel Micro) únicamente aquella **Información por Interdependencias proveniente de Instrucciones desde CD^T** , ya que este tipo de información **requiere** que las diferentes Actividades Decisionales que forman parte del Proceso se ejecuten en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso**.

Para cada IN recibida desde Actividades Decisionales de CD^T ($AD-CD^{Tt}$ y $AD-CD^{Te}$), se ha de:

1. Indicar Variables/Decisiones Globales (x^{TM}) que contiene:
2. Indicar Información Global (i^{TM}) que contiene:
 - a. Costes sobre desviaciones + ó - ($costx^{+TM}$, $costx^{-TM}$) sobre Variables/Decisiones Globales.
 - b. Máximas desviaciones + ó - ($maxx^{+TM}$, $maxx^{-TM}$) sobre Variables/Decisiones Globales.
 - c. Otros parámetros para la coordinación.

INFORMACIÓN DE ENTRADA/m $AD-CD^M$		$AD-CD^{Tt}$	$AD-CD^{Te}$
IN	x^{TM}		
	i^{TM}		
	$costx^{+TM}$, $costx^{-TM}$		
	$maxx^{+TM}$, $maxx^{-TM}$		
	otros		

Tabla 6-6. Información de Entrada por Interdependencias debida a IN de un CD^M genérico asociado a una Actividad Decisional (elaboración propia)

6.5.2.1.2 Evaluación de Resultados

Una vez obtenidos todas los Parámetros de Entrada para el Modelo PLEM del Centro de Decisión asociado a la primera Actividad Decisional del Proceso (tanto los Locales como los de Interdependencia, y en particular, dentro de estos últimos, aquellos que resultan de las Instrucciones enviadas desde CD^T), se procede a la resolución del mismo.

La **Evaluación de Resultados** conllevará por una parte señalar cuáles son los **valores de sus Variables de Decisión** y por otra parte indicar cuál sería el valor de su **Criterio**, así como el **Esfuerzo Computacional**.

En cuanto a la obtención del valor de las **Variables de Decisión**, sólo se deben mostrar las Variables de Decisión Locales y por Interdependencia con CD^T . Dichos valores se deberán ordenar también metodológicamente, siguiendo la misma estructura que en el 1er bloque de la Metodología (II).

Las Variables por Interdependencia con CDs inferiores no es necesario que figuren pues simplemente se trata de Variables anticipadas y por tanto su valor final será determinado por aquellos CDs que las consideran como Variables Locales. No obstante, como se ha comentado en numerosas ocasiones a lo largo de la Tesis, dicha “anticipación” permitirá mejorar el Criterio Total, aunque empeore individualmente el de uno de los CDs.

Otro caso diferente son las Variables por Interdependencia con CD^T , las cuáles sí que han de figurar aquí, pues se trata de desviaciones sobre Variables Globales recibidas desde los mismos, las cuales resultarán definitivas, o dicho de otra manera, resultarán finalmente en una Reacción que no admitirá ningún cambio posterior.

Una vez mostrados los valores de las Variables de Decisión que, en su caso, optimizan el Modelo de decisión, se expresarán dos indicadores para evaluar el mismo: el valor del **Criterio** (subdividido en Criterio Local y Criterio por Interdependencias) y el **Esfuerzo Computacional**.

El cuanto al **Criterio**, cómo ya se apuntó en capítulos anteriores, solo considerará la optimización de **objetivos de índole monetaria**, o dicho de otro modo, la manera de **cuantificar el grado de Planificación Colaborativa actual de la RdS/D** vendrá ligado a la maximización de beneficios, en el caso más general, si bien se podría considerar la minimización de costes, si los ingresos se suponen constantes.

Para ello, se consideran inicialmente tres tablas. En la Tabla 6-7 se representa el Coste Local y en las Tabla 6-8 y Tabla 6-9 el Coste por Interdependencias con CD^T y CD^B , respectivamente, consecuencia de la resolución del Modelo PLEM del Centro de Decisión en cuestión.

En la Tabla 6-7 se realiza, en primer lugar, el desglose detallado del **Coste Local** del Centro de Decisión NDT/O- CDn^o (ó simplemente CDT/On^o).

Dicha Tabla está formada por los siguientes campos:

- **Tipo de Actividad:** señalar si se trata de un coste ligado a Actividades de Transformación (ATs) o a Actividades de Interconexión (AIs).
- **Etapa/Sub-Etapa:** señalar en qué Etapa (PROV: proveedores; APR: aprovisionamiento; FAB: fabricación-montaje, DIS: distribución), o en su caso Sub-Etapa, se “realiza” la AT o AI anterior.

- **AT/AI:** señalar exactamente si la AT se trata de una Actividad de Producción, Transporte o Almacenamiento, y en su caso en qué etapa Intra-Nodo se encuentra (AT/e). En el caso de AI señalar si se trata de una Actividad de Compras o de Ventas.
- **Concepto de Coste incluido:** para cada AT/e y AI indicar qué conceptos de coste específicos se han considerado.
- **Valor:** indicar el valor obtenido a lo largo del Horizonte de Planificación.

COSTE LOCAL de NDT/O-CD n°				
Tipo de Actividad	Etapa/ Sub-Etapa	AT/AI específica	Conceptos de Coste incluidos	Valor
COSTE TOTAL				

Tabla 6-7. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn°: Valor del Coste Local (elaboración propia)

En la Tabla 6-8 se realiza, en segundo lugar, el desglose detallado del **Coste por Interdependencias** con CD^T del Centro de Decisión NDT/O-CDn°.

Dicha Tabla está formada por los siguientes campos:

- **CD^T :** señalar si la naturaleza de la interacción jerárquica es Temporal (CD^{Tt}) o Espacial (CD^{Te}).
- **NDT/O-CD n° :** señalar de qué CD^T específico se está recibiendo la Variable Global (no Final) que dará lugar al coste por Interdependencias.
- **Variable Global:** señalar que Variable Global concreta se recibe desde CD^T .
- **Coste por desviación +/-:** señalar si el coste por Interdependencias originado es por desviación positiva o negativa respecto de la Variable Global recibida desde CD^T .
- **Valor:** indicar el valor anticipado obtenido para cada concepto de coste a lo largo del Horizonte de Planificación.

COSTE POR INTERDEPENDENCIAS con CD^T de NDT/O-CD n°				
CD^T	NDT/O-CD n°	Variable Global	Coste por Desviación +/-	Valor
			COSTE TOTAL	

Tabla 6-8. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn°: Valor del Coste por Interdependencias con CD^T (elaboración propia)

Finalmente, en la Tabla 6-9, se realiza, en último lugar, el desglose detallado del Coste por Interdependencias con CD^B del Centro de Decisión NDT/O-CDn°.

Dicha Tabla está formada por los siguientes campos:

- **CD^B** : señalar si la naturaleza de la interacción jerárquica es Temporal (CD^{Bt}) o Espacial (CD^{Be}).
- **NDT/O-CD n°** : señalar de qué CD^B específico se está anticipando.
- **Tipo de Actividad:** señalar si se trata de un coste anticipado ligado a Actividades de Transformación (ATs) o a Actividades de Interconexión (AIs).
- **Etapas/Sub-Etapas:** señalar en qué Etapa o en su caso Sub-Etapa, se “realiza” la AT o AI anterior.
- **AT/AI:** señalar exactamente si la AT se trata de una Actividad de Producción, Transporte o Almacenamiento, y en su caso en qué etapa Intra-Nodo se encuentra (AT/e). En el caso de AI señalar si se trata de una Actividad de Compras o de Ventas.
- **Concepto de Coste incluido:** para cada AT/e y AI indicar qué conceptos de coste específicos se han considerado.
- **Valor:** indicar el valor anticipado obtenido para cada concepto de coste a lo largo del Horizonte de Planificación.

COSTE POR INTERDEPENDENCIAS con CD ^B de NDT/O-CD n°						
CD ^B	NDT/O-CD n°	Tipo de Actividad	Etapas/Sub-Etapas	AT/AI específica	Conceptos de Coste incluidos	Valor
					COSTE TOTAL	

Tabla 6-9. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn°: Valor del Coste por Interdependencias con CD^B (elaboración propia)

Una vez representadas las anteriores Tablas, se calculará el Valor del Criterio Local (Beneficio Local) y el Criterio por Interdependencias (Beneficio por Interdependencias).

El Valor del **Criterio Local** ($C_i^{CDT/0 n°}$) obtenido para $Z^{CDT/0 n°}$ es de:

$$C_i^{CDT/0 n°} = \text{Beneficio Local}^{CDT/0 n°} = [\text{Ingresos Locales}^{71} - \text{Costes Locales}]$$

El Valor del **Criterio por Interdependencias** ($C_i^{CDT/0 n°}$) obtenido para $Z^{CDT/0 n°}$ es de:

$$C_i^{CDT/0 n°} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDT/0 n°} = [\text{Ingresos por Interdependencia}^{72} - \text{Costes por Interdependencia}]$$

Finalmente, en la Tabla 6-10 se reflejará finalmente el resultado total obtenido para el **Criterio** de NDT/O-CDn°.

⁷¹ Los ingresos locales, en caso de que el CD en cuestión pertenezca al Nivel Decisivo Táctico, serán nulos, ya que estos simplemente se anticipan, y por tanto se consideran como ingresos por Interdependencia, o más bien, formando parte del Criterio por Interdependencias.

⁷² Los ingresos por Interdependencia sólo existirán en caso que estos sean anticipados.

CRITERIO NDT-CD4	CRITERIO LOCAL	CRITERIO POR INTERDEPENDENCIAS	Total
(Max Beneficios)			

Tabla 6-10. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn°: Valor del Criterio (elaboración propia)

Una vez representado el Criterio del Centro de Decisión NDT/O-CDn°, se representará finalmente el **Esfuerzo Computacional** utilizado para resolver el modelo PLEM asociado al mismo.

Éste se representará de la forma en la que se indica en la Tabla 6-11, en la que figuran el n° de iteraciones que se han necesitado para llegar a la solución, el número de variables y de enteros en particular, el número de restricciones, los elementos no nulos de la matriz asociada a las restricciones y su densidad, y finalmente el tiempo de computación utilizado.

ESFUERZO COMPUTACIONAL NDT/O-CDn°	
ITERACIONES	
VARIABLES	
ENTEROS	
RESTRICCIONES	
NO-CEROS	
DENSIDAD	
TIEMPO RESOLUCIÓN	

Tabla 6-11. Resolución del Modelo PLEM del NDT/O-CDn°: Esfuerzo computacional (elaboración propia)

6.5.2.1.3 Información de Salida

A medida que los Modelos PLEM de los diferentes Centros de Decisión asociados a cada una de las Actividades Decisionales del Proceso, van siendo resueltos, algunas de las Variables de Decisión (ya sean Locales o por Interdependencia) se convierten en “**Variables Globales**”, condicionando/acotando el valor de otras Variables de Decisión definidas por otros Centros de Decisión activados posteriormente. Además,

en muchos de los casos, éstas vienen a su vez acompañadas de lo que se denominó “**Información Global**”, información de diferente tipo que “facilita” la integración/colaboración entre los diferentes Centros de Decisión.

Tanto las Variables Globales como, en su caso la Información Global son enviadas a modo de Instrucciones (IN) a CD^B .

Por su parte, las Variables globales recibidas a modo de IN desde CD^T , son, en algunos casos, una vez resuelto el Modelo PLEM del Centro de Decisión, violadas positiva o negativamente, a modo de Reacción (R).

Se muestra inicialmente (Figura 6-17) cuál sería la Información de Salida por Interdependencias/M de una Actividad Decisional activada en el lugar n de la secuencia establecida en el Proceso.

Se consideran dos tipos básicos:

- Instrucciones (IN) enviadas a CD^B
- Reacciones (R) enviadas a CD^T

En dicha Figura 6-17 se ha remarcado aquella debida a Instrucciones enviadas a CD^B , que es la que realmente supeditará/condicionará al resolución del resto de CDs asociados a Actividades Decisionales ejecutadas posteriormente en la secuencia establecida en el Proceso.

Tal y como se comentó en el capítulo 6, en la presente Tesis sólo se considera el caso Jerárquico, Organizacional y de **un solo Ciclo IN-R**, por lo que **no se consideran en detalle dichas Reacciones**, ya que aunque si bien pueden existir (Figura 6-17), éstas no serán ya Información de Entrada para aquellos CD^T de los que previamente se recibió una Instrucción. Lo que sí se ha explicitado anteriormente es el Coste que supone “violarse” dicha Instrucción, ya que la Reacción considerará valores diferentes para las Variables Globales enviadas a modo de Instrucción. Es lo que se ha denominado Coste por Interdependencias con CD^T (este coste será importante a la hora de evaluar finalmente el “coste total / global” de la Colaboración).

Información de Salida por Interdependencias

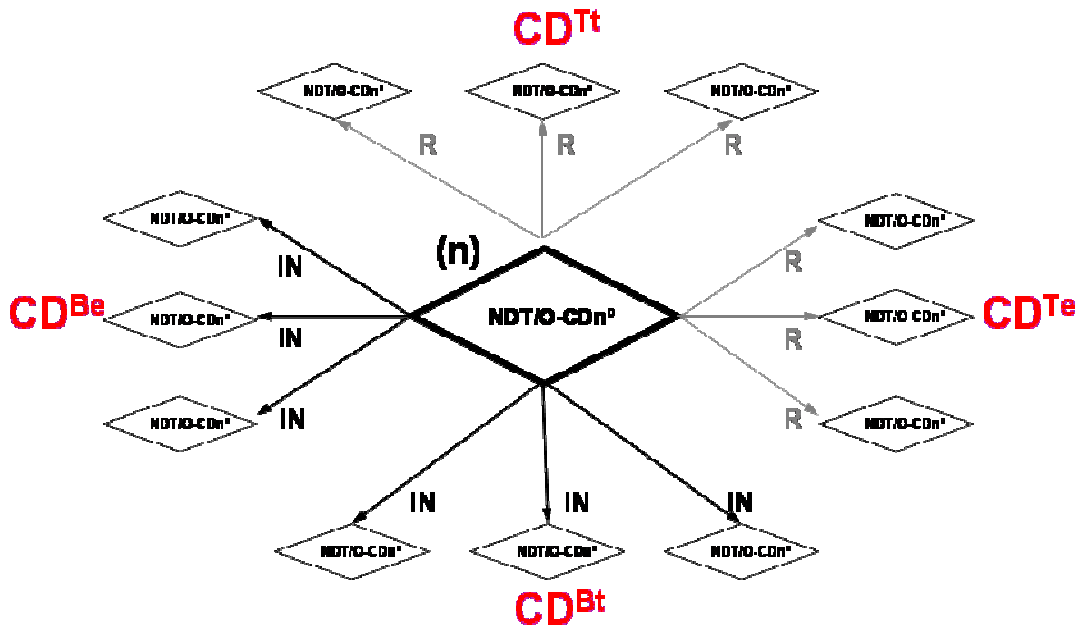


Figura 6-17. Información de Salida por Interdependencias/M de una Actividad Decisional (elaboración propia)

En la Tabla 6-12 se muestra en detalle (a nivel Micro) únicamente aquella **Información de Salida por Interdependencias enviada mediante Instrucciones a CD^B** , ya que como se acaba de expresar, este tipo de información requiere que las diferentes Actividades Decisionales que forman parte del Proceso se ejecuten en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso**.

Para ello, para cada IN enviada a Actividades Decisionales de CD^B ($AD-CD^{Bt}$ y $AD-CD^{Be}$):

1. Indicar Variables/Decisiones Globales (x^{TM}) que contiene:
2. Indicar Información Global (i^{TM}) que contiene:
 - a. Costes sobre desviaciones + ó - ($costx^{+TM}$, $costx^{-TM}$) sobre Variables/Decisiones Globales.
 - b. Máximas desviaciones + ó - ($maxx^{+TM}$, $maxx^{-TM}$) sobre Variables/Decisiones Globales.
 - c. Otros parámetros para la coordinación.

INFORMACIÓN DE SALIDA AD-CD ^M		AD-CD ^{Bt}	AD-CD ^{Be}
IN	x^{MB}		
	i^{MB}	$costx^{+MB}$, $costx^{-MB}$	
		$maxx^{+MB}$, $maxx^{-MB}$	
		otros	

Tabla 6-12. Información de Salida debida a IN de un CD^M genérico asociad a una Actividad Decisional (elaboración propia)

6.5.2.2 Evaluación de resultados integrada del Proceso de Planificación Colaborativa

Este segundo paso del 2º bloque de la Metodología (II) se trataría propiamente de la integración e interpretación de los resultados obtenidos de lo diferentes Modelos de Decisión individuales de cada uno de los Centros de Decisión asociados a cada una de las diferentes Actividades Decisionales.

Lo anterior permitirá **evaluar cuantitativamente el grado de Colaboración actual (AS-IS) de la RdS/D** en su conjunto.

Además, no sólo se podrá evaluar la situación actual (AS-IS), sino que se podrán **evaluar diferentes configuraciones o situaciones futuras (TO-BE)**, a partir de cambios tanto desde el punto de vista Físico, Organizacional-Decisional e Informacional.

Para ello se establecen los siguientes **pasos**:

1. Ejecutar/resolver el Modelo de Decisión Z^1 de la Actividad Decisional 1 (a partir de la Información Local Interna y Externa e Información por Interdependencias con CD^B debida a posibles Anticipaciones)
 - a. **Obtener únicamente el Valor del Criterio Local (C_1^1) de Z^1** , ya que aunque podría existir Criterio por Interdependencias con respecto a CD^B, éste sería consecuencia de una anticipación del mismo, por lo que su verdadero valor vendrá dado cuando sean estos resueltos posteriormente. Dicha anticipación de los Modelos de Decisión de CD^B, y en particular de sus Criterios individuales, permitirá mejorar el Criterio conjunto, aun resultando en un empeoramiento en aquél que los anticipa.

2. Ejecutar/resolver el Modelo de Decisión Z^2 de la Actividad Decisional 2 (a partir de la Información Local Interna y Externa e Información por Interdependencias, en este caso tanto la debida a CD^T , en forma de Instrucción recibida desde el Centro de Decisión asociado a la Actividad Decisional 1, como la debida a CD^B , en forma de posibles Anticipaciones).
 - a. Obtener tanto el **Valor del Criterio Local (C_1^2) como el Criterio por Interdependencias con CD^T ($C_1^{2,T}$)**. No considerar Criterio por Interdependencias con CD^B .
 - i. En caso que exista Criterio por Interdependencias con CD^T significará que alguna de las Variables Globales recibidas a modo de Instrucción desde el CD^1 asociado a la Actividad Decisional 1 han sido alteradas, es decir existe Reacción, y además suponen un “coste”. No obstante el Proceso seguiría ejecutándose/resolviéndose puesto que de alguna manera el coste de “gestionar” dichas alteraciones (con matices diferentes según se trate de Interdependencia Temporal o Espacial) es precisamente dicho Criterio por Interdependencias, que por otra parte ha permitido mejorar el Criterio conjunto de los Modelos Decisionales asociados a las Actividades Decisionales 1 y 2 ⁷³.
3. Ejecutar/resolver el Modelo de Decisión Z^{n-1} de la Actividad Decisional n-1 (a partir de la Información Local Interna y Externa e Información por Interdependencias, tanto la debida a CD^T , en forma de Instrucciones recibidas, como la debida a CD^B , en forma de posibles Anticipaciones).
 - a. Obtener tanto el **Valor del Criterio Local (C_1^{n-1}) como el Criterio por Interdependencias con CD^T ($C_1^{n-1,T}$)**. No considerar Criterio por Interdependencias con CD^B .
4. Ejecutar/resolver el Modelo de Decisión Z^n de Actividad Decisional n (a partir de la Información Local Interna y Externa e Información por Interdependencias, aunque de esta última sólo la recibida a modo de Instrucciones de CD^T).
 - a. Obtener el **Valor del Criterio Local (C_1^n) y el del Criterio por Interdependencias con CD^T ($C_1^{n,T}$) de Z^n** .

⁷³ Otro tema sería el **reparto de “beneficios”** como consecuencia de colaborar en un contexto Jerárquico-Organizacional de un único ciclo IN-R, lo cuál, como ya se indicó al principio del capítulo, no se desarrolla en la presente Tesis.

5. Obtener el Valor del **CRITERIO TOTAL** (C^{total}), como consecuencia de la ejecución/resolución de todos los Modelos de los Centros de Decisión asociados a las Actividades Decisionales del Proceso según se ha especificado en los anteriores pasos, el cual se define como:

$$\boxed{C^{total} = C^{1,2,\dots,n-1,n} = C_1^1 + C_1^2 + C_i^{2,T} + \dots + C_1^{n-1} + C_i^{n-1,T} + C_1^n + C_i^{n,T}}$$

6. Obtener el Valor del **TIEMPO DE RESOLUCIÓN TOTAL** (T^{total}), definido como la suma de los Tiempos de Resolución de los Modelos PLEM individuales.
7. Obtener el Valor de la **CONSISTENCIA TOTAL** (CO^{total}), definido para poder evaluar cuantitativamente de alguna manera cuál ha sido el cumplimiento respecto a las Variables Globales recibidas a modo de Instrucciones desde CD^T ó mas bien cómo afecta el hecho de que los CD^T admitan (en “aras” de optimizar el Criterio Total en contextos jerárquicos-organizacionales) que los CD^B puedan tener una Reacción, normalmente acotada por cierta Información Global transmitida desde los CD^T a modo desviaciones máximas y mínimas permitidas y un coste asociado a las mismas. Este parámetro se define como “el grado en el que se minimiza en la función de CRITERIO TOTAL el “peso” del Criterio por Interdependencias respecto a CD^T en comparación con el Criterio Local de las diferentes Centros de Decisión asociados a las diferentes Actividades Decisionales”:

$$\boxed{CO^{total} = CO^{1,2,\dots,n-1,n} = C_1^1 + C_1^2 + \dots + C_1^{n-1} + C_1^n / C_1^1 + C_1^2 + C_i^{2,T} + \dots + C_1^{n-1} + C_i^{n-1,T} + C_1^n + C_i^{n,T}}$$

- a. Si $CO^{total} = 1$ significaría que:

- i. El Proceso es totalmente consistente, es decir, en el cómputo del C^{total} no ha existido Criterio por Interdependencias respecto a CD^T y por tanto existe mayor probabilidad que el C^{total} sea cierto o dicho de otra forma, que el C^{total} sea el calculado/previsto inicialmente. Cuanto mayor sea la Anticipación con respecto a CD^B , menor será, en principio, la probabilidad de que éste envíe una Reacción y por tanto el peso del Criterio por Interdependencias con respecto a CD^T en el cómputo total del CRITERIO TOTAL sea menor, aumentando de este modo la Consistencia Total ⁷⁴.

⁷⁴ También podría darse el caso que $CO^{total} = 1$ en un caso en el que, sin existir anticipación alguna, no se permitiesen desviaciones respecto a las Variables Globales enviadas a modo de Instrucciones desde los CD^T , por lo que evidentemente no existiría Criterio por Interdependencias con respecto a los mismos. En este caso puntual el Proceso sería totalmente “consistente” pero a costa de un CRITERIO TOTAL peor.

- b. Si $CO^{total} < 1$ significaría que:
 - i. En el cómputo del C^{total} sí que ha existido Criterio por Interdependencias respecto a CD^T y por tanto existe mayor probabilidad que el C^{total} pueda no ser cierto, o como inicialmente se había calculado/previsto.

Los tres parámetros de evaluación anteriores, **Criterio Total**, **Tiempo de Computación Total** y **Consistencia Total**, permiten **evaluar de manera cuantitativa (desde diferentes perspectivas), cuál es el grado de Planificación Colaborativa actual (AS-IS)** de la RDS/D.

Además, en función del valor que tomen dichos parámetros de evaluación asociados al Proceso, no sólo es posible evaluar la situación actual (AS-IS), sino que se puede utilizar como “**simulador**” de **diferentes escenarios de Planificación Colaborativa (TO-BE)**.

Dichos cambios pueden ser más o menos profundos, como por ejemplo, cambiar las relaciones de interdependencia entre los CDs ó variar la secuencia de ejecución de las diferentes AD-CDs, redefinir en cierto Nivel Decisional menos CDs de manera que exista una mayor centralización en la Toma de Decisiones, etc. En definitiva, escenarios que puedan afectar indistintamente a cualquiera de la Visiones Física, Organizacional o Decisional (tanto a nivel Macro como Micro).

6.6 Conclusiones

En este capítulo 6 se ha propuesto una segunda parte de la Metodología, denominada **Metodología (II)**, directamente relacionada con los capítulos 4 y 5 anteriores, ya que por una parte tendrá como entrada todos los **aspectos/conceptos definidos en la Sub-Visión Micro-Decisional del Marco (capítulo 4)** para caracterizar internamente cada Centro de Decisión / Actividad Decisional y facilitar su modelado matemático y por otra parte el **Modelo (conceptual) del Proceso obtenido mediante la aplicación de la Metodología (I) (capítulo 5)**, principalmente en lo que se refiere a las implicaciones desde el punto de vista decisional de las Relaciones de Interdependencia (temporales y espaciales) entre los diferentes Centros de Decisión, pues éstas, como ha podido comprobarse a lo largo del capítulo, afectan tanto a los Modelos de decisión individuales como a la información intercambiada entre los mismos, y por tanto al orden de ejecución de los mismos.

Tal y como se apuntó en el capítulo 1 de la Tesis, dicha Metodología (II) da repuesta a varios **objetivos**:

Primeramente, señalar de forma exhaustiva todos los pasos para el **Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales (Centros de Decisión) y por ende de todo el Proceso de Planificación Colaborativa de una RdS/D** (Pérez y otros, 2008a, 2008b). Dicho Modelado Analítico se particularizará para el desarrollo de Modelos Deterministas basados en Programación Matemática

(Programación Lineal Entera Mixta ó **PLEM**), en escenarios doblemente **jerárquicos** (desde el punto de vista Temporal y Espacial) de un ciclo Instrucción-Reacción y en contextos **organizacionales** (de “búsqueda de un objetivo conjunto”) en los que puede existir cualquier “status de información” (**asimetría**), pero en la que ésta nunca se podrá utilizar con fines oportunistas.

En **segundo lugar**, indicar **cómo resolver/evaluar todos los Modelos PLEM individuales** asociados a cada una de las Actividades Decisionales (Centros de Decisión) (Pérez y otros, 2009, 2010), y por ende, como proceder en la **evaluación integrada del Proceso** globalmente, teniendo en cuenta el Modelado previo del Proceso, en el que se establecía la secuencia de ejecución de cada una de las Actividades Decisionales que formaban parte del mismo. Asimismo, se incluirán tres parámetros de evaluación, denominados “**Criterio Total**”, “**Tiempo de Resolución Total**” y “**Consistencia Total**”, que puedan medir “cuantitativamente” el grado de Planificación Colaborativa actual (AS-IS), y más concretamente, qué beneficios/costes aporta.

En **tercer lugar**, servir de soporte para la **implementación en el Sistema Físico de las decisiones obtenidas** a partir de la resolución de los Modelos PLEM de los Centros de Decisión asociados a las Actividades Decisionales. La **interconexión de las distintas Visiones** establecida conceptualmente en el Modelado integrado del Proceso facilita la conexión entre la Visión Decisional, la Organizacional y la Física, de manera que los Centros de Decisión transmiten las decisiones tomadas a los Centros Organizacionales, los cuales, en última instancia, son los responsables de implementarlas en los distintos elementos del sistema físico.

En **cuarto lugar**, facilitar y guiar en la “**simulación**” de **diferentes escenarios de Planificación Colaborativa** (TO-BE) de manera que puedan conocerse “a priori” los beneficios/costes que ello supone (Pérez y Alemany, 2012). El análisis de dichos escenarios podrá afectar indistintamente (con mayor o menor profundidad) a cualquiera de las Visiones Física, Organizacional o Decisional, y por ende a la Informativa.

Por otra parte, las principales **aportaciones de la Metodología (II)** han sido:

En **primer lugar**, se ha constatado en el Estado del Arte, una escasez de trabajos que determinen de manera detallada los pasos para la construcción de Modelos basados en Programación Matemática para la Planificación de Operaciones (más o menos Colaborativa) en Redes de Suministro/Distribución. Queda patente pues la gran distancia aún existente entre el **Proceso de Planificación Colaborativa real de una RdS/D cualquiera y su modelado matemático**, sobre todo en contextos reales, **con RdS/D con estructuras complejas y entornos descentralizados/distribuidos** (con interdependencias tanto de tipo **temporal** como **espacial**).

En **segundo lugar**, se ha constatado en el Estado del Arte que la mayoría de software tradicional (ERPs y otras herramientas basadas en Tecnologías de la Información) consideran una visión “centralizada” en el proceso de Planificación, centrándose en el caso uni-empresa, y utilizando por tanto Modelos de estas características. Otros, como los Sistemas Avanzados de Planificación (APS), intentan dar solución a las limitaciones del software tradicional en cuanto a Planificación, considerando contextos Inter.-empresas y en los que las decisiones puedan descentralizarse, a la vez que existiendo colaboración. En la línea de los APS se enmarca la Metodología (II), que **posibilita el desarrollo de Herramientas Analíticas de Optimización de Ayuda a la Toma de Decisiones** (en este caso basadas en **PLEM**) en un contexto de Planificación Colaborativa en RdS/D, que consideran el **Entorno Decisional** (Lario y otros, 2007) de cada uno de los Decisores implicados en el Proceso en contextos **descentralizados/distribuidos** y son capaces de considerar las **Relaciones de Interdependencia** entre ellos (Temporal y Espacial) de la manera más eficiente, mediante **mecanismos de coordinación** de diferente índole.

En **último lugar**, se ha constatado que existen muchas empresas que son reáceas a Planificar Colaborativamente porque no conocen “a priori” que beneficios les reportará dicha colaboración y cómo se repartirán, lo cuál crea un clima de desconfianza y de poca pro-actividad. La Metodología (II) indica de manera explícita los pasos para la resolución/evaluación de los Modelos PLEM anteriores, proponiendo tres parámetros que cuantifiquen el “desempeño” actual, permitiendo conocer a las Empresas involucradas en el proceso de Planificación Colaborativa qué **beneficios les reportará dicha colaboración (AS-IS)**. Además, podrá utilizarse como “**simulador**” de diferentes escenarios de Planificación Colaborativa (TO-BE) de manera que puedan conocerse “a priori” los beneficios/costes que ello supone. El análisis de dichos escenarios **afectará inicialmente a cualquiera de las Visiones** (Física, Organizacional, Decisional ó Informativa) en mayor o menor profundidad, **cambios que se verán reflejados en los Modelos PLEM, contruidos a partir de las mismas**, y por tanto en las “medidas de desempeño” obtenidas finalmente como consecuencia de la resolución/evaluación del Proceso de Planificación Colaborativa en general.

Una vez señaladas las **entradas** a partir de las cuales se ha construido la Metodología (II), y explicitados sus **objetivos** y sus principales **aportaciones**, los siguientes capítulos 7 y 8 corresponden a la parte de Aplicación de la Tesis.

En el **capítulo 7** se **describe** cómo es el **Proceso de Planificación de Operaciones** actual en una **RdS/D** concreta perteneciente al **Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos**, mientras que en el **capítulo 8** se **aplica** propiamente la Metodología (II) propuesta a dicho caso real.

6.7 Bibliografía

Lario F.C.; Pérez D.; Alemany M.M.; Alarcón F. (2007). “Metodología para la determinación del Entorno Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)”. I International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Madrid.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2008a). “Metodología para el Desarrollo de Modelos basados en Programación Matemática en un contexto Jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D)”. II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2008b). “Metodología para el Modelado Analítico Decisional de un Centro de Decisión genérico en un contexto Jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D). II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Burgos.

Pérez, D.; Lario, F.C.; Alemany, M.M. (2009). “Descripción detallada del Criterio y del Campo de Decisión en Modelos basados en Programación Matemática en un contexto jerárquico de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro/Distribución (RdS/D)”. III International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Barcelona/Terrassa.

Pérez, D.; Lario F.C.; Alemany, M.M. (2010) “Detailed description of the Decision Variables in Mathematical Programming Models in a Collaborative Planning Framework of Supply and Distribution Networks (SDN)”. Revista de Dirección, Organización y Administración de Empresas, Vol 42, pp. 7-15.

Pérez D.; Alemany, M.M. (2012). “Mathematical Programming Models for Master Planning in ceramic tile Supply Chains. Evaluation and comparison of distributed and centralised scenarios”. XXV European Conference on Operational Research, Vilnius, Lituania.

7 . El Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

Descripción del proceso de Planificación Colaborativa en una Red de Suministro y Distribución concreta

7.1	Análisis global del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.....	7
7.1.1	Perspectiva general	7
7.1.2	Evolución histórica del sector	9
7.1.3	Innovaciones en el sector	10
7.1.4	Descripción de la Red Logística y su Problemática	12
7.1.4.1	Logística de Aprovisionamiento – Producción	12
7.1.4.1.1	Logística de Aprovisionamiento	12
7.1.4.1.2	Producción.....	14
7.1.4.1.2.1	Descripción general del Proceso de Fabricación	14
7.1.4.1.2.2	Descripción detallada del Proceso de Fabricación.....	16
7.1.4.1.2.2.1	Recepción y Tratamiento de Materias Primas.....	16
7.1.4.1.2.2.2	Molienda.....	17
7.1.4.1.2.2.3	Atomización.....	17
7.1.4.1.2.2.4	Prensado y Secado	18
7.1.4.1.2.2.5	Esmaltado	19
7.1.4.1.2.2.6	Preparación de Esmaltes y Tintas Serigráficas	21
7.1.4.1.2.2.7	Cocción.....	22
7.1.4.1.2.2.8	Clasificación y Embalado	23
7.1.4.1.2.2.9	Paletizado.....	23
7.1.4.1.2.2.10	El Transporte	24
7.1.4.1.2.2.11	Consideraciones sobre el Paletizado y posterior Expedición.....	25
7.1.4.2	Logística de Distribución – Demanda.....	26
7.1.4.2.1	Logística de Distribución.....	26
7.1.4.2.2	Demanda.....	28
7.1.5	Principales Líneas de Actuación identificadas.	33
7.1.5.1	A Nivel Individual.....	34
7.1.5.1.1	Recomendaciones en los Mercados de destino analizados	34
7.1.5.1.2	Mejorar los medios de Preparación de Pedidos.....	35
7.1.5.1.3	Mejorar la Planificación de Expediciones y primar la Carga Planificada.....	36
7.1.5.1.4	Estandarización del Palet utilizado (Europalet).....	37
7.1.5.2	A Nivel de Red de Suministro/Distribución (RdS/D).....	38
7.1.5.2.1	Concentrar las Cargas en un Centro de Consolidación	38
7.1.5.2.2	Soporte Tecnológico para la Gestión Logística (E-Business).....	38

Capítulo 7. El Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. Descripción del proceso de Planificación Colaborativa en una Red de Suministro y Distribución concreta.

7.1.5.2.3	Vender con el Transporte incluido (Incoterms C y D).....	39
7.1.5.2.4	Creación de un Núcleo Logístico de apoyo al sector.....	40
7.1.5.2.5	Consideraciones Estratégicas ante posibles contingencias en el Transporte....	41
7.1.5.2.6	Soporte a la Formación Logística de las Empresas.....	42
7.2	Análisis de una RdS/D concreta.....	44
7.2.1	Introducción.....	44
7.2.2	El Cluster azulejero de Castellón.....	44
7.2.3	Algunos datos generales de la RdS/D analizada.....	46
7.2.4	Estructura Logística actual de la RdS/D.....	47
7.2.4.1	Proveedores - Fabricantes.....	47
7.2.4.2	Distribución - Clientes.....	50
7.3	El Proceso de Planificación de Operaciones “colaborativo” en la RdS/D.....	51
7.3.1	Plan Agregado.....	52
7.3.2	Plan Maestro.....	53
7.4	Conclusiones.....	54
7.5	Bibliografía.....	56

Índice de Figuras

Figura 7-1. Descripción de los agentes correspondientes al Aprovisionamiento – Producción en el Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (elaboración propia).....	13
Figura 7-2. Proceso general de monococción porosa (Dalmau y otros, 1993).....	15
Figura 7-3. Ciclo de cocción en el horno (ASCER, 2007).....	22
Figura 7-4. Visión general del proceso de fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (I) (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	24
Figura 7-5. Visión general del proceso de fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (II) (Gómez, 2010).....	25
Figura 7-6. Descripción de los agentes correspondientes a la Distribución – Demanda en el Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (elaboración propia).....	29
Figura 7-7. Principales Líneas de Actuación identificadas en el Sector: a Nivel Individual y a Nivel de Red (elaboración propia a partir de Arthur, 2000).....	34
Figura 7-8. Proveedores y Fabricantes considerados inicialmente en la RdS/D (elaboración propia).....	50
Figura 7-9 Distribuidores y Clientes considerados inicialmente en la RdS/D. (elaboración propia).....	51

Índice de Tablas

Tabla 7-1. Tipo de Problema (Terrestre ó Marítimo) – Línea de Actuación ó Iniciativa (ASCER, 2008)	43
Tabla 7-2. Tipo de Problema (Comunes) – Línea de Actuación ó Iniciativa (ASCER, 2008).....	43
Tabla 7-3. Proveedores considerados inicialmente en la RdS/D. (elaboración propia).....	49

7.1 Análisis global del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos

Antes de analizar en detalle una Red de Suministro/Distribución (RdS/D) concreta, en particular aquella en la que desarrolla su negocio un Grupo Empresarial de la Comunidad Valenciana (mencionado en el Capítulo 1), se describe en primer lugar el Sector del que forma parte, en este caso el de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

A continuación se exponen en este orden: una perspectiva general del Sector, su evolución histórica (Alemany, 2003), algunos datos de carácter general, un análisis más detallado de su Red Logística y su problemática y finalmente qué líneas de actuación se podrían considerar en el futuro para dar salida a dicha problemática, tanto a Nivel Individual de cada eslabón o etapa como a Nivel de Red conjunta. Esto último, aunque no es estrictamente necesario para la aplicación de la propuesta de esta Tesis, se ha creído conveniente incluirlo para contextualizar qué problemática en particular se está abordando.

Por otra parte, todos los datos tienen como referencia al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos español.

7.1.1 Perspectiva general

El Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos español engloba una amplia gama de actividades con el denominador común de fabricar productos derivados de la arcilla que, una vez moldeada y tratada, se somete a cocción. Produce materiales para la construcción, para uso industrial y para uso doméstico, empleando procesos de producción muy distintos, con actividades tradicionales y prácticamente artesanales y otras muy industrializadas y de alto contenido tecnológico.

La Unión Europea es el primer productor mundial, con cerca del 50% del total, y un elevado componente exportador, pues más del 20% de su producción se vende a terceros países.

España es el primer productor europeo, con más del 38% del total de la cuota de la Unión Europea. La producción anual se situó en 2008 en 494,7 millones de m² (585 en 2007). Las ventas totales de productos cerámicos alcanzó en 2008 la cifra de 3.671 millones de euros (4.120 en 2007), con un elevado componente exportador, pues alrededor del 60 % de sus ingresos, 2.211 millones de euros, proceden de la exportación a más de 179 países, situándose en una cuota sobre comercio mundial de alrededor del 19%. El mayor mercado exportador fue la propia Unión Europea (a 27 países) con una cuota superior al 51%. Los datos económicos que se muestran relativos al sector cerámico se basan en (ASCER, 2008).

En los últimos años la producción se distribuye fundamentalmente entre productos de pavimentos esmaltados (46,0 %), azulejos (39,1 %), gres porcelánico (12,0) y extruido (2,9). El porcelánico esmaltado alcanzó hasta el 75,2% de total de porcelánico.

Aunque ya en el año 2003 España era el segundo productor mundial, con más del 38,5% del total de la cuota. Se podía observar como se estaba asistiendo a un incremento de la competencia a escala mundial, debido al aumento de la capacidad productiva de China con el 32,5% de la producción mundial. Existían otros países como Brasil, Indonesia, la India y Turquía con cuotas del 8,4%, 4,0%, 3,8% y 3,2% respectivamente del total mundial.

No obstante, el cambio más significativo en el mercado mundial fue el importante incremento del coeficiente exportador de China, que pasó de una cuota del 2,1% en el año 2000 al 19,8% registrado en 2004, y que desde 2007 hasta la actualidad sigue en aumento.

El número total de empresas españolas en 2007 era de 200, a las que hay que sumar una veintena dedicadas a la atomización de tierras y fabricación de bizcocho. El empleo directo era de unos 26.000 trabajadores y se calcula que el indirecto era de unos 7.000 empleos adicionales. La mayor parte de las empresas son PYMES. Una de las principales características del sector azulejero español es la alta concentración de la industria en la provincia de Castellón. Aproximadamente el 94% de la producción nacional tuvo origen en esta provincia, donde están ubicadas el 81% de las empresas del sector.

Esto ha sido justificado por De Miguel (1996) basándose en las siguientes causas:

- Proximidad de los lugares de extracción de arcillas.
- Abundancia de empleados técnicos especializados.
- Posibles economías de escala derivadas de una Red Empresarial.

El sector cerámico es el segundo que más riqueza genera en la Comunidad Valenciana, de un total de 104 sectores analizados, sólo superado por el sector de la distribución de mercancías (grandes superficies y detallistas), según el estudio Ardán 2004 del IMPIVA (IMPIVA, 2004).

Con datos de 2002, el sector azulejero generó el 6,8% del total de la riqueza creada en la Comunidad. Ya en el año 2009, y en plena crisis económica, los productos cerámicos han supuesto un 10% del total de las exportaciones de la Comunidad Valenciana hasta el mes de junio, manteniéndose como tercera fuerza exportadora sólo superada por los automóviles y los frutos comestibles (Instituto Valenciano de Estadística, 2009).

La producción española rompió en 2003 su crecimiento ininterrumpido desde 1982, pero en 2004 volvió a mostrar una tendencia ascendente, que continuó hasta 2007, ya que en 2008 se empezó a ver afectada por inicio de la crisis económica mundial. Se estima que en 2007 las ventas tuvieron un ascenso

del 5,1%, aunque ya en 2008 se produjo un descenso cercano al 12%. Además de la crisis económica, la aparición de China como superpotencia, no sólo productora, sino exportadora ha tenido un gran impacto en el sector cerámico español, hasta nuestros días.

Después de los fuertes ajustes laborales registrados en 2008 y 2009, con 1.800 y 4.600 despidos respectivamente, en los años siguientes se ha "estabilizado" el mercado laboral en el azulejo.

En la actualidad, se prevee mantener las ventas si aumenta la demanda en Europa y otros países emergentes, y mejoran las ayudas de las administraciones públicas en España, donde el mercado seguirá cayendo debido a la paralización de la construcción y la obra pública.

En los próximos años la Industria Cerámica deberá desplegar una estrategia competitiva que no se base exclusivamente en el precio del producto. Aspectos como la calidad entendida de forma global (propiedades del producto, diseño producto, atención al cliente, **eficiencia en la planificación**¹, etc.) están siendo la base de las innovaciones adoptadas en la Industria Cerámica española.

7.1.2 Evolución histórica del sector

Tradicionalmente, los responsables de las empresas cerámicas han considerado que una política de inversión en I+D era suficiente para competir con éxito en los mercados, puesto que el factor diferenciador del producto era la calidad del mismo.

Esto propició que se llegase a una situación en la que sistemas productivos tecnológicamente muy desarrollados y automatizados, se siguiesen gestionando de una forma muy tradicional con la consiguiente aparición de diversos problemas de adaptación a las nuevas situaciones del mercado.

Así, en los años 70, el coste había determinado la ventaja competitiva de las empresas cerámicas y, por tanto, una gestión centrada en los costes fue suficiente para el buen funcionamiento de las mismas. En los 80 se hizo énfasis en la calidad, intentando llevar los conceptos de calidad más allá del producto, e integrándolo en la filosofía global de la empresa (aún hoy muchos sectores se encuentran en una fase de sistemas globales de calidad). Además, en el sector azulejero, se incorporan nuevas Tecnologías, como son los hornos de monococción (Dalmau y otros, 1993).

Así en la actualidad, el bajo coste y la alta calidad son premisas básicas para desarrollar una actividad empresarial viable en el sector de la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos. A estos se añade el servicio adecuado al cliente sin importar su localización o preferencias. Esto propicia una alta personalización de los productos y grandes esfuerzos de distribución.

¹ La eficiencia en la Planificación (Colaborativa) es de hecho abordada en la presente Tesis.

Sin embargo, este rápido ritmo de crecimiento ha propiciado la aparición de una serie de problemas que, la mayoría de las veces, han supuesto un excesivo énfasis en la mejora tecnológica de los procesos dejando de lado la mejora y modernización de su gestión. Esto se ha agravado porque, en los últimos años, se ha producido un estancamiento en los precios y un progresivo aumento de los inventarios, amplificadas por la Crisis económica actual.

Se ha observado un interés creciente en **integrar a todos los eslabones o etapas de la Cadena Logística, o más ampliamente Red Logística o Red de Suministro-Distribución (RdS/D)** que intervienen en la elaboración del producto. Esto implica que, para mantenerse en los mercados, además de fabricar buenos productos a un precio asequible y en unos plazos razonables, es necesario que los **proveedores y distribuidores sincronicen sus actividades con las de la empresa fabricante**. En este campo cobra cada vez más importancia el concepto de **Integración Empresarial** que pretende lograr este objetivo último **a partir de un modelado y análisis global de los diferentes procesos desarrollados en las empresas**.

En los últimos años se espera una continuación de las anteriores tendencias, puesto que cada vez se acentúa más la expansión global de los mercados, fruto de las políticas comunitarias.

Además la personalización de los productos para clientes cada vez más exigentes propician la aparición de una gran variedad de productos con una baja demanda que obligan a las empresas fabricantes a ser flexibles para adaptarse rápidamente a los cambios en las necesidades de los clientes.

7.1.3 Innovaciones en el sector

En el sector de pavimentos y revestimientos cerámicos se han ido sucediendo una serie de hitos, fundamentalmente tecnológicos, que han llevado al sector a la situación actual, donde una gran automatización del proceso es la base de la competitividad del sector en tecnología, calidad y diseño.

El primer cambio relevante fue la sustitución a mediados de la década de los sesenta del sistema de fabricación tradicional basado en hornos intermitentes por los hornos túneles que aumentaron considerablemente la producción de las plantas.

Después de esto, no es sino hasta la década de los ochenta cuando se incorpora la tecnología de los hornos de monococción, traídos desde Italia. Esta modernización coincide con una recuperación importante del mercado a escala mundial y un aumento de la producción basada en el tirón del sector de la construcción que duró hasta el principio de la década actual. La implantación del sistema de monococción conlleva el aumento de la demanda de personal cualificado (técnicos de grado medio y FPII).

Estos cambios industriales han tenido las siguientes consecuencias (Gallego y otros, 1997):

- Aumento de la relación m²/operario. La necesidad económica de reducir los costes salariales en los países industriales ha conducido a automatizar en mayor medida los procesos industriales.
- Ahorro energético. El proceso de fabricación cerámico, consume grandes cantidades de energía calorífica. Gracias a la construcción del gasoducto procedente de Argelia, se ha podido obtener el combustible necesario para los procesos de fabricación del gres a precios económicos. Además, las ventajosas condiciones ofrecidas por las compañías eléctricas, han posibilitado que las empresas se conviertan en suministradoras de energía eléctrica a la red nacional, merced a la implantación de los procesos de cogeneración.
- La automatización ha influido en los importadores de cerámica. Los países tradicionalmente consumidores de productos cerámicos, hoy en día están en condiciones de autoabastecerse, convirtiéndose en países competidores, en vez de clientes (por ejemplo, China). Como consecuencia de esto, las facturaciones de la industria cerámica en Alemania, Italia, Gran Bretaña y Francia, han sufrido un estancamiento e incluso un ligero retroceso, exigiendo un mayor esfuerzo si cabe en la mejora de la calidad y el abaratamiento de los costes de cara a la exportación.

Actualmente, parece ser que la situación se ha estancado en lo que se refiere a Innovaciones Tecnológicas, y se ha focalizado en otro tipo de Mejoras, las cuales se indican más adelante a modo de Líneas de Actuación, y entre las que destacan:

- Mejoras de los Sistemas de Información para la Gestión.
- Cambios o mejoras en los Procesos Decisionales.
- Aumentos de la Flexibilidad del Proceso Productivo, conjugando las ventajas de fabricar en serie pero con la filosofía de fabricación en pequeños lotes, la cual se hace necesaria debido a:
 - Variabilidad del volumen demandado.
 - Reducción de los ciclos de vida de los productos.
 - Aumento de la variedad y personalización de la oferta.
 - Disminución de los plazos de entrega.

7.1.4 Descripción de la Red Logística y su Problemática

Para describir los principales actores que desarrollan su actividad en el Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos se ha realizado la siguiente partición, en la que en un primer lugar se describe la Logística desde Proveedores hasta los Fabricantes inclusive (Logística de Aprovisionamiento² – Producción³) y por otra parte la Logística desde los Fabricantes hasta el Cliente final (Logística de Distribución – Demanda⁴).

7.1.4.1 Logística de Aprovisionamiento – Producción

7.1.4.1.1 Logística de Aprovisionamiento

En cuanto a la Logística de Aprovisionamiento los principales actores son (Figura 7-1):

- Los Proveedores de Arcillas y Atomizadoras: La arcilla denominada de pasta roja se encuentra en cantidad abundante en la zona de Castellón, donde en 1.994 se consumían al año 5 millones de toneladas. Además es de una gran calidad. La pasta blanca en cambio es escasa y a veces se tiene que importar, aumentando su coste. La inversión necesaria para una atomizadora supone una de las barreras de entrada para producir en el extranjero (deslocalización). Por otra parte, debido al elevado consumo de energía eléctrica que requiere el proceso, muchas empresas utilizan la cogeneración.
- Los Proveedores de Esmaltes, Fritas y Colores: El diseño y la calidad del producto, que viene determinado en gran parte por los esmalteros, son cada vez más importantes. Las fritas suponen una parte importante del coste del producto y están sujetos al precio de materias primas como el circonio y el boro. Los fabricantes de fritas han conseguido una deslocalización productiva necesaria para poder servir eficientemente a sus clientes extranjeros. Su función no consiste tan solo en proporcionar los esmaltes, sino que además proporcionan asistencia técnica, tecnología y diseño, para crear un mayor valor añadido a

² La Logística de Aprovisionamiento incluiría a todos los actores ubicados en la primera y segunda etapas descritas en el Marco (Capítulo 4), es decir, etapas de Proveedores y Aprovisionamiento.

³ Producción incluiría a todos los actores ubicados en la tercera etapa descrita en el Marco, es decir, etapa de Fabricación-Montaje.

⁴ Se entiende que se trataría de la Demanda de Productos Finales por parte de Clientes Finales y que no se consideró en el Marco como una Etapa adicional.

su servicio. Así, disponen de un laboratorio interno de investigación y pruebas, y su colaboración con los fabricantes de azulejos es muy estrecha.

- Los Proveedores de Tercer Fuego y Piezas Especiales: El tamaño de las empresas de tercer fuego puede ser muy variable, desde talleres hasta empresas de más de 5.000 millones de facturación. Los grandes Grupos pueden tener una fábrica propia de piezas especiales.

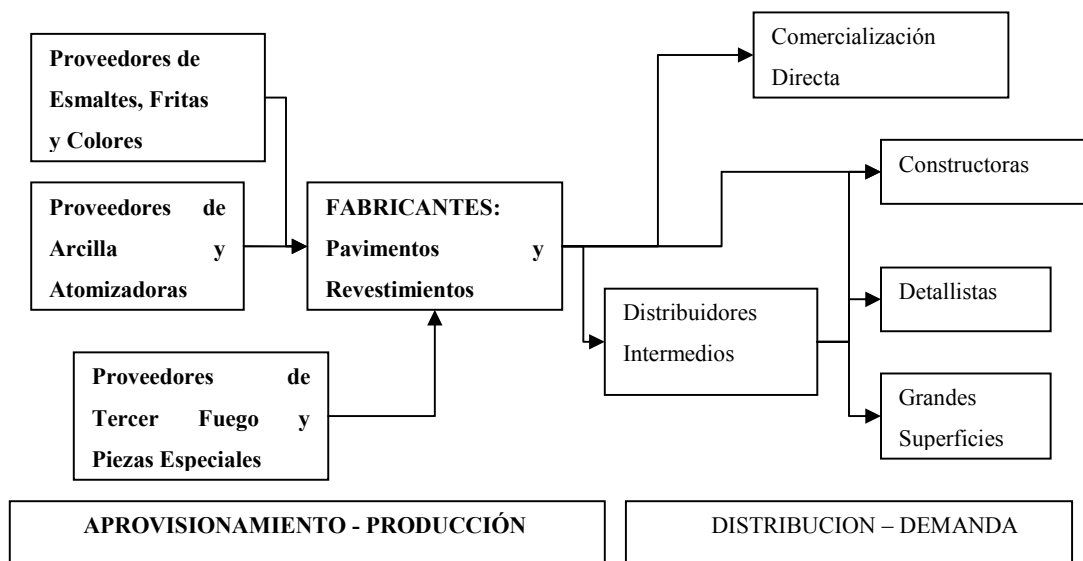


Figura 7-1. Descripción de los agentes correspondientes al Aprovisionamiento – Producción en el Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (elaboración propia)

La problemática que existe en el Sector correspondiente a esta parte de la Red Logística (Aprovisionamiento) concierne especialmente a los Proveedores de Arcilla y Atomizadoras. Un diagnóstico del Sector en general proporcionó los siguientes resultados (Arthur, 2000):

- Elevado número de viajes (camiones) al día entre las minas y las atomizadoras (1.260) y las atomizadoras y los fabricantes (930), que transportan más de 9 millones de Tn producidas al año.
- El coste del transporte representa más del 54% del coste total de la tierra comprada a las minas.
- El stock de arcilla atomizada (juntando los stocks de los fabricantes y atomizadoras) no supera los 5 días de cobertura.

- El elevado volumen de negocio del transporte de tierras está repartido en un gran número de empresas de transporte y autónomos.
- El precio del transporte está bastante ajustado.
- Más del 50% de los camiones que vienen desde las minas no llevan puesta la lona protectora obligatoria.
- Algunos pueblos sufren cada día el paso de más de 1.000 camiones por sus calles.
- Se pueden producir grandes incrementos de producción de pasta blanca (fuerte incremento esperado en porcelánico).
- Estos incrementos saturarían completamente las instalaciones actuales del Puerto de Castellón.
- Una gran parte de la materia prima es importada en barcos a granel, principalmente desde Inglaterra y Turquía.

7.1.4.1.2 Producción

En cuanto a la Logística de Producción, los principales agentes son propiamente los distintos Fabricantes de los distintos productos cerámicos.

Las principales actividades desarrolladas por los fabricantes (suponiendo que éste recibe la pasta ya atomizada desde algún Proveedor de los mencionados anteriormente) son: prensado, secado, esmaltado, cocción, clasificación y embalado. Posteriormente se procedería a su paletización, almacenaje y expedición.

7.1.4.1.2.1 Descripción general del Proceso de Fabricación

En este apartado se hace una descripción general del proceso de fabricación general en cualquier Fabricante del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (Andrés, 2001; ASCER, 2007).

La fabricación del revestimiento cerámico se realiza a partir de arcillas, que se someten a un tratamiento de molturación vía húmeda y, posteriormente, de atomización. La arcilla atomizada se prensa, formando unas piezas, que en el caso de bicocción se cuecen antes de ser esmaltadas (bizcocho), luego se esmalta y sufre una segunda cocción (fino), en monococción directamente pasan a esmaltarse.

Por último, sea cual sea el proceso, el producto esmaltado pasa al horno. Entre las líneas de esmaltado y los hornos existen almacenes intermedios debido al distinto ritmo de producción que hay en cada sección.

Una vez cocido el producto, el producto se transporta a una zona de almacenamiento a la espera de ser clasificado en diferentes calidades y características físicas (tono y calibre) por medio de máquinas sofisticadas. Al mismo tiempo, un operario analiza los defectos de superficie. La propia máquina de selección confecciona las cajas de cartón en las que se envasa el producto. Un robot recoge estas cajas y las almacena en los palets que se transportan al almacén de producto acabado. El producto queda ya listo para su expedición.

Tradicionalmente la utilización de un sistema de fabricación u otro ha correspondido sobre todo al tamaño del formato a fabricar, así para la fabricación de formatos de gran tamaño, se ha empleado el proceso de bicocción, y para formatos inferiores sea empleado el proceso de monococción porosa. Esta diferenciación se ha debido a la fragilidad que presentan los formatos grandes cuando se prensa el bizcocho por lo que, para evitar roturas a lo largo del proceso, los azulejos debían ser cocidos antes de pasar por las distintas aplicaciones en la línea de esmaltado. Por ello se les daba una primera pasada por el horno, para que adquieran cierta dureza y así poder ser manipulados en las líneas de esmaltado sin riesgo de rotura. Actualmente, el proceso de monococción predomina en la industria cerámica, incluso para los formatos de gran tamaño, debido a los avances técnicos.

A continuación se describen uno por uno y de manera detallada todos los procesos de la Figura 7-2.

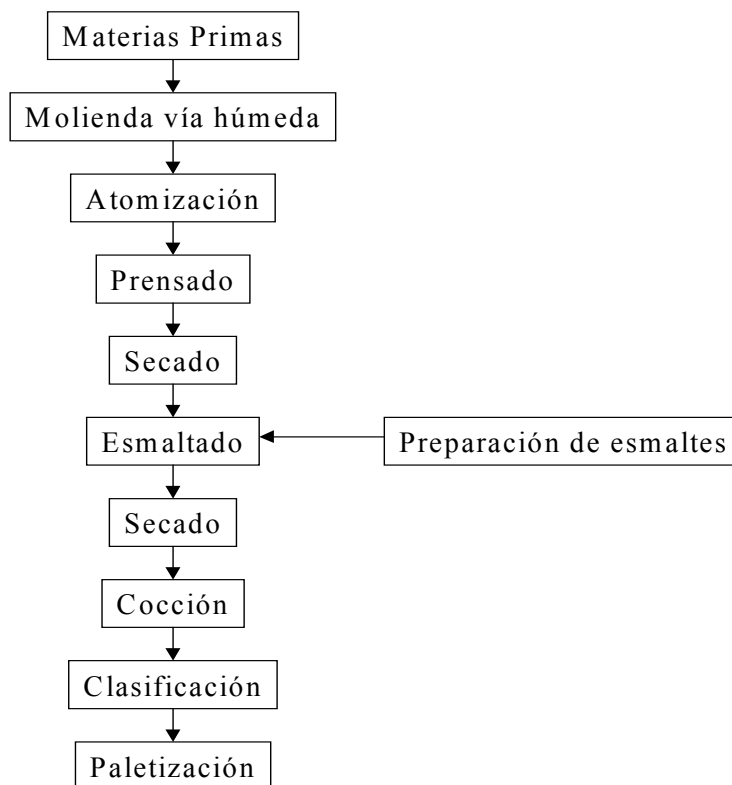


Figura 7-2. Proceso general de monococción porosa (Dalmau y otros, 1993)

7.1.4.1.2.2 Descripción detallada del Proceso de Fabricación

7.1.4.1.2.2.1 Recepción y Tratamiento de Materias Primas.

El proceso se inicia con la obtención de la materia prima con la que se fabrica la base del azulejo. Las arcillas llegan a la empresa mediante camiones desde minas a cielo abierto distribuidas en las proximidades de la zona.

Las arcillas se deposita en estratos horizontales, en una superficie (era) dedicada al almacenamiento de materias primas, cuyo principal objetivo es conseguir una homogeneización óptima para conseguir una mayor uniformidad en las propiedades de las arcillas.

La arcillas con que se trabaja, son depositadas en montones (eras) independientes y se van formando capas de un espesor aproximado de medio metro entre cada par de estratos, introduciéndose entre ambos una fina capa de polvo que se recupera del ciclo productivo. Esto se hace con objeto de evitar que cuando llueva se filtre el agua de los estratos inferiores y estos se humedezcan por encima de un valor mínimo óptimo para trabajar.

Se puede disponer de dos tipos de eras:

- Eras de consumo. Se extraen las materias primas que van a ser utilizadas en el proceso. La extracción se realiza mediante palas mecánicas que toman la arcilla perpendicularmente a como han sido formados los estratos para conseguir un material lo más homogéneo posible.
- Eras de formación. Se van formando los estratos para abastecer las eras de consumo.

Para obligar a que la lluvia no detenga la producción, se dispone de unos graneros techados en los que las arcillas también se almacenan en montones independientes. Diversos controles a las arcillas aseguran la óptima calidad de las mismas, así se realiza uno a la entrada a eras y otro antes de la molienda.

Para evitar problemas en la etapa de molienda ya que las arcillas tienen una granulometría muy variada, se realiza una reducción de tamaño de las arcillas a partículas no superiores a tres o cuatro centímetros, mediante unos trituradores de martillos que consiguen reducirlas, gracias a varios cilindros dentados. Una pala mecánica se encarga de llevar las arcillas hasta el triturador.

Una vez triturada cada arcilla, pasa mediante una cinta transportadora, a unos silos de acopio, desde los que se realiza la dosificación a los molinos. Estos silos suelen estar conectados a un sistema informatizado de pesada que marca los tipos y la cantidad de arcilla que se requiere. Una vez realizada la pesada de los materiales éstos pasan mediante cintas transportadoras móviles cubiertas (para evitar la

acción de agentes meteorológicos durante su trayecto), a una serie de tolvas que se encuentran situadas en la zona de carga de molinos.

Para cada molino la carga se realiza mediante una tolva de arcilla y un depósito de agua situados en la parte superior.

7.1.4.1.2.2.2 Molienda

Esta etapa tiene dos objetivos. Por un lado, aumentar la superficie del material por unidad de masa, y por otro, obtener una distribución de tamaños de partícula adecuada a las necesidades del proceso y producto.

La molienda se lleva a cabo mediante molinos de bolas y se realiza por vía húmeda (en presencia de agua), ya que se consigue una mayor homogeneización de las materias primas y permite obtener polvo granulado con mayor fluidez que el obtenido por vía seca, facilitando la obtención de mejoras en el proceso productivo y con ello mayor calidad en el producto final.

Los molinos contienen en su interior bolas de sílex como elementos de molienda, siendo éstos de diferentes tamaños y capacidades. Al final del proceso se obtiene una mezcla de la arcilla, agua y defloculante que se denomina barbotina. Para ello, el molino está en marcha durante unas 10-15 horas.

Una vez finalizado el proceso de molienda, el contenido del molino (barbotina de arcilla) se vierte y almacena en constante agitación en la llamada balsa de sucio. Este líquido espeso es tamizado en tamices vibratorios, eliminando todas las partículas de tamaño excesivo, y guardado en las balsas de limpio quedando listo para el siguiente proceso de atomización.

El agua utilizada en el proceso proviene de unas balsas en las que se almacena los volúmenes provenientes de la limpieza de la fábrica y lluvia, con lo que se evitan vertidos al medio ambiente.

7.1.4.1.2.2.3 Atomización

Mediante la operación de atomización o globulación se logran dos objetivos básicos:

- Secar la barbotina para adecuar la humedad del sólido a la óptima requerida en la etapa de prensado.
- Obtener un polvo cuyos gránulos presentan una morfología esférica, que mejora la fluidez del sólido, y facilita que durante el llenado del alvéolo de la prensa, se obtenga una distribución de masa uniforme.

Desde las balsas de limpio la barbotina se bombea al atomizador mediante bombas de pistón doble refrigeradas por agua, pasando antes por unos tamices. El objetivo de los atomizadores es pulverizar la

barbotina en contracorriente con un flujo de aire caliente (que puede provenir de un quemador vertical de gas o una turbina de cogeneración). Al contacto con los gases calientes sufre un secado violento quedando convertida en polvo ligero.

El total de atomizado producido es conducido mediante cintas transportadoras a unos silos de almacenamiento.

Los silos presentan aspiraciones internas para eliminar el polvo producido en la carga así como la humedad, evitando de este modo que se pegue el atomizado a las paredes internas del silo produciendo costras. De los silos, el atomizado parte mediante cintas transportadoras hacia la sección de prensas.

7.1.4.1.2.2.4 Prensado y Secado

Con la mezcla previamente atomizada, se alimenta al carro de la prensa, donde se configura el producto final. Para ello, se suele disponer de prensas oleodinámicas de alta potencia.

Con el prensado se da forma a la pieza y se le dota de una resistencia mecánica que permita que la pieza conformada pueda ser transportada en las siguientes etapas del proceso.

Los moldes son los que dan la forma geométrica exacta a la pieza aprovechando la fuerza ejercida por el pistón de la prensa. En ellos pueden diferenciarse tres partes:

- Punzones superiores (marca comercial)
- Punzones inferiores (características superficie vista)
- Matriz (tamaño y calibre)

La configuración de la prensa, en especial su potencia, determinan el tipo de formato que puede fabricarse con este recurso.

Los trabajos de preparación de las prensas, consisten en el ajuste de estos tres elementos hasta obtener la configuración física deseada. Dichos trabajos suelen suponer la manipulación de maquinaria pesada por lo que los recursos necesarios para llevarlos a cabo son importantes, evitándose los cambios simultáneos en varias prensas. Esta fase preparatoria suele ser la más laboriosa de todo el proceso de fabricación.

El siguiente proceso al que es sometida la pieza después del prensado es el secado, cuya misión es eliminar agua de la misma para, posteriormente, conseguir que la adherencia de las aplicaciones de esmalte no provoque fallos de tipo superficial.

A través de cintas transportadoras se conducen las piezas al secadero. Durante este transporte se someten a un proceso de cepillado, tanto de la cara superior como de la cara inferior, con el fin de eliminar el polvo que queda adherido a la pieza después del proceso de prensado.

El principio de funcionamiento de los secaderos automáticos verticales se basa en realizar un flujo contracorriente entre el material a secar y aire caliente producido por quemadores de gas natural. Los azulejos se sitúan en cestas con movimiento descendente, mientras que el aire caliente asciende.

El tiempo de permanencia de la pieza en el secadero, así como la temperatura utilizada, depende fundamentalmente del espesor. La temperatura y la humedad se controlan periódicamente.

La operación de secado dura aproximadamente unos 12 minutos y la temperatura de entrada del aire al secadero es de 220° dependiendo del modelo que se esté realizando.

7.1.4.1.2.2.5 Esmaltado

Las instalaciones de una planta de monococción porosa, constan de líneas de esmaltado disponiendo cada una de ellas en su cabecera de su correspondiente prensa y secadero vertical. El tipo de producto a fabricar en una línea depende del formato y, principalmente, del número de aplicaciones que va a llevar el modelo a esmaltar.

Las piezas salen del secadero vertical a una temperatura óptima para el proceso de esmaltado. Seguidamente, las piezas sufren un proceso de cepillado por la parte inferior, para evitar que el polvo que puedan llevar adherido contamine las correas en las campanas de engobe y base, contaminando a su vez al esmalte. Un soplador se encarga de eliminar el polvo en la parte superior de las piezas.

Un aerosol de agua homogeneiza la temperatura superficial de la pieza al mismo tiempo que tapa los poros superficiales. En la primera parte de la línea, cada unidad recibe dos aplicaciones por medio de una serie de campanas denominadas engobe y base, respectivamente. La aplicación de la base se debe realizar justo cuando el engobe recién aplicado empieza a secar (esto se consigue regulando la velocidad de la línea). La finalidad de estas capas es ocultar el color rojizo de la pasta, eliminar o corregir los defectos superficiales del soporte y mejorar la adherencia esmalte-soporte.

A continuación, hay un largo tramo de línea que se encuentra techado para evitar que el polvo del ambiente se adhiera a la pieza ocasionando defectos. Durante este tiempo la base se va secando y la pieza va evaporando agua. Más tarde se friega o rasca lateralmente todas las piezas, mediante unas muelas eléctricas al mismo tiempo que un soplador elimina las posibles virutas que hayan podido saltar sobre la pieza.

Seguidamente, se pasa a la decoración de la pieza mediante distintas aplicaciones, que son realizadas por diversos dispositivos específicamente diseñados. Estas instalaciones se pueden montar y

desmontar sobre la cinta transportadora, para variar la configuración de la línea en función del tipo de producto a fabricar. Las posibles aplicaciones que puede recibir un modelo son:

- Aerosol de agua: La función de este aerosol es la de regular la humedad superficial de la pieza, además el agua penetra en los poros de la pieza llenándolos con lo que la aplicación del engobe se hace sobre una superficie de muy poca porosidad con lo que se evitará la formación de pinchazos.
- Aplicación de esmalte: Los esmaltes se aplican a campana, con ello se logra un mayor control sobre la aplicación. Este esmalte es el que proporciona el color de fondo del azulejo. Los esmaltes más utilizados son las cristalinas (negra y coloreadas), blanco de circonio y mates.
- Serigrafiado: Es un sistema consistente en hacer pasar un esmalte (tinta serigráfica) a través de una tela especial (pantalla). La tinta pasa al presionarla mediante una espátula de goma por los puntos de la tela donde existe un orificio, como la pantalla se encuentra tocando el esmalte de la pieza la tinta quedará adherida a la pieza.

La espátula realiza dos movimientos, en el primero recoge tinta y pasa sobre la pantalla sin apretar, llenando así los orificios de ésta. En el segundo movimiento, en sentido contrario al anterior, la espátula ya aprieta la pantalla sobre la pieza. La alimentación de tinta en la pantalla puede ser manual o automática.

El serigrafiado define el ritmo de producción en el esmaltado. Existen varias de estas máquinas de serigrafiado en cada una de las líneas de esmaltado, para poder así aplicar variedad de dibujos y colores a cada modelo.

Antes del serigrafiado propiamente dicho, se aplica a la pieza una ligera capa de fijador para mejorar la adherencia de la serigrafía.

- Serigrafiado rotatorio: se disponen las pantallas alrededor de un cilindro el cual gira a una velocidad determinada, consiguiendo mejorar la productividad de este proceso.
- Efecto veteado: El esmalte se aplica en seco sobre la pieza una vez que ya ha sido esmaltada para crear efectos de veteado, intentando imitar piedras naturales. Este polvo se aplica con una máquina especial. Esta aplicación se lleva a cabo entre el engobe y el esmaltado. Se requiere que el engobe este suficientemente tierno, para que se lleve a cabo la absorción del polvo y no se den pinchados de esmalte.
- Cabañas de discos: permiten la aplicación de efectos lanzando el esmalte a través de unos discos en rápida rotación, lo que da un resultado irregular y de goteo.

- Fumé: sistema que consiste en rociar el esmalte con un aerógrafo utilizando una plantilla para el dibujo.
- Granilladoras: depositan esmalte en polvo sobre el azulejo, dando resultados rugosos.
- Compensadores: distribuidos a lo largo de la línea hay varios compensadores que se encargan de almacenar la producción que llega por la cinta cuando se produce algún pequeño paro aguas abajo.
- Varios: elementos para la limpieza de los bordes, volteadores, guías de dirección, sopladores de polvo, cintas transportadoras, etc.

A lo largo de toda la línea, distintos controles aseguran la correcta calidad de las piezas y de los componentes utilizados.

Las piezas una vez esmaltadas se pasan por unos secaderos para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente el 0.5 %. De esta manera, se evitan posibles explosiones y defectos que podrían originarse si se introducen directamente al horno.

Los secaderos son unas estructuras con bandejas de rodillos, donde se introducen los azulejos a los que se les inyecta una mezcla de aire externo y aire caliente procedente de la zona de enfriamiento del horno, mediante una serie de conducciones. El tiempo de residencia de las piezas en el secadero depende del tiempo de almacenamiento de éstas en el parque, de la descarga a hornos y del espesor de las piezas.

Una vez salen del secadero las piezas se traspan a la línea de alimentación a hornos, la cual dispone de otro compensador para evitar la discontinuidad en la entrada al horno.

7.1.4.1.2.2.6 Preparación de Esmaltes y Tintas Serigráficas

Estos procesos auxiliares se realizan previamente al inicio de la producción. Los esmaltes suelen ser de fabricación propia. Para fabricar los esmaltes se utilizan fritas, colores, aditivos y agua. La frita llega en sacos de producto y su forma es la de cristales. Todas estas materias primas se introducen en unos molinos especiales, en unas cantidades adecuadas y se muelen hasta que la granulometría y viscosidad son las prescritas. Se almacenan entonces en cubas constantemente homogeneizadas mediante unos batidores hasta el momento de su uso.

La pasta serigráfica se fabrica a partir de polvo base. Éste se dispersa en un vehículo serigráfico (que generalmente es una mezcla de resinas sintéticas), con ayuda de un agitador a alta velocidad. La preparación de la pasta se hace a través de dos métodos:

- La pasta se hace pasar por una máquina denominada tricilíndrica, la cual consta de tres rodillos que giran en sentido diferente cada uno. Con esto, se consigue una laminación del

material, evitando así la formación de pequeños grumos en la pasta y consiguiendo una mayor integración de los componentes de la mezcla.

- La pasta ya dispersada se consigue pasar por un tamiz, ejerciendo presión mediante una espátula para facilitar el paso del material a su través. De este modo se consigue la eliminación de grumos que podrían ocasionar problemas posteriores en las pantallas serigráficas.

7.1.4.1.2.2.7 Cocción

Para esta función se utilizan los hornos. Su función es cocer el bizcocho esmaltado para dar el producto final. La alimentación de los hornos es mediante gas natural. En su paso por el horno el bizcocho atraviesa varias secciones denominadas prehorno, precalentamiento, cocción, enfriamiento natural y enfriamiento forzado, respectivamente, siendo el sistema de movimiento de las piezas mediante rodillos. El control del horno para la regulación de la temperatura se realiza mediante un sistema de control por microprocesadores.

Del horno sale el producto a una temperatura elevada, pero ya con las características finales de resistencia y dureza adecuadas. Los factores que afectan principalmente a la cocción son el rango de cocción y el tiempo de permanencia a la máxima temperatura. Otras variables muy importantes para el óptimo funcionamiento del horno son la uniformidad de la temperatura del horno, el control de la curva de cocción y el control de la atmósfera del horno. La temperatura máxima de cocción del bizcocho es 1120° C aproximadamente, siendo la permanencia de cada pieza en el horno de unos 42 minutos aproximadamente.

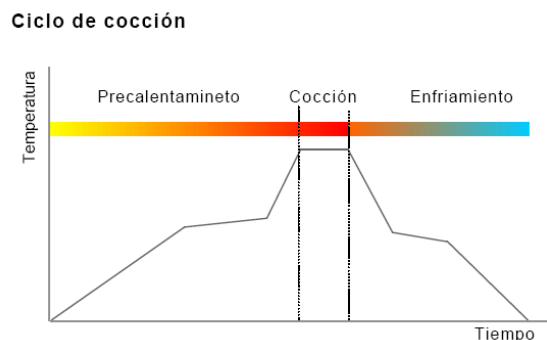


Figura 7-3. Ciclo de cocción en el horno (ASCER, 2007).

Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico (temperatura-tiempo, Figura 7-3) y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener.

Sin embargo, estas temperaturas pueden cambiar ligeramente en función del tamaño y del formato. A mayor tamaño y espesor mayor tiempo de cocción.

7.1.4.1.2.2.8 Clasificación y Embalado

Las piezas una vez han salido del horno, pasan al almacén donde se almacenan para su posterior clasificación. En esta sección se somete a los azulejos, uno a uno, a varias pruebas para clasificarlos por calidades, calibres y tonos (resistencia mecánica, clasificación visual, planaridad, calibres y tono).

En la clasificación de las piezas se distinguen tres calidades:

- Primera: el azulejo no presenta ningún defecto visible.
- Segunda: el azulejo incluye despuntados, grietas, hoyos, picaditas de tamaño pequeño y en poca cantidad, etc.
- Tercera: el azulejo contiene los mismos defectos que los de segunda pero en mayor cantidad y tamaño, además de defectos de serigrafía y otras aplicaciones.

Los azulejos con defectos más graves como despuntados o desconchados se clasifican como tiesto, las piezas así clasificadas son desviadas y caen a un depósito. Posteriormente serán molidas para su reincorporación a las nuevas arcillas de las eras.

Al mismo tiempo que se realiza la clasificación por calidades los azulejos se clasifican por tonos y calibres dentro del mismo producto que ya venía definido por un formato, un diseño y un color. Dicho de otra forma, el tono y el calibre son características variables del producto, que si bien se mantienen dentro de un rango, no se conocen con precisión hasta el final del proceso.

La tecnología actual permite que el proceso de clasificación este altamente automatizado. Este proceso consiste en el paso, mediante una cinta transportadora, por un sistema formado por elementos de visión artificial y otros sensores que informan a un sistema informático que asigna al azulejo a un grupo. El azulejo continúa por la línea hasta que llega a la posición asignada a los azulejos de su grupo donde es desviado a un nivel inferior donde permanecerá hasta completar un número preestablecido dependiente del formato. Cuando ese número se alcanza se traslada mediante otra cinta transportadora a la entrada de la máquina empaquetadora que identifica en su envoltorio no sólo el modelo, formato y color sino su tono y calibre. Finalmente las cajas son transportadas por una cinta hasta la siguiente sección de paletizado.

7.1.4.1.2.2.9 Paletizado

De la sección de la clasificación sale el producto embalado en cajas codificadas según calibre, calidad y tono. La paletizadora se encarga de llenar los palets de forma automática teniendo en cuenta

estos datos. Una vez está el palet ya conformado, se enfunda manualmente con un plástico biodegradable mediante la aplicación de calor. Los palets se llevan a otra nave donde se ubica el almacén mediante la utilización de vehículos mecánicos.

La situación de los palets en el almacén atiende a un programa de control de almacenes diseñado para un óptimo aprovechamiento del mismo, así como para una eficaz gestión y control de cada palet.

7.1.4.1.2.2.10 El Transporte

Entre líneas de esmaltado y hornos, y hornos y líneas de clasificación las unidades se depositan mediante sendos manipuladores en unas estructuras compuestas por diferentes repisas denominadas vagonetas. Para el transporte de estas vagonetas se utilizan vehículos filoguiados motorizados eléctricamente (AGV), que se desplazan sin necesidad de raíles mediante la acción de un sistema de radio control. El recorrido de los vehículos viene prefijado por un trazado de cables bajo el suelo que se encarga de dirigir la trayectoria. Todo el mecanismo está gestionado por un autómata, que manda la información a los vehículos mediante ondas de radio. Este sistema proporciona una gran flexibilidad a la hora de programar la entrada de los trabajos a la siguiente sección.

En la Figura 7-4 y Figura 7-5 se puede apreciar de forma gráfica el proceso completo de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos.

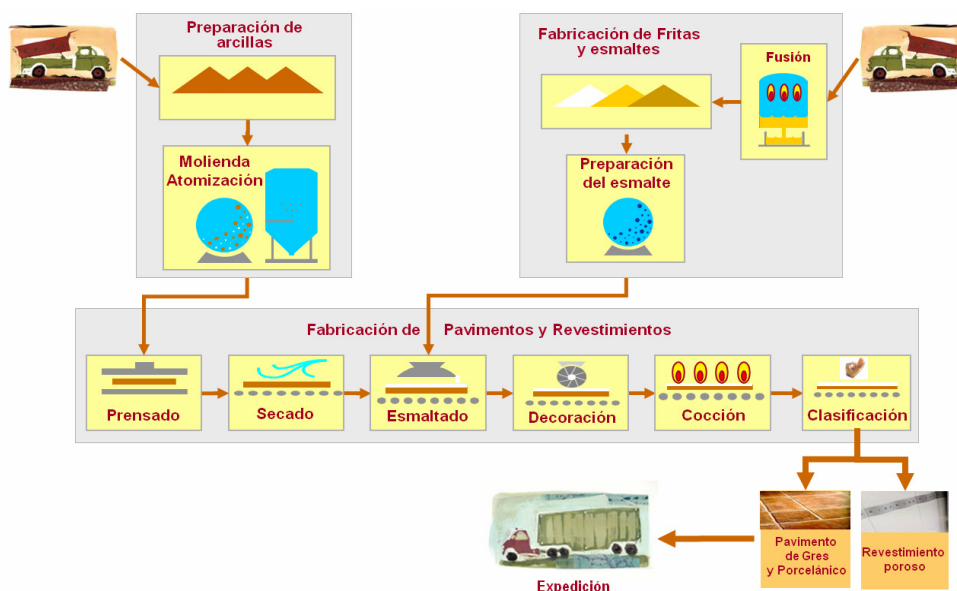


Figura 7-4. Visión general del proceso de fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (I) (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)

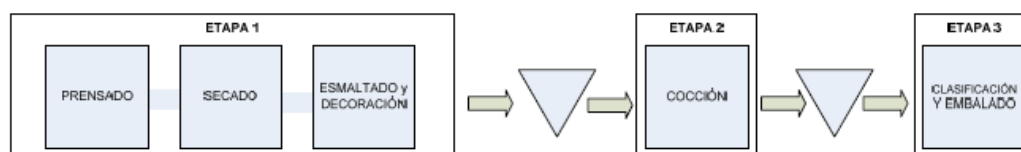


Figura 7-5. Visión general del proceso de fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (II) (Gómez, 2010)

7.1.4.1.2.2.11 Consideraciones sobre el Paletizado y posterior Expedición

Se ha creído conveniente, en último lugar, señalar los rasgos más destacables en materia de paletización,/expedición:

- Escasez de suelo y elevado coste del mismo, con la consiguiente dificultad para la expansión de las empresas.
- Reducción (eliminación) de la función de almacenamiento por parte de los clientes, con el consiguiente incremento de las existencias en fábrica.
- Ampliación de la gama de producto, que implica elevados niveles de almacenamiento dada la práctica generalizada de atender los pedidos contra stock. En efecto, la calidad del servicio al cliente es en este sector un aspecto fundamental. Los pedidos se atienden inmediatamente, por lo que la producción está determinada por previsiones de venta y no por pedidos efectivamente realizados.
- Acortamiento del ciclo de vida del producto, con la consiguiente generación de excedentes de fabricación que en muchas ocasiones son vendidos a bajo precio y por canales de distribución secundarios.
- Generalización del uso del Europalet para la mercancía con destinos de la Unión Europea y, en menor medida, Europa del Este. Para el resto de la mercancía, se usan Palets desechables de la misma medida que el Europalet (80x120), lo que obliga, en muchas ocasiones, a duplicar el espacio destinado al almacenamiento del producto terminado.
- Los niveles de informatización y automatización de los almacenes de las empresas cerámicas son, en general, aceptables.
- La formación del personal de expediciones es aceptable y existe una cierta tendencia hacia la mejora de la capacitación en las empresas. Paralelamente, existen sociedades

especializadas que “alquilan” personal de almacén a las empresas durante los fines de semana, con el fin de agilizar la preparación de los pedidos.

- Aumento del número de pedidos y reducción de la cantidad de producto por pedido.
- En lo referente a los tiempos de entrega, la empresa necesita normalmente unos dos días para poner la mercancía a disposición del cliente (en el caso de pedido contra stock, es decir, en la mayoría de las ocasiones). No obstante, durante los meses de Mayo a Julio, en que el volumen de actividad aumenta considerablemente, este tiempo puede prolongarse. Por otra parte, es una práctica habitual en el sector establecer plazos fijos en los que el cliente, si modifica el pedido, sufre un retraso de uno o dos días en la entrega. Evidentemente, esta medida no se aplica con carácter general, sino en función del cliente y el nivel de actividad de la fábrica.

7.1.4.2 Logística de Distribución – Demanda

7.1.4.2.1 Logística de Distribución

Es importante destacar que la Logística de Distribución en general suele ser misión de Empresas más o menos independientes ya que los Fabricantes no suelen estar integrados “aguas abajo”.

Además, en la mayoría de los casos, los fabricantes no se responsabilizan de lo que ocurra una vez la mercancía ya ha sido cargada desde sus propios almacenes (venta ex-Factory), ya que existen terceras partes, como puedan ser Empresas de Transporte u Operadores Logísticos que se encargan de ello, y que normalmente han sido contratadas por los Clientes (Demanda).

Así pues, en cuanto a la distribución cabe destacar que se están produciendo importantes cambios en la distribución de baldosas cerámicas en la mayoría de países occidentales. Estos cambios afectan mucho a los fabricantes, ya que cada canal exige un trato diferente.

En términos sintéticos los criterios de compra de algunas de las vías de comercialización (Canales) más destacadas son (Tellois, 2006):

- Los distribuidores tradicionales (en España fundamentalmente):
 - Calidad.
 - Comerciability de los productos (incluía diseño).
 - Relación que se establece con el proveedor (búsqueda de beneficio mutuo y estabilidad).

- Servicio.
 - Precio (aunque dependiendo de su posicionamiento).
- Gran superficie de bricolaje (en España):
 - Cumplir una serie de criterios que permiten adquirir la autorización a proveer (tras un examen del fabricante).
 - Servicio.
 - Gama.
 - Precio.
- Constructores españoles:
 - Precio.
 - Tiempo de pago.
 - Disponibilidad.
- Baumarkts alemanes:
 - Adaptación a mercado alemán (pasta blanca, etc.).
 - Precio.
 - Servicio logístico.
 - Oferta de marca blanca.
- Cooperativas alemanas:
 - Adaptación a mercado alemán (pasta blanca, etc.).
 - Servicio.
 - Calidad y diseño.
 - Oferta de marca blanca.
 - Precio.
- Compradores tradicionales norteamericanos:
 - Disponibilidad (que el proveedor pueda proveer de stocks sin roturas).
 - Servicio y relación de ganancia mutua.
 - Piezas hechas para los gustos americanos.

- Precio.
- Grandes almacenes norteamericanos:
 - Disponibilidad.
 - Precio.

El principal cambio es que la distribución se está concentrando. De todas formas, lo está haciendo de maneras diversas según la zona y el tipo de consumidor final.

La gran excepción a esta evolución se encuentra precisamente en España e Italia, donde la progresión es lenta debido a la presencia de una extensísima red de distribución tradicional y fragmentada que llega al consumidor a través de miles de detallistas diferentes.

7.1.4.2.2 Demanda

En cuanto a la Demanda es necesario reseñar los siguientes 4 factores (en función de dichos factores se diseñará una Red de Distribución u otra, con configuraciones y Canales diferentes, como ha podido observarse previamente):

- El Mercado o zona de destino donde se opera: Una Empresa deberá considerar si su prioridad es atender una Demanda local o una multilocal. Si quiere ir a varios Mercados tendrá que entender qué quiere cada uno de ellos y adecuar la producción a su demanda. En otras palabras, no se consideraría multilocal aquella empresa azulejera que buscase vender en diversos lugares la producción que le sobra de sus mercados prioritarios, ni incluso aquella que priorizase diversos Mercados pero intentando colocar en cada uno el mismo Tipo de Producto. Para ser realmente multilocal hay que entender que Europa Central y del norte, Europa del sur y Norteamérica son diferentes Mercados, con gustos y hábitos particulares a los que hay que dar respuesta diferenciada. Vender revestimientos complicados según el gusto español en California no es un signo de amplitud de mercados, ni intentar vender en Alemania grandes pavimentos que no se pudieron colocar en Oriente Próximo, por ejemplo.
- Tipos de Cliente al que va dirigido el Producto: Las Empresas pueden centrarse en el Mercado de Detallistas o en el de Clientes Comerciales (sobre todo gran construcción) o en Grandes Superficies, lo cual indicaría un ámbito competitivo estrecho, o en todos los tipos de clientes, lo cual indica un ámbito más amplio. Se parte aquí de que hacer productos iguales para todos los tipos de cliente no es tener un enfoque amplio.

- Tipos de Productos requeridos por la Demanda: Una empresa puede dedicarse a hacer únicamente pavimentos rústicos en gran formato, o puede, en el extremo opuesto ofrecer pavimentos y revestimientos de diversos estilos, con multitud de formatos, de pasta roja y blanca, gres porcelánico esmaltado y sin esmaltar, e incluso piezas especiales. En el primer caso su enfoque es estrecho en cuanto a la gama, en el segundo amplio. Entre ambos extremos existen múltiples posibilidades intermedias.
- El número de Canales que se atienden: Se puede atender un único tipo de Canal o varios. Aquí, como pasaba con el Mercado y los tipos de clientes, el tema no es tanto a cuántos Canales se vende, como para qué canales se pone en marcha una política diferenciada. Al hablar de Canales se consideran las Grandes Superficies tipo Bau o Home Center, las Cadenas de franquicias, las Distribuidoras que distribuyen a tiendas tradicionales (a veces incluso a través de subdistribución), la comercialización directa, etc.

En la Figura 7-6 se muestran los principales actores que formarían parte de la Logística de Distribución – Demanda:

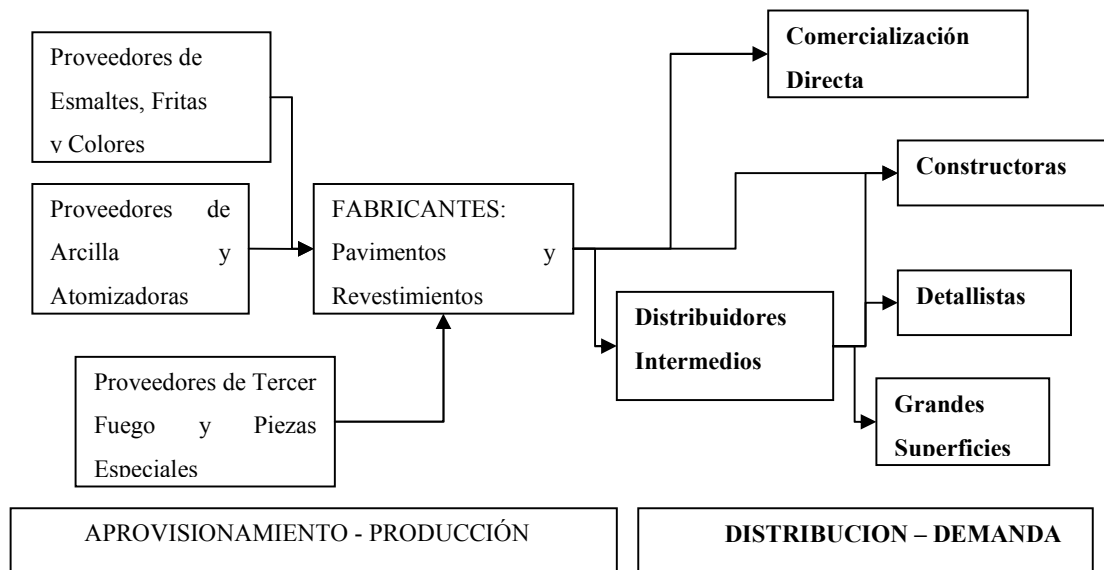


Figura 7-6. Descripción de los agentes correspondientes a la Distribución – Demanda en el Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos (elaboración propia)

En cuanto a la problemática existente cabría destacar que la Distribución puede estar poco o muy atomizada, dependiendo del Mercado en cuestión.

En el caso español, la distribución está bastante atomizada, lo cual origina que la mayoría de las ventas se realicen Ex-Factory. El uso de Incoterms denominados de tipo C ó D (“puerta a puerta”) parece,

a medio plazo, imposible, debido a la oposición del sector (sólo se está vendiendo puerta a puerta en algunos destinos africanos, así como a la gran distribución).

Esta circunstancia genera problemas de comunicación entre los distintos agentes participantes en las operaciones logísticas (productor-transportista-cliente) y dentro de los propios departamentos de la empresa cerámica (producción-comercial-logística/expediciones).

Las disfunciones que genera la falta de control en el transporte son evidentes en el caso del sector cerámico. Cabría preguntarse sobre las razones que han llevado a esta situación, y sobre todo sobre cuáles serían las posibles soluciones.

La principal causa es relativamente sencilla: en la mayoría de los casos es una cuestión de tradición. El exportador ha preferido desentenderse de los problemas de gestión (personal especializado) y financiación (transporte y seguros) que ocasiona el uso de Incoterms C/D, a cambio de una renuncia en el control de las operaciones.

Si bien se ha evolucionado hacia una mayor preocupación por este problema, el cambio de las reglas de juego del sector es complicado, al menos a corto plazo.

El cuanto al Transporte, de manera general se podrían citar las siguientes características:

- El modo de transporte predominante es la carretera.
- El transporte marítimo se utiliza en los destinos trans-oceánicos, siendo de cierta importancia en Europa.
- El ferrocarril es poco utilizado. Se tiende a una disminución dada su ineficiencia.
- En el transporte por carretera existe un claro predominio de la carga fraccionada.
- En el transporte marítimo la carga fraccionada presenta un porcentaje reducido en la actualidad, pero existe una evidente tendencia al incremento del fraccionamiento de carga.

Transporte por carretera

En el Transporte por carretera, el camión es el medio más utilizado para el transporte de mercancías en el ámbito nacional y a todos los destinos europeos.

En materia de transporte, el principal problema percibido por empresarios y transportistas es la congestión.

Por otra parte, cabe destacar que el crecimiento del picking es una preocupación generalizada en el sector.

Antes se ha señalado la importancia del fraccionamiento de los pedidos para la función de almacenamiento, pero su influencia en el transporte no es despreciable, dado que obliga a la empresa a utilizar el transporte por carretera, única opción ante la menor capacidad del transporte marítimo a la hora de consolidar carga en contenedor.

Las tarifas que se cobran por el fraccionamiento de cargas representan un incremento significativo respecto al camión completo, evaluadas en cuanto a repercusión sobre la mercancía.

El fraccionamiento de cargas actual implica un sobre coste significativo para los transportistas, que repercuten al cliente en tarifas de grupaje. Los operadores consiguen beneficios mediante el grupaje cuando trabajan con un número elevado de clientes que les permite obtener economías de escala.

En cuanto a la organización del transporte, la situación es la siguiente: por una parte, los operadores locales son, salvo algunas excepciones, pequeñas empresas de transporte especializadas por rutas; por otra, al venderse Ex-Factory muchos de los transportistas son empresas extranjeras contratadas directamente por el cliente.

En cuanto a los servicios que se prestan a las empresas cerámicas, al ser el transporte puro una actividad cada vez menos rentable, se tiende a ofrecer servicios con mayor valor añadido, como la consolidación de cargas o el servicio de almacenamiento y gestión de stocks en depósitos.

Son pocos los operadores logísticos consolidados que ofrecen sus servicios al sector, y los que trabajan en el mismo lo hacen con pequeñas delegaciones que ofrecen los mismos servicios que las empresas locales. Dada la intensa competencia (que ha reducido al mínimo los beneficios) y la superespecialización por rutas, parece improbable la entrada de grandes operadores en el sector.

Un importante problema es la saturación en fábrica para la carga, especialmente a finales de semana, cuando se crean importantes colas de camiones en las empresas fabricantes.

Algunos indicadores medios de este problema podrían ser:

- Los jueves y viernes la cola de camiones en una empresa oscila entre quince camiones en una empresa organizada y cincuenta en una desorganizada.
- Un camión, para realizar una carga, puede pasar desde una hora y media en circunstancias normales a cinco horas a finales de semana. Si se considera que, como término medio, un camión consolida mercancía de diez fábricas, podemos afirmar que en circunstancias extremas puede invertir hasta cincuenta horas en el proceso de recogida y carga.

Los costes que se generan por estas ineficiencias no son fácilmente cuantificables, aunque son, sin duda, muy elevados. En un sector con una enorme eficiencia en la contención de costes, unido a una feroz

competencia en el plano comercial, la pérdida de competitividad que implica la repercusión al precio de los sobrecostes logísticos de empresas y transportistas es inexplicable.

Con lo que respecta a los precios del transporte, aunque los operadores manifiestan que están realmente bajos por la fuerte competencia, es un hecho que en término medio las tarifas españolas son relativamente bajas, sobre todo al compararlo con las italianas. Por ejemplo, para un trayecto de 600 Km. el precio del transporte de un camión completo de azulejos es aproximadamente 200 euros más caro en Italia que en España. Esta diferencia en las tarifas es atribuible a los distintos niveles de competencia en ambas zonas y a la mayor presión fiscal en Italia (costes de personal, tasas ambientales, etc.).

Transporte marítimo

Sin duda alguna, el transporte marítimo ocupa el segundo lugar, aunque si bien en Europa, en los últimos tiempos, está disminuyendo, como consecuencia de la reducción del tamaño de los pedidos, dada la dificultad de consolidar carga en contenedor y la mayor flexibilidad del camión en términos de frecuencia, velocidad y posibilidades de distribución capilar.

Durante los últimos años y debido a un exceso de carga, se han dado problemas de falta de espacio en las naves (los contenedores se quedan en tierra) y escasez de contenedores. Este problema se ha dado en todos los puertos utilizados por la cerámica. Además, el problema de escasez de contenedores se produce regularmente durante el periodo anterior a las vacaciones de verano, coincidiendo con incremento de ventas.

El 85-90% de los contenedores salen sellados y completos de los almacenes de la empresa cerámica; el restante 10-15% es consolidado por el transitario, agrupando mercancía de 2 ó 3 empresas.

En cuanto a los medios del transitario, normalmente éste dispone de su oficina en propiedad; no posee almacenes propios y para el transporte terrestre contrata con empresas especializadas. Ofrece servicios relacionados con el transporte, aunque en algún caso también realiza almacenamiento, gestión de stocks y consolidación de cargas. En cuanto a su estructura para la distribución en destino, bien pertenece a una multinacional, bien realiza acuerdos concretos con agentes locales.

Por último reseñar que el precio del flete a los Estados Unidos ha aumentado considerablemente en los últimos años. Los transitarios lo atribuyen al hecho de que el volumen de expediciones desde Europa es mucho mayor que el realizado desde América (“equipment imbalance” en una proporción 10 a 1).

Transporte por ferrocarril

Como se ha comentado anteriormente, el uso del transporte por ferrocarril para el producto cerámico no se ha generalizado.

Esto se debe principalmente a tres problemas básicos:

- Falta de estaciones para el transporte de mercancías.
- Falta de vagones.
- Escasa fiabilidad en los plazos de entrega (por huelgas, etc.).

Estos problemas han obligado a los operadores ferroviarios a subcontratar camiones para no perder a sus clientes.

7.1.5 Principales Líneas de Actuación identificadas.

En base a la problemática descrita en el apartado anterior, se citan a continuación algunas de las Líneas de Actuación propuestas en el Sector (Arthur, 2000), y que, tal y como se señaló en la introducción, se ha creído conveniente incluirlas para una mejor contextualización de la problemática sobre la Planificación de Operaciones “Colaborativa” abordada en la presente Tesis (Figura 7-7).

Para ello se distingue entre las que afectarían un único eslabón (o etapa) de la RdS/D, es decir a nivel Individual, sobre todo en lo que se refiere a los Fabricantes, y las que supondrían la intervención de varios eslabones (ó etapas) de la RdS/D, es decir, a nivel de Red (ó RdS/D).

Entre las que afectarían a Nivel Individual cabría destacar las que se refieren a:

1. Recomendaciones en los mercados de destino analizados.
2. Mejorar los medios de preparación de pedidos.
3. Mejorar la planificación de las expediciones con los transportistas y primar la carga planificada.
4. Estandarización del palet utilizado (europalet).

Entre las que afectarían a la Red en su conjunto cabría destacar:

1. Concentrar las cargas en un centro de consolidación.
2. Soporte tecnológico para la gestión logística (e-business).
3. Vender con el transporte incluido (Incoterms C y D).
4. Creación de un núcleo logístico de apoyo al sector.
5. Consideraciones estratégicas ante posibles contingencias en el transporte.
6. Soporte a la formación logística de las empresas.

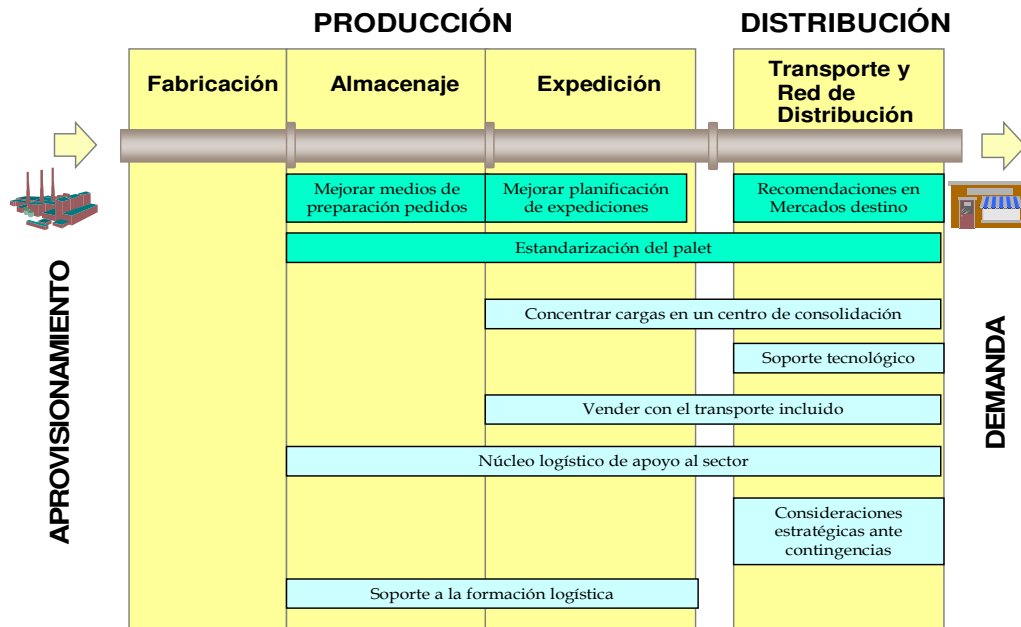


Figura 7-7. Principales Líneas de Actuación identificadas en el Sector: a Nivel Individual y a Nivel de Red (elaboración propia a partir de Arthur, 2000)

7.1.5.1 A Nivel Individual

7.1.5.1.1 Recomendaciones en los Mercados de destino analizados

Se han analizado los principales destinos del Sector español de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos:

En lo que se refiera a Europa se considera:

- Aumentar la frecuencia de salida de los camiones, que actualmente se reduce prácticamente a finales de semana, potenciando por tanto las salidas de lunes a miércoles.
- Mejorar la oferta marítima desde los Puertos de la Comunidad Valenciana a Inglaterra y norte de Europa.

En cuanto a EE.UU.:

- Incrementar la vinculación con distribuidores importantes para obtener ventajas y establecerse en el mercado norteamericano, lo que conllevaría, entre otras, las siguientes

ventajas: fidelización, previsiones de venta conjuntas, realización de catálogo conjunta, etc.

- Maneras de realizar dicha vinculación: Joint Venture, participación cruzadas, acuerdos de distribución, licencia propiamente dicha (distribución en exclusiva).

Por último, con lo que respecta al Mercado Nacional:

- Vender CIF: el pequeño tamaño de los pedidos hace que los distribuidores nacionales consideren muy interesante la compra con el problema del transporte solucionado.
- El centro de consolidación de cargas en origen es considerado interesante, y el que existan transportistas locales que ya ofrezcan esta solución puede haber influido en no considerarla como una iniciativa interesante.
- El europalet también es preferido por 2 de cada 3 clientes.

7.1.5.1.2 Mejorar los medios de Preparación de Pedidos

La mejora de los medios de preparación de pedidos deben integrar los 3 pilares: Operaciones, Organización y Tecnología, con el fin de optimizar:

- Gestión del inventario.
- Gestión del almacenamiento (incluye preparación de pedidos).
- Gestión administrativa.

En particular debería optimizar los principales procesos:

- Entradas desde fábrica .
- Entradas desde terceros.
- Devoluciones.
- Preparación de pedidos.
- Salidas/expediciones.
- Reubicaciones.
- Regularizaciones de existencias.
- Reaprovisionamiento del almacén picking.

El almacén debe tener diferenciado, entre otros, un almacén de picking y una zona de cargas preparadas. Para controlar el buen funcionamiento deben definirse unos indicadores de gestión fáciles y operativos

Y para conseguir las mejoras es necesario la utilización de nuevas tecnologías, en especial:

- Utilización de un software de Gestión de Almacenes (incluye un software de gestión de expediciones).
- Sistemas de almacenamiento adecuados a las condiciones del producto (bloque puro, convencional, compacta, etc.).
- Código de barras (para la identificación de artículos y palets).
- Radiofrecuencia (en principio el uso de radiofrecuencia es rentable a partir de 230.000 m² de picking al año. Para empresas de menor volumen si no aplican radiofrecuencia se reduce la inversión en un 20-30%).

7.1.5.1.3 Mejorar la Planificación de Expediciones y primar la Carga Planificada

La mejora de la Planificación de Expediciones se centra en la optimización de los tres procesos que forman dicha planificación:

- Recepción y confirmación de los pedidos.
- Planificación de las expediciones.
- Carga de los camiones / contenedores.

En estos 3 procesos se producen ineficiencias tales como:

- Errores de captura de datos y de transmisión de información.
- Datos de inventario incorrectos y concentración de cargas a finales de semana.
- Medios inadecuados para el picking y cola única de carga de camiones sin premiar las cargas planificadas .

Para evitar estas ineficiencias e incluso dar un mejor servicio al cliente serían dos las acciones a seguir:

1. Gestionar las expediciones; se puede actuar de dos maneras en función de quien dirija el cambio:
 - Vía Transportista: Primando las cargas planificadas (necesidad de diferentes colas de carga para camiones planificados o no).

- Vía Fabricante: Vendiendo CIF y controlando así el transporte, pudiendo repartir las cargas equitativamente y evitando los cúmulos.

2. Implantar Tecnología

- Sistema de Comunicación y Transmisión de datos entre Fabricante-Transportista-Cliente: Se obtendría una mejora de la recepción de datos de los pedidos, mayor productividad del personal de recepción y expedición, menor tiempo de espera para los transportistas y mayor servicio al cliente al conocer éste el estado de su pedido en todo momento.

Estas acciones supondrían una mayor Gestión de la Red Logística por parte de los Fabricantes.

Aunque esta mejora es una buena solución a Nivel Individual, es difícil de cumplir a nivel global, debido a las evidentes interferencias en la Planificación de las distintas fábricas (Molina, 1999).

Sin embargo, la creación del Centro Logístico, como se comentará posteriormente en las Líneas de Actuación a Nivel de Red, sí que permitiría esta mejora al concentrarse en él las cargas.

7.1.5.1.4 Estandarización del Palet utilizado (Europalet)

La Línea de Actuación para la estandarización del palet consiste en la evolución individual de cada empresa hacia el Europalet y una vez conseguida una masa crítica, la utilización de un “pool” de palets para su reaprovechamiento. Debido al elevado número de pedidos con Picking, en esta evolución también entraría en juego la media paleta (aunque una vez implantado el Europalet).

Las acciones necesarias para llevar a cabo esta estandarización son:

- modificar estanterías y zonas.
- adquirir nuevos palets.
- definir estructura de cajas en los palets.
- modificar catálogo (m²/palet).

Además, para la media paleta será necesario un estudio previo de aquellas referencias en las que sea conveniente su utilización.

El “Pool de Palets” consiste en un ciclo cerrado “proveedores-ceramistas-clientes-empresa de palets” en el que los palets discurren por las diferentes etapas y son reutilizados, consiguiendo de esta manera un coste inferior.

No obstante, existen “barreras” al cambio que se basan en el mayor coste inicial del Europalet. Sin embargo, la gestión del “pool” de palets permitiría conseguir ahorros sustanciales.

7.1.5.2 A Nivel de Red de Suministro/Distribución (RdS/D)

7.1.5.2.1 Concentrar las Cargas en un Centro de Consolidación

El objetivo principal de una plataforma de este tipo es organizar la recogida capilar del sector y optimizar la programación de las expediciones. Se aprovecharían los ahorros debidos a la sinergia de los diferentes actores de la logística del azulejo para poder eliminar los costes de recogida capilar que, en el momento actual, están gestionados de forma no óptima en el sector y que produce ineficiencias tales como las colas de espera de los camiones en las empresas azulejeras.

Para conseguir este objetivo la función de la plataforma es servir de centro de consolidación de cargas que se ocupará de la recepción de los envíos ya preparados por parte de los fabricantes, realizará una clasificación de la mercancía sea por ruta/cliente/transportista según proceda, y procederá a su carga en los camiones.

7.1.5.2.2 Soporte Tecnológico para la Gestión Logística ⁵ (E-Business)

Los objetivos del soporte Tecnológico (Escardino, 2001) serían:

- Ofrecer servicios de transporte, de forma permanente, a Clientes y Fabricantes.
- Reducir los Costes agregados de la Red de Suministro-Distribución (RdS/D):
 - Menor tiempo.
 - Mayor estandarización.
 - Menos errores.
 - Procesos estables y óptimos.
- Incrementar la utilización de Capacidad
 - Centralización de Información de Mercado.
 - Modelos agregados de Planificación.

De esta manera se podrían “soportar” los siguiente Procesos:

⁵ Precisamente es esta Línea de Actuación a Nivel de Red en la que, mayoritariamente, se enmarca el trabajo realizado en la presente Tesis.

- Agregación de Demanda para la mejora de la eficiencia de los Medios de Almacenaje y Transporte.
- Agregación de Oferta para dotar de visibilidad a los Recursos y Medios de Transporte en la RdS/D.
- Optimización (mediante Simulación diaria) y consenso entre los participantes.
- Consideración de las restricciones de Plazo, Tiempo y Penalizaciones.
- En el futuro, también podría soportar transacciones cliente-fabricante vía Internet: recepción del pedido, confirmación de cargas, envío de la factura, etc.

7.1.5.2.3 Vender con el Transporte incluido (Incoterms C y D)

En cuanto al Transporte Terrestre las principales ventajas serían:

- Mejor organización de la recogida, permitiendo una eliminación de tiempos perdidos.
- Control de una etapa más de la cadena del producto hasta el cliente, y por tanto del precio final.
 - Asegura la calidad del servicio.
 - Incremento de la frecuencia de los envíos (“lanzadera” con los principales mercados).
 - Negociación conjunta con los operadores logísticos .
 - Desestacionalización de los envíos.
 - Es una demanda del mercado nacional.
- Facilita la implantación del centro de cargas y de la plataforma electrónica, con los ahorros derivados de la optimización de las rutas.

Y en cuanto a los inconvenientes:

- Si un cliente compra a varios fabricantes, sólo le interesa si todos le venden CIF, pues si tiene que contratar el transporte para alguno de ellos, ya lo hace para todos.
- En países de alto riesgo no es conveniente su aplicación debido a problemas de capilaridad en destino.
- Necesidad de financiar el transporte y pagar los seguros.
- Necesidad de gestionar la contratación del transporte.

En cuanto al Transporte Marítimo las principales ventajas e inconvenientes serían las mismas que el Terrestre simplemente añadiendo dos ventajas adicionales:

- Reducción del coste FOB:
 - Eliminación de los envíos rutados.
 - Incorporación de la reducción de costes derivada de la mejora de infraestructuras en origen.
 - Negociación conjunta con los agentes intervinientes en el FOB (transporte, transitarios, terminal, etc.).
- Posibilidad de mejora contractual en el mercado de fletes.

7.1.5.2.4 Creación de un Núcleo Logístico de apoyo al sector

Se trataría de impulsar la creación de un núcleo de apoyo logístico que satisfaga las necesidades en esta materia del sector cerámico, proporcionando los servicios necesarios para el correcto desarrollo de la función logística en su sentido más amplio.

Este núcleo garantizaría la reducción de los costes logísticos y una mejora en la eficiencia y servicio al cliente.

Debería contar con personal propio experto en logística, apoyándose en estructuras externas para el desarrollo de iniciativas puntuales.

Sus funciones serían las siguientes:

- Apoyo a las empresas para la adopción de soluciones logísticas.
- Negociación con los operadores logísticos.
- Realización de acuerdos con operadores logísticos extranjeros (distribución en destino).
- Representación ante las instituciones en materia logística.
- Servicio de información y documentación en temas de logística.
- Estandarización de los protocolos de comunicación entre fabricantes, operadores logísticos y clientes.
- Promoción del portal logístico del sector .
- Formación en logística.
- Vinculación con la plataforma logística en origen, en el caso de que se constituya.

7.1.5.2.5 Consideraciones Estratégicas ante posibles contingencias en el Transporte

En cuanto a la Materia Prima (arcilla blanca), podrían darse los siguientes problemas:

- Problemas de restricción de aprovisionamiento .
- Posible pérdida de competitividad frente a Italia.

Las consideraciones estratégicas serían:

- Presencia en los países productores.
- Cooperación con Italia (Ascer - Assopiastrelle/ Assocargo).

En cuanto a la Materia Prima (Arcilla Roja), podrían darse el siguiente problema:

- Restricciones municipales de acceso de camiones.

Las consideraciones estratégicas serían:

- Circunvalaciones.
- Mayor estanqueidad en el transporte .

En cuanto al Producto Terminado (Transporte Marítimo) podrían darse los siguientes problemas:

- Pérdida del status interoceánico del Puerto de Valencia, que implicaría reducciones sustanciales de líneas y servicios y un encarecimiento del FOB (por ejemplo: alrededor de 300 euros respecto del Puerto de Barcelona), quedándose la Comunidad Valenciana sin puerto de status interoceánico.

Las consideraciones estratégicas serían:

- Establecimiento de estrategias comerciales de los Puertos de la Comunidad en el marco globalizado del transporte.

En cuanto al Producto Terminado (Transporte Terrestre) podrían darse los siguientes problemas:

- Restricciones a la libre circulación de vehículos por las carreteras (huelgas, bloqueos, normativa de circulación, normativa medioambiental, ecotasa, etc.).
- Aumento precios del gasoil.
- Otros incrementos de costes.

Las consideraciones estratégicas serían:

- Potenciación del short sea shipping.

- Potenciación del ferrocarril (cualquier iniciativa relacionada con el uso del ferrocarril debería ir acompañada de medidas que mejoren la distribución capilar en destino).

7.1.5.2.6 Soporte a la Formación Logística de las Empresas

En los últimos años la función logística se ha consolidado como una variable estratégica esencial en la gestión empresarial.

Dentro de este concepto de logística integral es imprescindible la figura del Responsable de Logística como elemento integrador de las actividades logísticas dispersas por las distintas áreas funcionales de la organización. Con el fin de asimilar el concepto actual de logística integral, es necesario que el Responsable de Logística y el resto de miembros del departamento, tanto a nivel administrativo como operativo, adquieran los conocimientos necesarios para optimizar la función logística.

Del análisis de la situación logística actual en el sector cerámico realizado en la primera parte de este capítulo, se desprende la necesidad de aumentar la cualificación técnica del personal de la empresa implicado en cada una de las actividades logísticas.

Como respuesta a esta necesidad y la importancia de la logística en la gestión empresarial, debería realizarse un plan de soporte a la formación Logística que debería tratar los siguientes contenidos:

- Formación directiva: planificación y gestión logística; el sistema de producción; la gestión de compras; la gestión de inventarios; la planificación y administración del almacén; la planificación y administración del transporte; los Incoterms; la logística en el ámbito internacional; la calidad en la función logística; los costes logísticos.
- Formación administrativa: sistema de comunicación/información; sistemas de codificación y captura de datos; gestión de stocks; el transporte; y la gestión de los costes logísticos.
- Formación personal almacén: sistemas de codificación y de captura de datos a nivel técnico; formación sobre medios de mantenimiento y gestión de almacenes; y sobre técnicas de preparación de pedidos.

A modo de resumen se muestran la Tabla 7-1 y Tabla 7-2.

En la Tabla 7-1 se identifica el tipo de problema: terrestre o marítimo y la Línea de Actuación o Iniciativa propuesta para cada uno de ellos, distinguiendo si dicha Iniciativa está focalizada en la resolución del problema en cuestión, o bien apoya la resolución del problema o por último simplemente atañe de forma indirecta al mismo.

En la Tabla 7-2 se procede de manera similar, con la única salvedad que se identifican los problemas comunes a ambos, es decir, terrestres y marítimos.

Capítulo 7. El Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. Descripción del proceso de Planificación Colaborativa en una Red de Suministro y Distribución concreta.

Problema Iniciativa	TERRESTRE				MARÍTIMO	
	Falta alternativas al transporte terrestre	Elevado tiempo administrativo y de preparación por pedido	Concentración de cargas jueves y viernes	Problemas medio-ambientales	Elevado coste del FOB	Falta de frecuencia en destinos marítimos
Mejorar medios de preparación						
Mejorar planificación de expediciones						
Estandarización del palet						
Vender con transporte incluido						
Mercados de destino						
Centro consolidación tipo A						
Centro consolidación tipo B						
e-business						
Núcleo logístico						
Contingencias						
Formación logística						
Infraestructuras						
Observatorio de fletes y líneas						

focalizado para la resolución del problema
 apoya la resolución del problema
 mejora el problema de forma indirecta

Tabla 7-1. Tipo de Problema (Terrestre ó Marítimo) – Línea de Actuación ó Iniciativa (ASCER, 2008)

Problema Iniciativa	COMUNES					
	Colas camiones sin primar planificación	Reducida información ceramista-transportista	Excesiva diversificación palets y no recuperación	Falta control del transporte	Errores en preparación de pedidos	Elevados plazos de entrega
Mejorar medios de preparación						
Mejorar planificación de expediciones						
Estandarización del palet						
Vender con transporte incluido						
Mercados de destino						
Centro consolidación tipo A						
Centro consolidación tipo B						
e-business						
Núcleo logístico						
Contingencias						
Formación logística						
Infraestructuras						
Observatorio de fletes y líneas						

focalizado para la resolución del problema
 apoya la resolución del problema
 mejora el problema de forma indirecta

Tabla 7-2. Tipo de Problema (Comunes) – Línea de Actuación ó Iniciativa (ASCER, 2008)

7.2 Análisis de una RdS/D concreta.

7.2.1 Introducción

Una vez realizado un análisis general del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos, se procede a analizar detalladamente una Red de Suministro-Distribución (RdS/D) concreta, en particular aquella en la que opera un Grupo Empresarial (a partir de ahora denominado GE), localizado mayoritariamente en el Cluster de Castellón, en la zona norte de la Comunidad Valenciana.

A continuación se describen algunos datos sobre dicho Cluster (Tellols, 2006), lugar donde se ubica la mayor parte de la RdS/D objeto de análisis, sobre todo en lo que respecta a la parte denominada anteriormente Logística de Aprovisionamiento-Producción.

7.2.2 El Cluster azulejero de Castellón.

El Cluster azulejero de Castellón supone más del 93% de la producción nacional y abarca todas las fases necesarias para que la baldosa cerámica llegue a manos del consumidor final. Esto incluye a todos los agentes que trabajan con y para los fabricantes de azulejos (proveedores de fritas, esmaltes y colores; proveedores de maquinaria; proveedores de tercer fuego; atomizadoras; proveedores de piezas especiales; transporte; comercialización, etc.).

Los productos que engloba pueden estar hechos mediante procesos diferentes (monococción, bicocción, etc.), materias distintas (pasta roja, pasta blanca, etc.) o tener propiedades diversas (gres, gres porcelánico pulido, porcelánico esmaltado, etc.).

Este sector está experimentando un gran crecimiento a escala mundial y han aparecido nuevos países productores que muchas veces se encuentran en vías de desarrollo. Cabe destacar China (aunque no hay datos estadísticos fiables, se asume que ya es el primer productor mundial), Brasil, Indonesia, Turquía, Taiwán, México y la India.

Durante los últimos años ha habido un fuerte proceso de innovación tecnológica (de bicocción a monococción) y de producto (gres porcelánico, mayores tamaños, más variedad, etc.).

Los mercados son muy diferentes en cuanto a requerimientos de productos (por ejemplo, en EE.UU. son muy importantes las piezas especiales y se prefieren los rústicos claros, en el norte de Europa se valora la pasta blanca, en Brasil el porcelánico, etc.) y en cuanto a comercialización (gran fragmentación en Italia y España, grandes superficies y cooperativas en Europa Central, floorcoverings en EE.UU., etc.).

Las empresas productoras pertenecientes a este sector tienden a concentrarse geográficamente (como sucede en Castellón, Sassuolo-Imola, Foshan, Santa Catarina, etc.) para compartir algunos servicios (mantenimiento de maquinaria, transporte...) y partes del proceso de fabricación.

La tendencia general (que no única) es la de concentración de las empresas en grandes Grupos.

Los proveedores, tal y como se indicó anteriormente a Nivel de Sector, se pueden dividir en:

- Proveedores de fritas, esmaltes y colores. Es uno de los agentes que más se han expandido, ya que han instalado centros de fabricación en países productores de azulejos. Los esmalteros españoles se han alzado como líderes mundiales y también es muy importante su papel como diseñadores.
- Atomizadoras. Normalmente son compartidas por varias fábricas debido a su elevado coste y la producción de tierra atomizada que son capaces de generar. Cada atomizador se dedica a un solo tipo de tierra (pasta roja o pasta blanca) por el coste que supondría limpiarlo. Actualmente, en España la mayoría son de pasta roja aunque se están construyendo algunos de pasta blanca.
- Piezas especiales y tercer fuego. Los de piezas especiales y tercer fuego en España suelen ser de tamaño reducido, y tienen gran importancia a la hora de dar valor añadido al producto y ofrecer combinaciones.
- Proveedores de maquinaria. La maquinaria es en su mayoría italiana, (Sacmi, Siti, Welco, etc.) las cuales son capaces de instalar fábricas llave en mano. Estos productores exportan su tecnología por todo el mundo. Lo más costoso son las plantas de atomizado, los hornos y las prensas.

La distribución se encuentra rara vez en manos de los propios fabricantes, que suelen confiar esta parte de la cadena de valor a agentes externos y almacenistas, a los que ven como sus clientes.

Los principales países productores cuentan con asociaciones de fabricantes que constituyen agentes de gran importancia dentro del sector. ASCER es la asociación española de fabricantes de cerámica, mientras la italiana se denomina ASSOPIASTRELLE.

También se realizan importantes ferias entre las que destacan la de Cersaie en Bolonia, Cevisama en Valencia y Coverings en Orlando.

Las normas medioambientales en España aún no son tan estrictas como en Italia, pero actualmente ya se están tomando medidas al respecto, sobre todo en lo que se refiere a emisiones, ya que éste es el principal sector consumidor de gas en España.

7.2.3 Algunos datos generales de la RdS/D analizada

El análisis se ha realizado sobre la RdS/D con la que actualmente opera un Grupo Empresarial (GE) en particular, el cual se dedica a la Fabricación y Comercialización de pavimentos y revestimientos cerámicos.

Tal y como se apuntó en el capítulo 1, el tesitando pertenece al Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), el cual tiene una fuerte vinculación tanto a nivel de investigación como de desarrollo y transferencia con un Fabricante de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos y otras Empresas pertenecientes a su Cadena de Suministro. Cabe destacar entre los acuerdos de colaboración conjunta la pertenencia de ambas partes al Proyecto titulado “Metodología Jerárquica en contexto de incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena-Red de Suministro / Distribución. Aplicación al sector cerámico” (DPI2004-06916-C02-01), subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia. En el contexto de este Proyecto fueron extraídos la mayoría de los datos.

Se trata de un Grupo fundado en 1975, ubicado en la Comunidad Valenciana, una de las regiones de mayor desarrollo industrial de España y Europa y formado por un equipo humano de más de 1.100 trabajadores. Dicho Grupo abarca diferentes tipos de Empresas, tanto Proveedores, Fabricantes o Distribuidores/Tiendas.

Su facturación actual supera los 180 millones de euros y el crecimiento acumulado, en los primeros años de este siglo XXI fue del 85%, si bien la Crisis Económica que está afectando de manera tan fuerte a Europa y a España en particular ha relanzado dicho crecimiento, sobre todo a partir del 2008.

Asimismo, dispone de una de las factorías más modernas del sector, situada en el Cluster de Castellón, concretamente en Nules, uno de los núcleos con más tradición azulejera del mundo. Posee más de 250000 m² de instalaciones dotadas de la tecnología más avanzada. Para modernizar la producción, aumentar la competitividad de sus productos y reducir el consumo energético, el Grupo no ha dejado de invertir en los últimos años en una constante labor de modernización de sus estructuras productivas, si bien es verdad que esta tendencia se ha estancado por la citada Crisis Económica.

A lo largo de su historia, el Grupo se ha situado en una posición de liderazgo dentro del Sector, gracias, fundamentalmente, a la rigurosa aplicación de unos principios que han sido la base de toda su actividad.

Estos principios han sido:

- Búsqueda permanente de la calidad total en la fabricación del producto y en cada uno de los servicios ofrecidos (Certificación ISO 9001).
- Inversión permanente en I+D (3% de la facturación anual).

- Mejora continuada de las capacidades del equipo humano a través de planes de formación.
- Especial potenciación y desarrollo del diseño.
- Orientación total de la empresa al cliente.
- Respeto al medio ambiente.

La filosofía del Grupo para el Siglo XXI está basada en la accesibilidad y proximidad a los clientes. La Compañía quiere ser, a corto plazo, la empresa de cerámica y gres que mejor conoce a sus clientes y que más y mejores soluciones les ofrece. El objetivo es conseguir ofrecer algo más que un producto, un servicio.

El Grupo se sitúa actualmente en la cabecera de las empresas de su sector a nivel mundial, con filiales en E.E.U.U., México, Portugal, Rusia y la República Checa, entre otros.

7.2.4 Estructura Logística actual de la RdS/D

Para la descripción de la estructura logística de la RdS/D se han considerado dos bloques, de manera análoga a cómo se hizo anteriormente, uno “aguas arriba” en el que se describen los Proveedores y los Fabricantes y otro “aguas abajo” en el que se describe todo lo referente a la Distribución a los distintos Clientes.

En ambos bloques, se han coloreado de color claro aquellos nodos que pertenecen al GE, y de color oscuro aquellos que no pertenecen. A su vez, algunos de los Nodos, además de pertenecer al GE, también forman parte de Entidades (Mercantiles) concretas.

7.2.4.1 Proveedores - Fabricantes

En lo que se refiere a los **Fabricantes**, en la recogida de datos se identificaron primeramente dos plantas (nodos N7.1 y N7.2), los cuales pertenecían a una misma Entidad Mercantil, la cuál a su vez pertenecía al citado GE. Además se consideró una planta adicional (N8), que aunque no pertenecía a la misma Entidad Mercantil, sí que pertenecía al mismo GE, y con la que además se planificaba “colaborativamente”. Dichas plantas fabrican un amplio catálogo de productos finales. Entre ellos, existen algunos productos finales de alto valor añadido, que únicamente se producen en dichas plantas, otros que pueden ser parcialmente subcontratados y otros que son totalmente subcontratados a proveedores externos (normalmente aquellos con bajo valor añadido).

Las tres plantas siguen una estrategia de fabricación contra stock y pueden clasificarse como talleres de flujo híbridos compuestos de varias etapas desacopladas por “buffers” de escasa capacidad, y

formadas por máquinas de similares características, de modo que cualquier producto final pueda ser procesado en cualquiera de las mismas.

A continuación se detallan cada una de dichas etapas:

La **primera etapa** es la de **prensado-esmaltado**.

En cuanto al prensado su principal característica es el elevado tiempo de preparación (cambio de partida) de las líneas entre los distintos productos finales, debido, por ejemplo, a los cambios en los moldes en las distintas prensas. Para minimizar los tiempos de preparación y por consiguiente sus costes, y también por razones comerciales, los productos finales se agrupan en familias de productos. Una familia de productos se define como un conjunto de productos finales cuyo “uso” (pavimentos o revestimientos), “formato” (30*30, 50*50...) y “pasta” (blanca o roja) son idénticos. Además, y en clara relación con lo anterior, su tiempo de preparación en las líneas es similar.

En cuanto al esmaltado, las líneas no pueden estandarizarse, por lo que según el tipo de esmalte, los productos finales se procesarán en una línea u otra. Por tanto, no todas las líneas de esmaltado pueden procesar cualquier familia de productos, aunque se sabe ciertamente dónde se puede esmaltar cada uno de ellos. En definitiva, dada la gran importancia de los tiempos de preparación (cambio) de las distintas familias de productos en las distintas líneas, se hace necesario fabricar una misma familia durante varios períodos de planificación, con lotes suficientemente grandes. Además, no sólo existen cambios entre familias, sino que también entre productos finales pertenecientes a la misma familia, debido fundamentalmente al esmalte y otras razones técnicas. Asimismo, al igual que con las familias, entre los productos finales también existe un lote mínimo de fabricación. Esto es en parte debido a que existe un cierto porcentaje de defectuosos cada vez que se lanza un lote de producción, y por tanto, sólo se vende una parte de los mismos como productos de primera calidad.

La **segunda etapa** es la de **hornos**. Se trata de la etapa “cuello de botella” y por tanto ha de ser planificada convenientemente, de manera que las decisiones que conciernen a la activación/desactivación de los mismos se hagan de modo que se minimicen los costes que ello supone (sobre todo debido a temas energéticos). Además, como la etapa anterior, también se consideran tiempos de preparación (cambio) entre las distintas familias de productos, aunque si bien estos son sensiblemente inferiores a los anteriores.

La tercera y última etapa es la de clasificación-empaquetado. Esta etapa tiene normalmente un exceso de capacidad y no suele considerarse crítica.

Finalmente, los productos finales son enviados a los Almacenes Centrales.

En lo que se refiere a los **Proveedores**, estos fueron identificándose en función de la importancia/criticidad de los ítems suministrados a los tres fabricantes anteriores N.7.1, N.7.2 y N8, los cuales se pueden considerar como los “promotores” de la RdS/D.

Se consideraron inicialmente seis proveedores (N1...N6), que son los que figuran en la Tabla 7-3. Algunos de ellos pertenecían a Entidades Mercantiles internas al GE (N1, N3 y N4) y otros a externas al GE (N2, N5 y N6).

Proveedores	¿Qué suministran?
N1	Esmaltes y fritas
N2	Piezas especiales
N3	Pasta Blanca
N4	Pasta Roja
N5	Procesos Externos
N6	Productos Finales

*Tabla 7-3. Proveedores considerados inicialmente en la RdS/D.
(elaboración propia)*

Una característica común a todos ellos es que no sólo suministran a los tres fabricantes mencionados, sino que también forman parte de otras RdS/D, por lo que sólo “reservan” una parte de su capacidad para la RdS/D sujeta a estudio. Además reseñar el hecho de que N6, al que se le subcontrata “capacidad externa de fabricación”, suministra directamente a los Almacenes Centrales.

En la Figura 7-8 se puede observar qué fabricantes y proveedores formarían parte inicialmente de la RdS/D considerada.

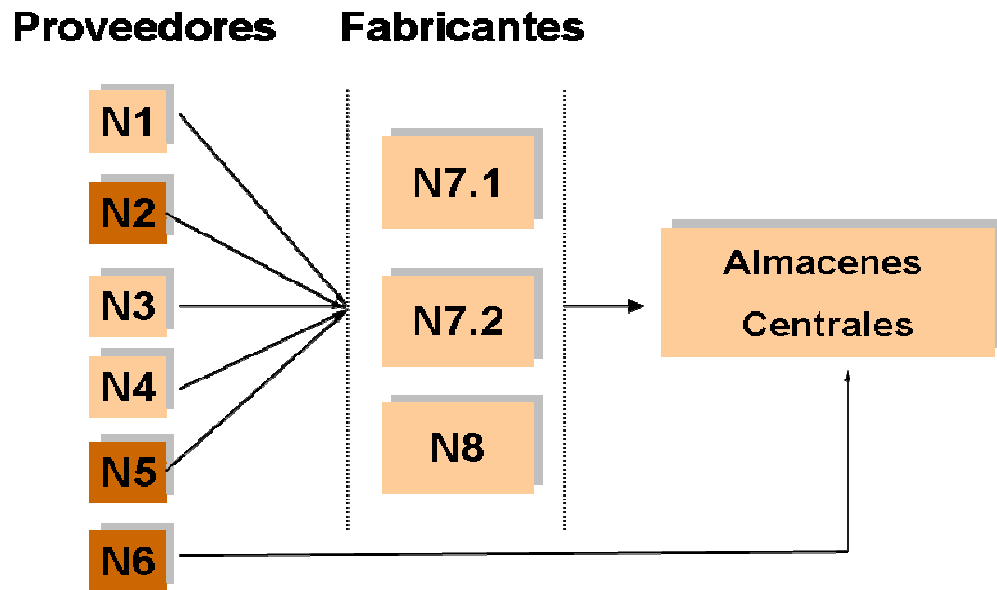


Figura 7-8. Proveedores y Fabricantes considerados inicialmente en la RdS/D
(elaboración propia)

7.2.4.2 Distribución - Clientes

En cuanto a la **Distribución** de los distintos productos finales desde los Almacenes Centrales a los clientes finales, se realiza en varias sub-etapas con diversos tipos de Centros de Distribución.

Tomando como referencia el volumen de Facturación, el flujo desde el los Almacenes Centrales se distribuye principalmente entre los Distribuidores Independientes (50% destinado a exportaciones y alrededor de un 25% a mercado nacional), los Centros Logísticos (10% y corresponde exclusivamente a mercado nacional) y envíos completos por vía directa a Empresas Constructoras (15%). Existe algún flujo desde los Almacenes Centrales hacia los Consumidores Finales, pero es despreciable.

Como se muestra en la Figura 7-9, las “entidades” que pertenecen al GE son: almacenes centrales, centros logísticos y tiendas (propias).

Los Almacenes Centrales almacenan todos los productos finales producidos por los tres fabricantes N7.1, N7.2 y N8 y tienen una capacidad de almacenamiento limitada.

Desde los Almacenes Centrales, se suministra, tal y como se ha indicado anteriormente, tanto a Entidades pertenecientes al GE, como aquella que agrupa a los Centros Logísticos (y también Tiendas propias), como a otras Entidades no pertenecientes al Grupo, bien Distribuidores Independientes o bien Empresas de Construcción.

Finalmente los Centros Logísticos suministran a las Tiendas propias, con la particularidad de que cada Tienda es suministrada por un solo Centro Logístico. Estas Tiendas no almacenan y simplemente atienden la demanda de los consumidores finales y ciertos pedidos pequeños de algunas Empresas de Construcción. También señalar que existen otro tipo de Tiendas independientes, las cuales son aprovisionadas por los Distribuidores Independientes.

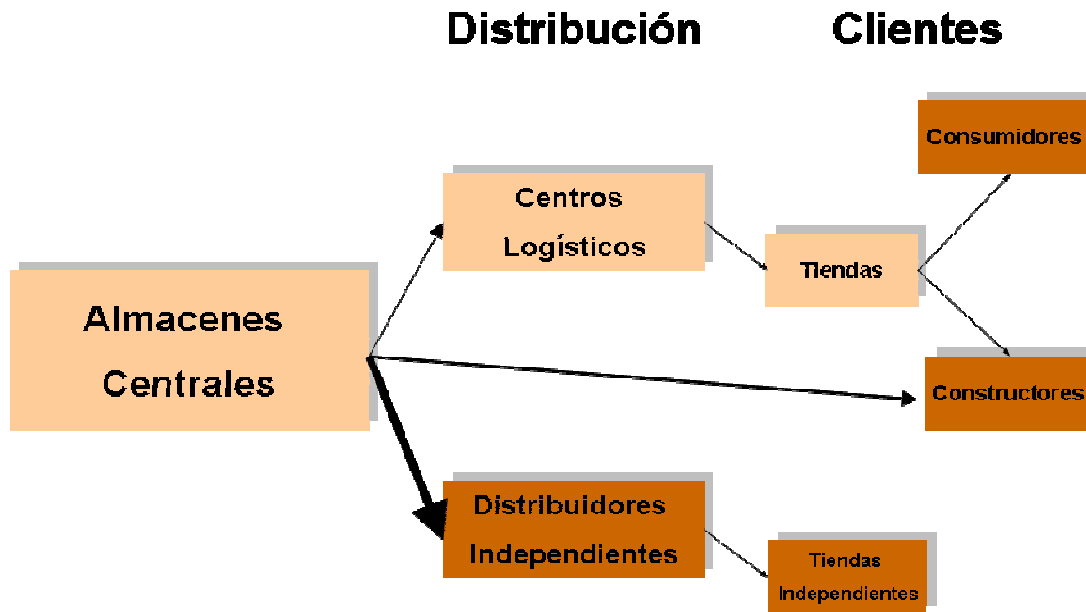


Figura 7-9 Distribuidores y Clientes considerados inicialmente en la RdS/D.
(elaboración propia)

7.3 El Proceso de Planificación de Operaciones “colaborativo” en la RdS/D

En el primer apartado se ha realizado un análisis del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos en general, describiendo qué actores principales forman parte de una RdS/D tipo, haciendo especial énfasis en la descripción del proceso de producción. Además, se han identificado una serie de problemas, que han dado lugar a una serie de iniciativas, clasificadas tanto a nivel Individual (en cada Etapa) como a nivel de Red conjunta.

Dentro de estas últimas, una de ellas pretendía dar un mejor Soporte Tecnológico a la Gestión Logística (E-business). Más específicamente, uno de los tres objetivos que se señalaron para este Soporte Tecnológico era incrementar la utilización de la Capacidad mediante la Centralización de Información de Mercado y el establecimiento de Modelos Agregados de Planificación.

Para ello, directamente relacionado con el objetivo de esta iniciativa y al mismo tiempo de la presente Tesis, se describe a continuación el Proceso de Planificación de Operaciones que se desarrolla actualmente en la RdS/D objeto de análisis, para posteriormente, en el siguiente capítulo, proceder tanto al modelado (conceptual) del propio Proceso como a su modelado Analítico mediante la aplicación del Marco y Metodologías (I y II) descritas en los capítulos 4, 5 y 6 respectivamente.

La Planificación de Operaciones en la RdS/D analizada previamente se trata de un problema que abarca tanto decisiones de tipo táctico como operativo, y que concierne tanto al aprovisionamiento, a la producción como a la distribución.

Para una mejor descripción de cómo se lleva a cabo dicho Proceso, se parte del Grupo Empresarial que, tal y como se apuntó anteriormente, se considera como el “promotor” de la RdS/D. Éste define dos niveles de planificación, táctico y operativo. En el nivel táctico desarrolla un **Plan Agregado** para las distintas familias de productos y en el nivel operativo un **Plan Maestro** para los productos finales.

7.3.1 Plan Agregado

El Proceso de Planificación de Operaciones en la RdS/D comienza a nivel táctico cuando varias de las entidades más influyentes (o con un grado de “colaboración” más estrecho) del Grupo Empresarial (fabricantes, almacenes centrales, centros logísticos y tiendas propias), desarrollan un Plan Agregado para las distintas familias de productos.

Dicho Plan Agregado (PA) abarca de forma centralizada todas las decisiones tácticas acerca de las operaciones realizadas (producción, almacenamiento y transporte) por los distintos actores del GE mencionados. La entrada principal es la previsión de familias de productos de cada una de las Tiendas (adscrita a los Centros Logísticos de los cuales dependen), así como de los Distribuidores Independientes y Empresas de Construcción (adscrita a los Almacenes Centrales). El Plan tiene un horizonte anual subdividido en períodos de planificación mensuales. Además su período de replanificación es también mensual.

Las decisiones tomadas hacen referencia, por una parte, a la planificación de la capacidad, como el número de turnos en cada una de las líneas de prensado/esmaltado, la activación/desactivación de los hornos ó el número de vehículos desde los Almacenes Centrales a los Centros Logísticos, y por otra parte al flujo de materiales, como la cantidad de materia prima a comprar, la cantidad de metros cuadrados de cada familia de productos a subcontratar, la asignación de familias de productos a cada una de las líneas de prensado-esmaltado y a los hornos, la cantidad de metros cuadrados de cada familia de productos a fabricar en líneas y hornos (no se incluye la sección de clasificado-empaquetado), realizar o no cambios de partida en líneas y hornos para las familias de productos, cantidad de familias de productos a almacenar en Almacenes Centrales y Centros Logísticos, cantidad de metros cuadrados de cada familia de productos a

transportar desde las Plantas a los Almacenes Centrales, y desde estos últimos a los Centros Logísticos, cantidad de metros cuadrados de cada familia de productos a vender ó diferir/rechazar tanto en Almacenes Centrales como en Centros Logísticos.

Posteriormente, a partir de dicho PA, se transmiten las necesidades adicionales de capacidad de fabricación (familias de productos a subcontratar) al Proveedor N6, que no pertenece al GE, además de los requerimientos de compras de materia prima (fritas/esmaltes y pasta blanca y roja) a los Proveedores N1, N3 y N4 respectivamente, que sí pertenecen al GE.

Es importante reseñar que previamente a la realización del PA, se han anticipado ciertos aspectos relevantes de todos los Proveedores señalados anteriormente, tal y como las cantidades mínimas y máximas de productos finales (N6) y de materia prima (N1, N3 y N4) que serán capaces de suministrar.

Por lo que respecta a dichos Proveedores, también toman decisiones tácticas referentes a su capacidad anual de producción, a partir de los requerimientos de familias de productos solicitados por los fabricantes y la demanda proveniente de otras RdS/D.

7.3.2 Plan Maestro

Ya a nivel operativo se establece un Plan Maestro (PM), el cual, en este caso, a diferencia del PA anterior, sólo centraliza las decisiones tomadas por los Fabricantes y Almacenes Centrales.

Dicho PM se establece a partir de las previsiones de demanda y pedidos comprometidos de productos finales en los Almacenes Centrales provenientes de los Distribuidores Independientes y Empresas de Construcción, además de los planes de requerimientos/demanda de productos finales provenientes de los Centros Logísticos y Tiendas propias (los cuales toman también centralizan sus decisiones en este nivel operativo). Este PM tiene un Horizonte que abarca aproximadamente 6 semanas, subdividido en períodos semanales así como un período de replanificación también semanal.

En dicho PM se trata de calcular: la cantidad de metros cuadrados de cada producto final a subcontratar, la asignación de productos finales a cada una de las líneas, la cantidad de metros cuadrados de cada producto final a fabricar en las líneas (no se incluye la sección de hornos ni la de clasificado-empaquetado), realizar o no cambios de partida en líneas tanto para familias como para productos, cantidad de productos finales a almacenar en Almacenes Centrales, cantidad de metros cuadrados de cada producto final a transportar desde las Plantas a los Almacenes Centrales o la cantidad de metros cuadrados de cada producto final a vender ó diferir/rechazar en Almacenes Centrales.

Por lo que respecta a los Proveedores, también toman decisiones operativas, estableciendo sus propios PMs, a partir de los planes de requerimientos/demanda de productos finales y materia prima

solicitados por los fabricantes conjuntamente con las limitaciones de capacidad provenientes a nivel táctico de su PA.

7.4 Conclusiones

El principal **objetivo** de este capítulo ha sido la **descripción detallada del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en una Red de Suministro / Distribución (RdS/D) concreta perteneciente al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.**

Para ello, se ha realizado una introducción previa a partir de una perspectiva general de dicho Sector, de su evolución histórica y algunos datos de carácter general.

Además, se ha realizado un análisis más pormenorizado de los distintos actores (proveedores, fabricantes, distribuidores...) que forman parte de su Red Logística y su problemática, justificando de algún modo, el interés de abordar el problema de la Planificación Colaborativa en alguna de sus RdS/D.

Por otra parte, la colaboración en el Proyecto de Investigación “Metodología Jerárquica en contexto de incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena-Red de Suministro / Distribución”, del tesitando y de un Fabricante de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos ha permitido la descripción de cómo se realiza la Planificación de Operaciones en una RdS/D concreta, de la que forma parte relevante dicho Fabricante.

Fruto de múltiples reuniones, se consiguió tener una idea de qué tipo de decisiones táctico/operativas se toman entre los distintos integrantes de la RdS/D. No obstante, **hay que reseñar que la descripción de dichas decisiones efectuada en el presente capítulo no es, en algunos casos, la misma que cómo se estaba realizando en la realidad.**

La **razón fundamental** estriba en que la Metodología propuesta en la Tesis, y concretamente la segunda parte, Metodología (II), tiene como objetivo el **Modelado determinista basado en Programación Matemática del Proceso de Planificación Colaborativa.** Dicho modelado exige en muchas ocasiones que las decisiones se tomen de forma diferente, para poder formular y posteriormente resolver/interpretar los Modelos matemáticos individuales (de los diferentes decisores) y evaluar el Proceso en general, en el que existe una interconexión entre los anteriores Modelos, propia de escenarios colaborativos.

Lo anterior también se justifica porque la Toma de Decisiones en el contexto de Planificación de Operaciones se realizaba mayoritariamente mediante Hojas de Cálculo, y por tanto la forma en la que se tomaban las decisiones era, en algunos casos, diferente.

No obstante, la consideración de esta situación TO-BE (frente a cómo se estaba haciendo o situación AS-IS) mejoró notablemente el proceso de Toma de Decisiones.

Algunos de los cambios, por citar algunos, se referían a la forma de tomar las decisiones en el Plan Agregado, ya que se tomaban con un horizonte y períodos de planificación anual. Se decidió que era mejor subdividirlo en períodos de planificación mensuales, mucho más próximo a la realidad y también a la hora de conectarlo con el Plan Maestro, facilitando la integración temporal.

Otros hicieron referencia a la inclusión explícita en el Plan Agregado de decisiones acerca de la capacidad, como la inclusión de turnos, activación/desactivación de hornos..., de manera que se pudiera ajustar de forma mucho más eficiente la capacidad a nivel operativo.

U otros cambios, que consideraban explícitamente (anticipados por los Fabricantes) lotes mínimos de compras o subcontratación, o capacidades máximas de proveedores y subcontratistas, de forma que se “introducía” la integración espacial.

Por tanto, de aquí en adelante, y más concretamente en el capítulo 8, se considerará el Proceso de Planificación de Operaciones que se acaba de describir, por una parte porque realmente “mejora” la Toma de Decisiones en contextos colaborativos en la RdS/D descrita, y por otra parte hace factible el modelado matemático y posterior resolución.

Hay que reseñar que en este capítulo sólo se han descrito el tipo de decisiones táctico-operativas que se toman en el Proceso de Planificación de Operaciones sin hacer mención a los productos, líneas de fabricación, etc., que se han considerado exactamente. Esto se realizará en el comienzo del capítulo siguiente, para conectarlo directamente con la Visión Física de la RdS/D, y posteriormente con la Visión Organizacional y Decisional (todas ellas orquestadas por la Visión Informacional que da soporte a todas ellas).

En cuanto a los **datos** específicos, entrada a los Modelos basados en PLEM de ayuda a la Toma de Decisiones, se encuentran ubicados en los **Anexos**, en los que se han recogido de forma metodológica.

En el siguiente capítulo de la Tesis (**capítulo 8**) se realiza por una parte la aplicación de la primera parte de la Metodología (**Metodología I**) para el **modelado (conceptual) del Proceso de Planificación Colaborativa en la RdS/D** anterior y por otra parte la aplicación de la segunda parte (**Metodología II**) para el **Modelado determinista basado en Programación Matemática (PLEM) y la Resolución/Evaluación integrada de dicho Proceso**, lo cual permitirá analizar cuantitativamente cuál es el grado de Planificación Colaborativa actual (con los cambios comentados) y en su caso, analizar diferentes escenarios futuros de colaboración.

7.5 Bibliografía

Alemany, M.M. (2003). “Metodología y Modelos para el Diseño y Operación de los Sistemas de Planificación Jerárquica de la Producción (PJP). Aplicación a una Empresa del Sector Cerámico”, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Andres, C. (2001). “Programación de la Producción en Talleres de Flujo Híbridos con Tiempos de Cambio de Partida dependientes de la secuencia. Modelos, Métodos y Algoritmos de Resolución. Aplicación a Empresas del Sector Cerámico”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Arthur Andersen Consulting. (2000). “Alternativas para la mejora de la Competitividad del Sector Cerámico” Informe.

ASCER (2007). “Proceso de fabricación de baldosas cerámicas”, Castellón, ASCER.

ASCER (2008). “Evolución de las exportaciones del sector cerámico español”, Castellón, ASCER.

De Miguel, E. (1996). “Estructura de las PYMES en la Comunidad Valenciana”. Ed. UPV.

Dalmau, J.I.; De Miguel, E.; Miquel, S. (1993). “Análisis estratégico de los sectores industriales y del turismo en la Comunidad Valenciana”. Ed. UPV.

Escardino, A. (2001). “Technological innovation in the Castellon ceramic industry”. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 40 (1), pp. 43-51.

Gallego J.R.; Bono, E.; Tomás, J.A. (1997). “Cambio tecnológico y transformación de sistemas industriales localizados: el caso de la industria española de pavimentos y revestimientos cerámicos”, Departament d’Economia Aplicada, Vol 502.

IMPIVA (2004). “Informe económico y financiero de la competitividad de la C. Valenciana”. Ardán, 35., Valencia, IMPIVA.

Instituto Valenciano de Estadística. (2009). “Comercio Exterior e Intracomunitario de la Comunidad Valenciana”.

Gómez P. (2010). “Programación de la Producción en un Taller de Flujo Híbrido sujeto a incertidumbre: Arquitectura y Algoritmos. Aplicación a la Industria Cerámica”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

Molina, J. (1999). “Los Sistemas Productivos descentralizados: factor territorial y estrategias empresariales”. Valencia, Fundación Bancaza, Comité Económico y Social de la Comunidad Valenciana, Serie Economía y Empresa, Vol. 5.

Proyecto RdS-2V.RDSINC. (2004). “De la Planificación a la Ejecución en la Cadena (Red) de Suministro. Dos visiones diferentes y sus herramientas”, Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción, Universidad Politécnica de Valencia.

Tellols, D. (2006). “Estudio de Viabilidad de una Planta Industrial de baldosas cerámicas”. Proyecto Final de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia.

8 . Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

8.1 Aplicación de la Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones de la RdS/D.....	9
8.1.1 Introducción. Simplificaciones sobre la RdS/D analizada.....	9
8.1.2 Visión Física.....	13
8.1.2.1 Definición de los Recursos.....	13
8.1.2.2 Definición de los Ítems.....	17
8.1.2.3 Definición de la Relación Recursos-Ítems.....	19
8.1.3 Visión Organizacional.....	21
8.1.3.1 Definición de los Centros Organizacionales.....	21
8.1.4 Sub-Visión Macro-Decisional.....	23
8.1.4.1 Definición de los Centros de Decisión.....	23
8.1.4.2 Caracterización de las Relaciones de Interdependencia entre Centros de Decisión	29
8.1.4.3 Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso.....	34
8.1.5 Visión Informacional.....	39
8.2 Aplicación de la Metodología (II) - 1er Bloque para el Modelado determinista basado en Programación Matemática (PLEM) de algunos de las Actividades Decisionales / Centros de Decisión implicados en el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D. 39	
8.2.1 Introducción.....	39
8.2.2 Caracterización cualitativa de los CDs implicados.....	41
8.2.3 Formulación de los Modelos PLEM de cada uno de los CDs implicados.....	49
8.3 Aplicación de la Metodología (II) – 2º Bloque para la Resolución y Evaluación integrada de los Modelos deterministas basados en Programación Matemática del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D.....	49
8.3.1 Resolución de los Modelos PLEM de los CDs asociados a las Actividades Decisionales seleccionadas según secuencia del Proceso.....	50
8.3.1.1 Resolución NDT-CD4.....	52
8.3.1.1.1 Descripción de la Entrada de Datos.....	52
8.3.1.1.1.1 Parámetros Locales.....	52
8.3.1.1.1.2 Parámetros por Interdependencia.....	55
8.3.1.1.2 Evaluación de Resultados.....	56
8.3.1.1.2.1 Variables de Decisión.....	56
8.3.1.1.2.2 Criterio.....	57
8.3.1.1.3 Información de Salida: Variables e Información Global.....	60
8.3.1.2 Resolución NDO-CD6.....	62

8.3.1.2.1	Descripción de la Entrada de Datos	62
8.3.1.2.1.1	Parámetros Locales	62
8.3.1.2.1.2	Parámetros por Interdependencia	64
8.3.1.2.2	Evaluación de Resultados	65
8.3.1.2.2.1	Variables de Decisión	65
8.3.1.2.2.2	Criterio	65
8.3.1.2.3	Información de Salida: Variables e Información Global	67
8.3.1.3	Resolución NDO-CD4	68
8.3.1.3.1	Descripción de la Entrada de Datos	68
8.3.1.3.1.1	Parámetros Locales	68
8.3.1.3.1.2	Parámetros por Interdependencia	70
8.3.1.3.2	Evaluación de Resultados	72
8.3.1.3.2.1	Variables de Decisión	72
8.3.1.3.2.2	Criterio	73
8.3.1.3.3	Información de Salida: Variables e Información Global	75
8.3.2	Evaluación de Resultados “integrada” (AS-IS) del Sub-Proceso formado por NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4	76
8.4	Conclusiones	78
8.5	Bibliografía	81

Índice de Figuras

Figura 8-1. Ámbito Final de Aplicación de la RdS/D: Proveedores y Fabricantes (elaboración propia).....	9
Figura 8-2. Ámbito Final de Aplicación de la RdS/D: Fabricantes y Distribuidores/Clientes (elaboración propia).....	12
Figura 8-3. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación gráfica (elaboración propia).....	14
Figura 8-4. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación gráfica (elaboración propia).....	18
Figura 8-5. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Táctico). Representación gráfica (elaboración propia).....	22
Figura 8-6. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Operativo). Representación gráfica (elaboración propia).....	22
Figura 8-7. Relación entre COs y CDs en cada uno de los Niveles Organizacionales/Decisionales Táctico y Operativo (elaboración propia).....	24
Figura 8-8. Visión Macro-Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Táctico). Representación gráfica (elaboración propia).....	25
Figura 8-9. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Operativo). Representación gráfica (elaboración propia).....	27
Figura 8-10. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD4). Representación gráfica (elaboración propia).....	31
Figura 8-11. Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso y su secuencia de ejecución (elaboración propia).....	35
Figura 8-12. Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso en To (elaboración propia).....	36
Figura 8-13. Actividades Decisionales del Proceso seleccionadas para su Modelado Analítico (elaboración propia).....	41
Figura 8-14. Caracterización cualitativa del NDT-CD4: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia).....	44
Figura 8-15. Caracterización cualitativa del NDO-CD6: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia).....	45
Figura 8-16. Caracterización cualitativa del NDO-CD4: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia).....	46
Figura 8-17. Información de Entrada por Interdependencias (a nivel Macro) debida a Instrucciones (elaboración propia).....	47
Figura 8-18. Caracterización cualitativa de los CDs: Información de Entrada por Interdependencias relativa a Instrucciones (elaboración propia).....	48
Figura 8-19. Actividades Decisionales del Sub-Proceso seleccionado (1...3) y orden de ejecución (elaboración propia).....	50
Figura 8-20. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDT-CD4 (elaboración propia)....	53

Figura 8-21. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia).....	55
Figura 8-22. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia).....	61
Figura 8-23. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDO-CD6 (elaboración propia)...	63
Figura 8-24. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia).....	64
Figura 8-25. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia).....	68
Figura 8-26. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDO-CD4 (elaboración propia).....	69
Figura 8-27. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia).....	71
Figura 8-28. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia).....	75

Índice de Tablas

Tabla 8-1. Familias y Productos Finales (elaboración propia).....	10
Tabla 8-2. Fabricantes - Líneas de Fabricación – Familias (elaboración propia)	10
Tabla 8-3. Fabricantes - Hornos – Familias (elaboración propia).....	11
Tabla 8-4. Relación Fabricantes – Almacenes Centrales (elaboración propia).....	11
Tabla 8-5. Composición (Pasta – Esmalte) de cada una de las familias (elaboración propia).....	12
Tabla 8-6. Relación entre Almacenes Centrales y Centros Logísticos (elaboración propia).....	13
Tabla 8-7. Relación entre Centros Logísticos y Tiendas (elaboración propia)	13
Tabla 8-8. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (I) (elaboración propia)	16
Tabla 8-9. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (II) (elaboración propia)	16
Tabla 8-10. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (III) (elaboración propia)....	17
Tabla 8-11. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (I) (elaboración propia)	18
Tabla 8-12. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (II) (elaboración propia).....	19
Tabla 8-13. Visión Física (Recursos&Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (I) (elaboración propia).....	20
Tabla 8-14. Visión Física (Recursos&Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (II) (elaboración propia).....	21
Tabla 8-15. Visión Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Táctico). Representación tabular (elaboración propia).....	26
Tabla 8-16. Visión Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Operativo). Representación tabular (elaboración propia).....	29
Tabla 8-17. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD1). Representación tabular (elaboración propia)	30
Tabla 8-18. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD2). Representación tabular (elaboración propia).....	30
Tabla 8-19. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD3). Representación tabular (elaboración propia)	31
Tabla 8-20. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD4). Representación tabular (elaboración propia)	31
Tabla 8-21. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD5). Representación tabular (elaboración propia)	32
Tabla 8-22. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD6). Representación tabular (elaboración propia)	32
Tabla 8-23. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD1). Representación tabular (elaboración propia)	32
Tabla 8-24. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD2). Representación tabular (elaboración propia)	33

Tabla 8-25. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD3). Representación tabular (elaboración propia)	33
Tabla 8-26. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD4). Representación tabular (elaboración propia)	33
Tabla 8-27. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD5). Representación tabular (elaboración propia)	34
Tabla 8-28. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD6). Representación tabular (elaboración propia)	34
Tabla 8-29. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD7). Representación tabular (elaboración propia)	34
Tabla 8-30. Productos Finales considerados para la resolución de NDO-CD6 y NDO-CD4. (elaboración propia).....	51
Tabla 8-31. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia).....	56
Tabla 8-32. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Coste Local (elaboración propia) ..	57
Tabla 8-33. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Coste por Interdependencias con CD ^B (elaboración propia)	58
Tabla 8-34. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Criterio (elaboración propia).....	59
Tabla 8-35. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Esfuerzo computacional (elaboración propia)60	
Tabla 8-36. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia)	62
Tabla 8-37. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia)...	65
Tabla 8-38. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Coste Local (elaboración propia) ..	66
Tabla 8-39. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Coste por Interdependencias (elaboración propia).....	66
Tabla 8-40. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Criterio (elaboración propia)	67
Tabla 8-41 Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Esfuerzo computacional (elaboración propia)67	
Tabla 8-42. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia).....	68
Tabla 8-43. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia).....	72
Tabla 8-44. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Valor del Coste Local (elaboración propia). 73	
Tabla 8-45. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4 ^o : Valor del Coste por Interdependencias (elaboración propia).....	74
Tabla 8-46. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Valor del Criterio (elaboración propia)	74
Tabla 8-47. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Esfuerzo computacional (elaboración propia)	75
Tabla 8-48. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia).....	76

8.1 Aplicación de la Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones de la RdS/D.

8.1.1 Introducción. Simplificaciones sobre la RdS/D analizada.

Ese apartado tiene como objetivo la aplicación de la primera parte de la Metodología, denominada Metodología (I), descrita en el capítulo 5, la cual indica los pasos para el Modelado (conceptual) del Proceso de Planificación de Operaciones en la RdS/D analizada en el capítulo anterior.

No obstante, debido a la gran magnitud de la RdS/D analizada, se han realizado una serie de simplificaciones que tienen como objetivo facilitar la aplicación de la Metodología (I), y en mayor medida la aplicación de la Metodología (II), sobre todo en lo que respecta a la resolución/validación del Modelado mediante Programación Matemática (PLEM) del Proceso de Planificación Colaborativa de dicha RdS/D.

Dichas simplificaciones hacen principalmente referencia a la exclusión de algunos Proveedores incluidos inicialmente, al número de Líneas de Producción y Hornos que poseen cada uno de los Fabricantes y al número de familias de productos consideradas.

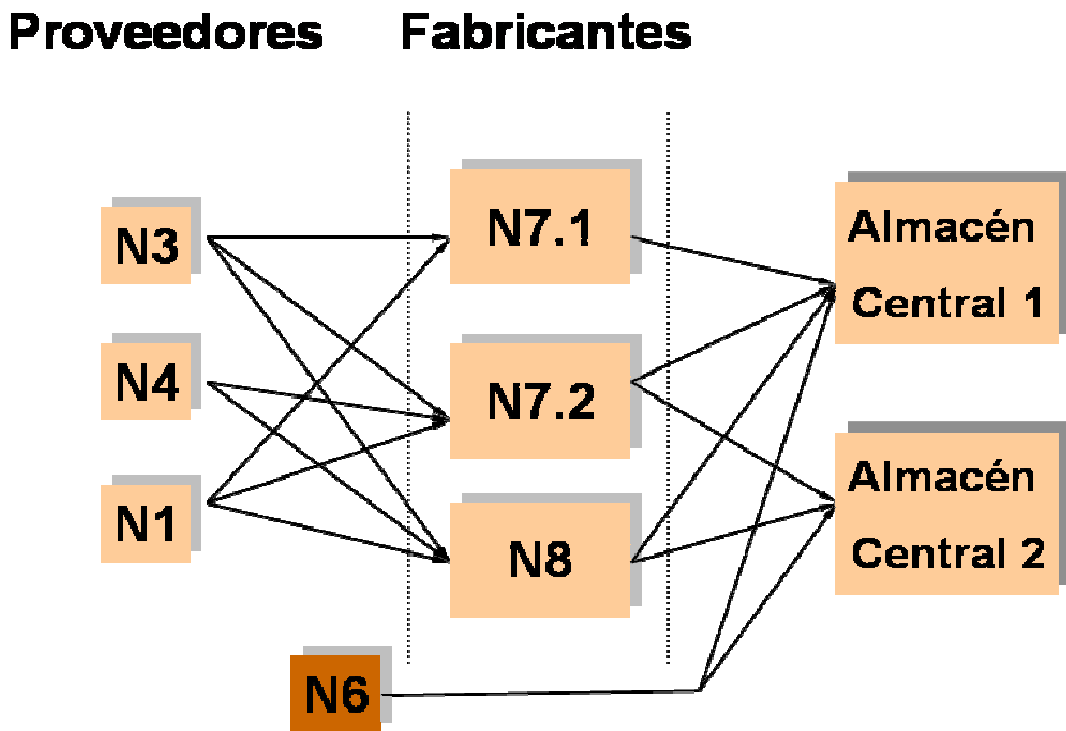


Figura 8-1. *Ámbito Final de Aplicación de la RdS/D: Proveedores y Fabricantes*
(elaboración propia)

En cuanto a la parte de la RdS/D “aguas arriba” respecto a los Fabricantes (Figura 8-1):

- Se han considerado 3 fabricantes:
 - N7.1: fabrica las familias de productos 1 y 2.
 - N7.2: fabrica las familias de productos 1, 2 y 3.
 - N8: fabrica las familias de productos 1,2 y 3.
- En la Tabla 8-1 se ha considerado además la inclusión de la familia 4, la cuál no se fabricará en ninguno de los anteriores fabricantes (N7.1, N7.2 y N8) y se subcontratará totalmente al Proveedor N6, al cuál también, en su caso, se le podrá subcontratar la familia 3. Se incluyen además los productos finales que integran cada una de las 4 familias.

Familia	Formato	Productos Finales
Familia 1	23.5 x 33	96
Familia 2	23.5 x 33 Tesela	34
Familia 3	33 x 44,5	33
Familia 4	25 x 40	51

Tabla 8-1. Familias y Productos Finales (elaboración propia)

- Cada uno de los 3 fabricantes y el “Proveedor” N6 poseen varias líneas de fabricación y uno o varios hornos. Además cada una de dichas líneas y hornos tienen asignados la fabricación de ciertas familias (Tablas 8-2 y 8-3).

Fabricante	Línea de Fabricación	Familias
N7.1	Líneas de Fabricación 1	Familias 1 y 2
	Líneas de Fabricación 2	Familias 1 y 2
N7.2	Líneas de Fabricación 3	Familias 2 y 3
	Líneas de Fabricación 4	Familias 1,2 y 3
N8	Líneas de Fabricación 5	Familias 1 y 2
	Líneas de Fabricación 6	Familias 2 y 3
	Líneas de Fabricación 7	Familias 1, 2 y 3
N6	Línea de Fabricación 8	Familias 3 y 4
	Línea de Fabricación 9	Familias 3 y 4

Tabla 8-2. Fabricantes - Líneas de Fabricación – Familias (elaboración propia)

Fabricante	Hornos	Familias
N7.1	Horno 1	Familias 1 y 2
N7.2	Horno 2	Familias 1,2 y 3
N8	Horno 3	Familias 1 y 2
	Horno 4	Familias 2 y 3
N6	Horno 5	Familias 3 y 4

Tabla 8-3. Fabricantes - Hornos – Familias (elaboración propia)

- Por otra parte cada uno de dichos Fabricantes “almacena” las Familias en los dos Almacenes Centrales, del siguiente modo (Tabla 8-4).

Fabricante	Almacenes Centrales
N7.1	Almacén 1
N7.2	Almacenes 1 y 2
N8	Almacenes 1 y 2
N6	Almacenes 1 y 2

Tabla 8-4. Relación Fabricantes – Almacenes Centrales (elaboración propia)

- “Aguas arriba” se han considerado 4 Proveedores:
 - El N3: Proveedor que suministrará dos tipos de pasta blanca (1 y 2) a cualquiera de los fabricantes: N7.1, N7.2 y N8.
 - El N4: Proveedor que suministrará un tipo de pasta roja. Sólo a N7.2 y N8.
 - El N1: Proveedor que suministrará tres tipos de esmaltes (1,2 y 3) a cualquiera de los fabricantes: N7.1, N7.2 y N8.
 - El N6: Proveedor de capacidad complementaria de Fabricación que suministrará la Familias 3 y 4 a cualquiera de los dos almacenes centrales.
- En la Tabla 8-5 siguiente se muestra cuál es la composición de cada una de las Familias que se fabrican actualmente en los fabricantes N7.1, N7.2 y N8.

Familia	Pasta	Esmalte
Familia 1	Pasta Blanca 1	Esmalte 1
Familia 2	Pasta Blanca 2	Esmalte 2
Familia 3	Pasta Roja	Esmalte 3

Tabla 8-5. Composición (Pasta – Esmalte) de cada una de las familias (elaboración propia)

En lo que respecta a la parte de la RdS/D “aguas abajo” (Figura 8-2):

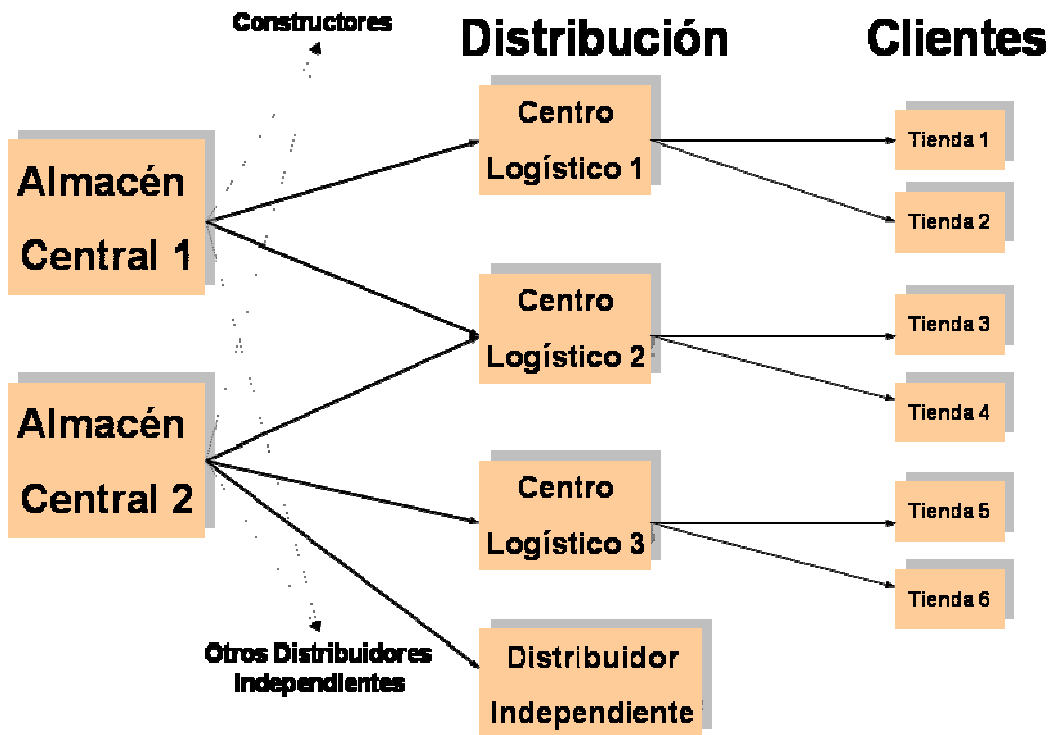


Figura 8-2. Ámbito Final de Aplicación de la RdS/D: Fabricantes y Distribuidores/Clientes (elaboración propia)

- Se consideran 3 tipos de clientes:
 - Distribuidores Independientes: se considerará explícitamente sólo uno de ellos, con el cual existe (aunque poco), algún tipo de “colaboración”. El resto de la demanda proveniente de dichos Distribuidores se entenderá que es una Demanda Independiente adscrita/asignada a los Almacenes Centrales.
 - Este Distribuidor Independiente es suministrado únicamente desde el Almacén Central 2 y se suministra desde el mismo a 2 Tiendas Independientes.

- Empresas Constructoras: al igual que la mayoría de los Distribuidores Independientes, se considerará como una Demanda Independiente adscrita/asignada a los Almacenes Centrales.
- Centros Logísticos: este tipo de comercialización es el más integrado “aguas abajo”, fundamentalmente porque los Centros Logísticos / Tiendas pertenecen a una Entidad que pertenece al mismo Grupo (Empresarial) que las Entidades formadas por una parte por los fabricantes N7.1 y N7.8 y por otra por el fabricante N8.
 - Se considerarán tres Centros Logísticos que a su vez suministrarán a una serie de Tiendas (Tablas 8-6 y 8-7).

Almacén Central	Centros Logísticos
Almacén 1	Centros Logísticos 1 y 2
Almacén 2	Centros Logísticos 2 y 3

Tabla 8-6. Relación entre Almacenes Centrales y Centros Logísticos (elaboración propia)

Centros Logísticos	Tiendas
Centro Logístico 1	Tiendas 1 y 2
Centro Logístico 2	Tiendas 3 y 4
Centro Logístico 3	Tiendas 5 y 6

Tabla 8-7. Relación entre Centros Logísticos y Tiendas (elaboración propia)

8.1.2 Visión Física

La Metodología (I) contempla los siguientes pasos:

- Definición de los Recursos
- Definición de los Ítems
- Definición de la relación Ítems-Recursos

8.1.2.1 Definición de los Recursos

La Metodología (I) establece los siguientes sub-pasos:

1. Identificar los Nodos y ubicarlos en cada una de la Etapas / Sub-Etapas: Distribución (DIS), Fabricación / Montaje (FAB/MON), Aprovisionamiento (APR) y Proveedores (PRO)

2. Identificar las Actividades de Transformación (AT) que se realizan en cada Nodo, es decir, Producción-Operaciones y/o Almacenamiento. Si se repite una de ellas, identificar a qué Etapa Intra-Nodo pertenece.
3. Identificar los Puntos de Venta, adscritos a los propios Nodos o no. Estos se consideran como generadores de demanda y en los cuales no es posible almacenar.
4. Identificar los Arcos que unirán los diferentes Nodos (en cada uno de ellos se realizará la AT de Transporte).
5. Identificar los Arcos que unirán (en su caso) los Nodos con los Puntos de Venta.
6. Identificar las Alternativas en cada una de las Actividades de Transformación, es decir, Producción-Operaciones y/o Almacenamiento, definidas en cada Nodo.
7. Identificar las Alternativas en cada Arco, o lo que es lo mismo, en cada una de las Actividades de Transformación de Transporte, ya sean aquellos que unen Nodos entre sí o bien aquellos que unen Nodos con Puntos de Venta.

A continuación se muestra cuál sería la **representación gráfica** (Figura 8-3) para la “Definición de los Recursos”, según los formalismos gráficos expresados en el capítulo 5. En dicha figura están representados cada uno de los 7 pasos anteriores.

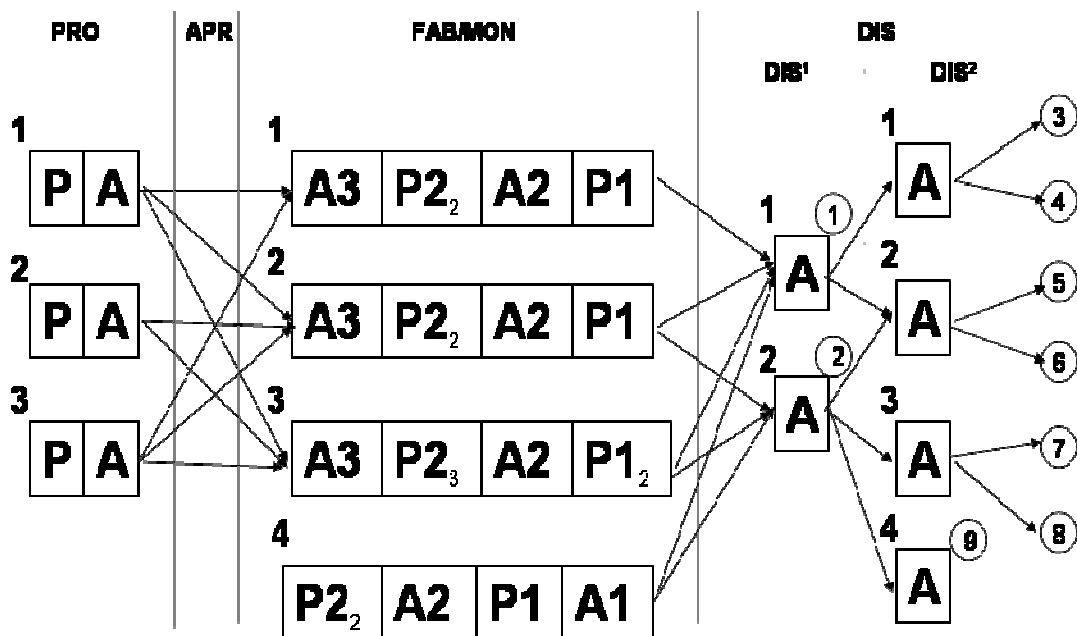


Figura 8-3. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación gráfica (elaboración propia)

Cómo puede verse en la Figura 8-3, se ha representado a la izquierda la etapa de Proveedores (PRO), en la que existen tres nodos (representados anteriormente en la RdS/D sujeta a estudio como N3, N4 y N1 respectivamente). En dichos nodos se han considerado las distintas AT que tienen lugar en los mismos. En todos ellos existe producción (P) y después almacenamiento (A).

En la etapa de Aprovisionamiento (APR) no se ha considerado ningún nodo.

Posteriormente, la etapa de Fabricación-Montaje (FAB/MON) en la que existen cuatro nodos (representados anteriormente en la RdS/D como N7.1, N7.2, N8 y N6 respectivamente). En los tres primeros Nodos (N7.1, N7.2 y N8), siguiendo la configuración productiva interna anteriormente identificada en detalle para la RdS/D, se han identificado un almacenamiento previo para las materias primas (A3), una producción en la sección de prensas/esmaltado (P2), un almacenamiento en “buffer” intermedio (A2) y finalmente una producción en la sección de hornos (P1). No se ha considerado relevante desde el punto de vista decisional (ni táctico ni operativo) incluir la 3ª sección (clasificación/embalado). En cuanto al cuarto nodo (N6), sigue la misma estructura en cuanto a secciones productivas respecto a los anteriores, pero en este caso no se ha considerado relevante incluir el almacenamiento de materia prima, y sí se ha incluido el almacenamiento en el mismo nodo de los productos finales.

A la derecha se ha representado en último lugar la etapa de Distribución (DIS), en la que se consideran dos sub-etapas (DIS¹ y DIS²). En DIS¹ existen dos nodos correspondientes a los dos almacenes centrales y en DIS² existen 4 nodos, los tres primeros correspondientes a los tres Centros Logísticos considerados y el cuarto al Distribuidor Independiente. Todos ellos realizan la AT de almacenamiento (A), en este caso de los productos finales.

Por otra parte, también se han representado los distintos puntos de venta. En este caso se han considerado nueve, los dos primeros adscritos a cada uno de los dos almacenes centrales, los siete siguientes representando las distintas tiendas y el último adscrito al distribuidor independiente.

Finalmente, se han representado, siguiendo igualmente la descripción previamente realizada para la RdS/D, los arcos, mediante flechas que unen diferentes nodos de origen y de destino o entre nodos de origen y puntos de venta. En dichos arcos se realiza la AT de transporte, la cuál no se representa mediante ninguna letra, a diferencia de las anteriores.

En cuanto a la **representación tabular**, y según los formalismos expresados en el capítulo 5, se utilizan tres tablas diferentes.

La primera (Tabla 8-8) se utiliza para la definición de los Nodos (clasificados según Etapas/Sub-Etapas), de las Actividades de Transformación (ATs) realizadas, en su caso, en cada una de las Etapas Intra-Nodo, y de las número de Alternativas en cada una de dichas ATs.

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (I)			
Etapas	Nodos	AT / Etapa-In	Alternativas
PRO	1	P	1
		A	1
	2	P	1
		A	1
	3	P	1
		A	1
FAB	1	A3	1
		P2	2
		A2	1
		P1	1
	2	A3	1
		P2	2
		A2	1
		P1	1
	3	A3	1
		P2	3
		A2	1
		P1	2
	4	P2	2
		A2	1
		P1	1
		A1	1
DIS¹	1	A	1
	2	A	1
DIS²	1	A	1
	2	A	1
	3	A	1
	4	A	1

Tabla 8-8. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (I) (elaboración propia)

La segunda (Tabla 8-9) se utiliza para la definición de los Arcos (AT de Transporte) entre los Nodos anteriores y el número de Alternativas en cada uno de ellos.

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (II)														
Etapas	Etapas / SubEtapas NODOS / NODOS	PRO			FAB/ MON				DIS¹		DIS²			
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4
PRO	1				1	1	1							
	2					1	1							
	3				1	1	1							
FAB	1								1					
	2								1	1				
	3								1	1				
	4								1	1				
DIS¹	1										1	1		
	2											1	1	1
DIS²	1													
	2													
	3													

Tabla 8-9. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (II) (elaboración propia)

La tercera (Tabla 8-10), se utiliza para la definición de los Puntos de Venta y los (posibles) Arcos que unan los Nodos anteriores con dichos Puntos de Venta. Además, como en la Tabla anterior, se indicará el número de Alternativas en cada una de ellos.

VISIÓN FÍSICA - RECURSOS (III)										
Etapas	NODOS / PUNTOS DE VENTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PRO	1									
	2									
	3									
FAB	1									
	2									
	3									
	4									
DIS ¹	1	0								
	2		0							
DIS ²	1			1	1					
	2					1	1			
	3							1	1	
	4									0

Tabla 8-10. Visión Física (Recursos) de la RdS/D. Representación tabular (III) (elaboración propia)

8.1.2.2 Definición de los Ítems

La Metodología (I) establece los siguientes sub-pasos:

1. Para cada uno de los Puntos de Venta considerados anteriormente, definir en detalle la Demanda Final, o lo que es lo mismo, los Ítems con Demanda Independiente (aquellos que se pretenda considerar en el modelado).
2. Para cada Producto Final, señalar de qué Productos Intermedios (de primer Nivel) se conforma.
3. Para cada Producto Intermedio (de Nivel n-1), señalar de qué Productos Intermedios (de Nivel n) se conforma.
4. Para cada Producto Intermedio (de Nivel n) señalar de qué Materia Prima se conforma.

A continuación se muestra cuál sería la **representación gráfica** (Figura 8-4) para la “Definición de los Ítems”. En dicha figura están representados cada uno de los 4 pasos anteriores.

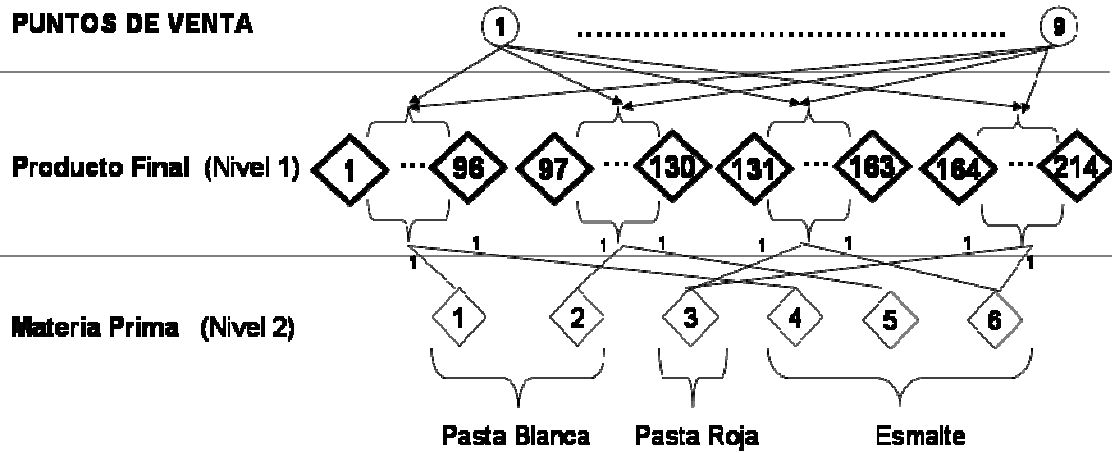


Figura 8-4. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación gráfica (elaboración propia)

En cuanto a la **forma tabular**, se utilizan dos tablas diferentes.

La primera (Tabla 8-11) se utiliza para la definición de la Demanda Final (Independiente) generada por cada Punto de Venta identificado anteriormente en la Visión Física – Recursos (III) (Tabla 8-10).

VISION FISICA – ITEMS (I)	
Puntos de Venta	Productos Finales
1	1...214
2	1...214
3	1...214
4	1...214
5	1...214
6	1...214
7	1...214
8	1...214
9	1...214

Tabla 8-11. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (I) (elaboración propia)

La segunda (Tabla 8-12) se utiliza para la definición de la Lista de Materiales (o la parte de la misma considerada en el modelado) de cada uno de los Ítems generados por los Puntos de Venta en la Tabla 8-11.

VISION FISICA – ITEMS (II)		Materia Prima (nivel 2)					
		1	2	3	4	5	6
Productos Finales (nivel 1)	1-96	1			1		
	97-130		1			1	
	131-163			1			1
	164-214			1			1

Tabla 8-12. Visión Física (Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (II) (elaboración propia)

8.1.2.3 Definición de la Relación Recursos-Ítems

La Metodología (I) establece los siguientes sub-pasos:

1. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Distribución
 - a. Identificar la AT de Almacenamiento y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
2. Para cada Nodo identificado en la Etapa de Fabricación/Montaje
 - a. Identificar la/s AT de Almacenamiento (en su caso perteneciente a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
 - b. Identificar la/s Actividad/es de Producción-Operaciones (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden producirse.
3. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Aprovisionamiento
 - a. Identificar la AT de Almacenamiento y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
4. Para cada Nodo identificado en la Etapa/Sub-Etapa de Proveedores
 - a. Identificar la/s AT de Almacenamiento (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden almacenarse.
 - b. Identificar la/s AT de Producción-Operaciones (en su caso pertenecientes a cierta Etapa Intra-Nodo) y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden producirse.
5. Para cada Arco identificado (entre cada par de Nodos o entre Nodos y Puntos de Venta) de las diferentes Etapas/Sub-Etapas:

- a. Identificar la AT de Transporte y en su caso Alternativas, y para cada una de ellas indicar qué Ítems pueden transportarse.

A continuación se muestra cuál sería la **representación tabular** (Tablas 8-13 y 8-14) para la “Definición de la relación Recursos & Ítems”, para lo cual se utilizan dos Tablas diferentes.

La primera (Tabla 8-13) se utiliza para relacionar Alternativas de las distintas AT (en su caso pertenecientes a Etapas Intra-Nodo) de los distintos Nodos, con los Ítems que pueden “realizarse/asignarse” a las mismas, en este caso, por tratarse de Nodos, los Ítems que pueden producirse ó almacenarse.

VISIÓN FÍSICA – RECURSOS & ITEMS (I)					
RECURSOS				ITEMS	
Etapas	Nodos	AT / Etapa-In	Alternativas	Materia Prima	Productos Finales
PRO	1	P	1	1,2	
		A	1	1,2	
	2	P	1	3	
		A	1	3	
	3	P	1	4-6	
		A	1	4-6	
FAB	1	A3	1	1,2,4,5	
		P2	1		1-130
			2		1-130
		A2	1		1-130
	2	P1	1		1-130
		A3	1	1-6	
		P2	1		97-163
			2		1-163
	A2	1		1-163	
	3	P1	1		1-163
		A3	1	1-6	
		P2	1		1-130
			2		97-163
		3		1-163	
		A2	1		1-163
		P1	1		1-130
			2		97-163
	A3	1		1-163	
	4	P2	1		131-214
			2		131-214
		A2	1		131-214
		P1	1		131-214
	A1	1		131-214	
	DIS ¹	1	A	1		1-214
2		A	1		1-214
DIS ²	1	A	1		1-214
	2	A	1		1-214
	3	A	1		1-214
	4	A	1		1-214

Tabla 8-13. Visión Física (Recursos&Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (I)
(elaboración propia)

La segunda (Tabla 8-14) se utiliza para relacionar las Alternativas de la AT ligadas a los Arcos, con los Ítems que pueden “asignarse”, en este caso transportarse, a las mismas.

VISIÓN FÍSICA – RECURSOS & ITEMS (II)					
RECURSOS				ITEMS	
Etapas	Arcos – AT (transporte)		Alternativas	Materia Prima	Productos Finales
	Nodo inicial	Nodo Final			
PRO	1	FAB,1	1	1,2	
		FAB,2	1	1,2	
		FAB,3	1	1,2	
	2	FAB,2	1	3	
		FAB,3	1	3	
	3	FAB,1	1	4,5	
		FAB,2	1	4,5,6	
		FAB,3	1	4,5,6	
	FAB	1	DIS¹,1	1		1-130
DIS¹,1			1		1-163
2		DIS¹,2	1		1-163
		DIS¹,2	1		1-163
3		DIS¹,1	1		1-163
		DIS¹,2	1		1-163
4		DIS¹,1	1		131-214
		DIS¹,2	1		131-214
DIS¹	1	DIS²,1	1		1-214
		DIS²,2	1		1-214
	2	DIS²,2	1		1-214
		DIS²,3	1		1-214
		DIS²,4	1		1-214
		DIS²,4	1		1-214
DIS²	1	PV3	1		1-214
		PV4	1		1-214
	2	PV5	1		1-214
		PV6	1		1-214
	3	PV7	1		1-214
		PV8	1		1-214

Tabla 8-14. Visión Física (Recursos&Ítems) de la RdS/D. Representación tabular (II)
(elaboración propia)

8.1.3 Visión Organizacional

La Metodología (I) establece el siguiente paso:

1. Definir los Centros Organizacionales (COs) existentes en cada Nivel Organizacional.

8.1.3.1 Definición de los Centros Organizacionales

Una vez definida la Visión Física, se puede definir la Visión Organizacional, cuyo primer paso es la definición de los COs en cada uno de los dos Niveles Organizacionales identificados (Táctico y Operativo). Cada CO será responsable de la ejecución/control de una o varias ATs definidas sobre los nodos/arcos en la Visión Física – Recursos.

La Metodología (I) establece dos modos distintos de representación, gráfico y tabular.

A continuación se muestra la **representación gráfica** para la definición de los Centros Organizacionales identificados en cada uno de los Niveles Organizacionales, Táctico (Figura 8-5) y Operativo (Figura 8-6).

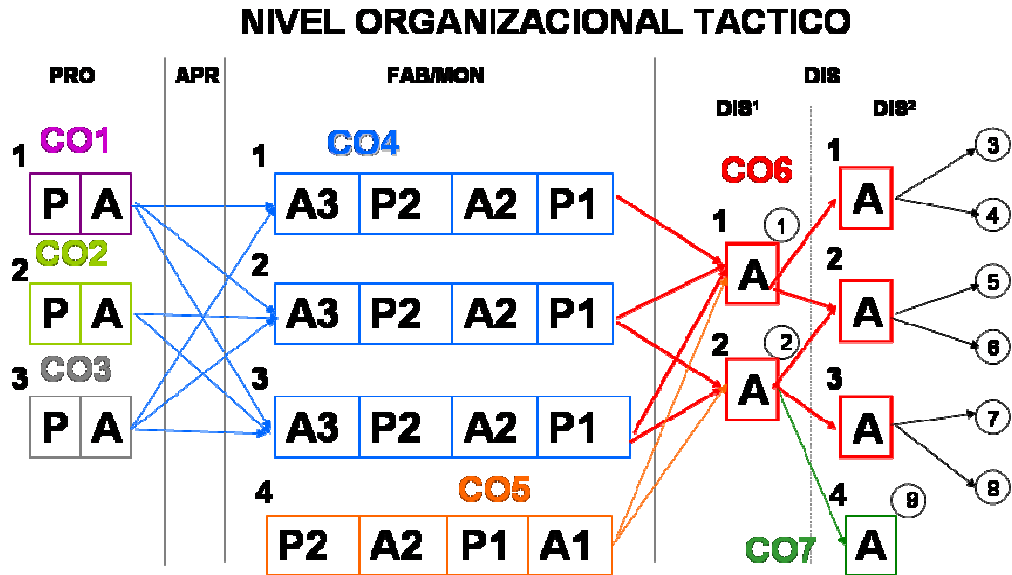


Figura 8-5. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Táctico).
Representación gráfica (elaboración propia)

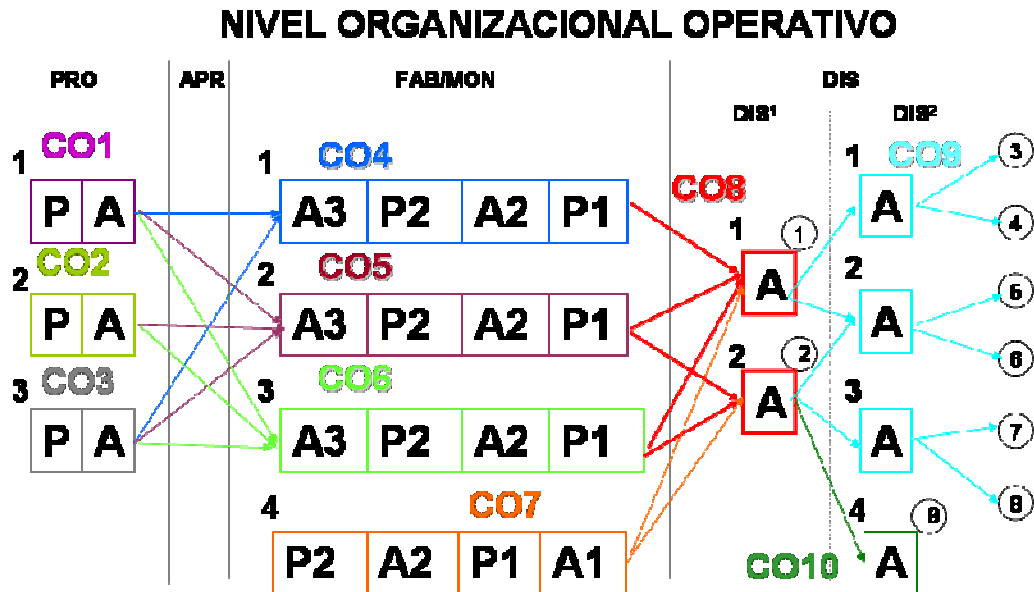


Figura 8-6. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Operativo).
Representación gráfica (elaboración propia)

Como puede observarse en las dos Figuras anteriores, se han identificado los distintos COs existentes en cada uno de los Niveles Organizacionales.

En el Nivel Organizacional Operativo (Planes Maestros), y en lo que respecta a las Etapas de PRO y FAB/MON, se han identificado en principio un CO por cada nodo identificado, con o sin el transporte incluido (CO1, CO2, CO3, CO4, CO5, CO6 y CO7). En lo que respecta a la Etapa de DIS, para los dos Almacenes Centrales sólo existe un CO (CO8) y análogamente, sólo existe un CO (CO9) para los tres Centros Logísticos y las seis Tiendas. Finalmente se ha identificado un CO (CO10) correspondiente al único Distribuidor Independiente considerado explícitamente.

En el Nivel Organizacional Táctico (Planes Agregados), se mantienen los COs definidos para el Nivel Organizacional Operativo, excepto para la Etapa de FAB/MON, en la que existe un único CO (CO4) responsable de las ATs que son realizadas por los Nodos numerados como 1,2 y 3 (N7.1, N7.2 y N8 respectivamente) y para la Etapa de DIS, en la que también existe un único CO (CO6) responsable de las ATs que son realizadas por los nodos 1 y 2 de la Sub-Etapa DIS¹ (Almacenes Centrales) y los nodos 1,2 y 3 de la Sub-Etapa DIS² (Centros Logísticos). Por último, es importante reseñar, que a diferencia del Nivel Organizacional Operativo, no se considera el transporte desde la Sub-Etapa DIS² a las Tiendas ¹.

8.1.4 Sub-Visión Macro-Decisional

La Metodología (I) establece los siguientes pasos:

1. Definir los Centros de Decisión en cada uno de los Niveles Decisionales.
2. Caracterizar las Relaciones de Interdependencia Decisionales del Proceso.
3. Identificar las Actividades Decisionales del Proceso y su secuencia de ejecución.

8.1.4.1 Definición de los Centros de Decisión

Los COs son responsables de ejecutar/controlar las decisiones tomadas por los CDs de los que dependen, por tanto se hace necesario conectar la Visión Organizacional con la Sub-Visión Macro-Decisional (ó Visión Decisional / M), que a continuación se presenta.

Una vez identificados los distintos COs en cada uno de los Niveles Organizacionales, tiene sentido identificar los CDs en cada uno de los Niveles Decisionales. Los Centros Organizacionales son los

¹ Esto es debido a que a Nivel Táctico, como se verá posteriormente, toda la demanda proveniente de las distintas tiendas se agregará y se asignará/adscribirá a los Centros Logísticos ó Distribuidor Independiente que las aprovisiona y por tanto no tendrán sentido decisiones de tipo “táctico” en lo referente a dicho transporte.

responsables de la implementación (ejecución/control) de las decisiones previamente tomadas por los Centros de Decisión de los que dependen.

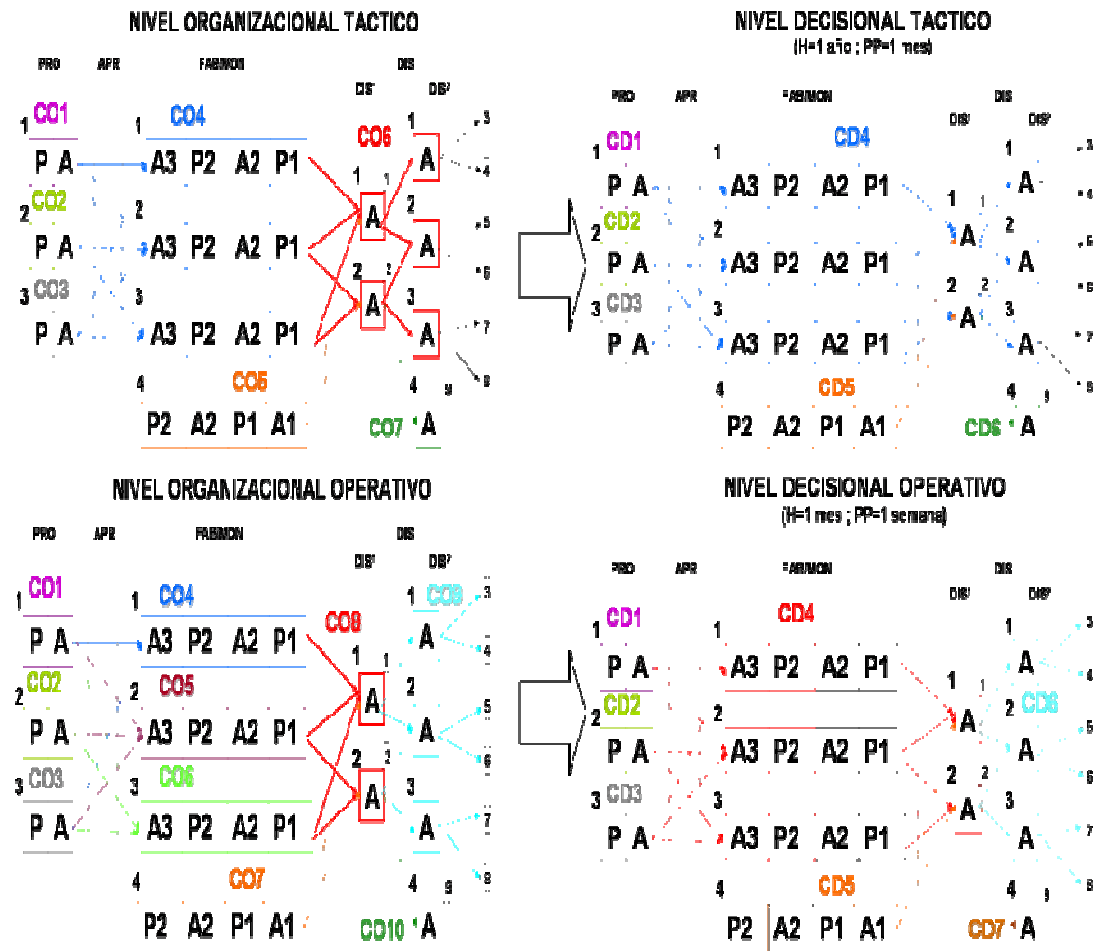


Figura 8-7. Relación entre COs y CDs en cada uno de los Niveles Organizacionales/Decisionales Táctico y Operativo (elaboración propia)

En la Figura 8-7 se puede observar gráficamente la relación entre la Visión Macro-Decisional y la Visión Organizacional. Existen menos CDs que COs en cada Nivel puesto que hay casos en los que una sola persona (o decisor) toma decisiones sobre varias ATs que son ejecutadas y controladas por COs distintos. Como ejemplo, el CD4, definido en el Nivel Decisional Táctico, toma decisiones sobre la gestión de las capacidades de producción, almacenamiento y transporte de una gran parte de la Rds/D (exceptuando Proveedores y Distribuidor Independiente), las cuales son implementadas por el CO4, responsable de dichas ATs en la Etapa de Fabricación/Montaje, y por el CO6, responsable en la Etapa de Distribución.

También puede observarse como en este caso, los Planes realizados a Nivel Táctico por los distintos CDs tendrían un horizonte anual y períodos de planificación mensuales, y los Planes realizados a Nivel Operativo un horizonte mensual y períodos de planificación semanales.

Se presenta a continuación cuál sería la **representación gráfica y tabular** para la “Definición de los Centros de Decisión”².

Se distinguen en primer lugar los CDs que se ubican en el Nivel Decisional Táctico (Figura 8-8 y Tabla 8-15).

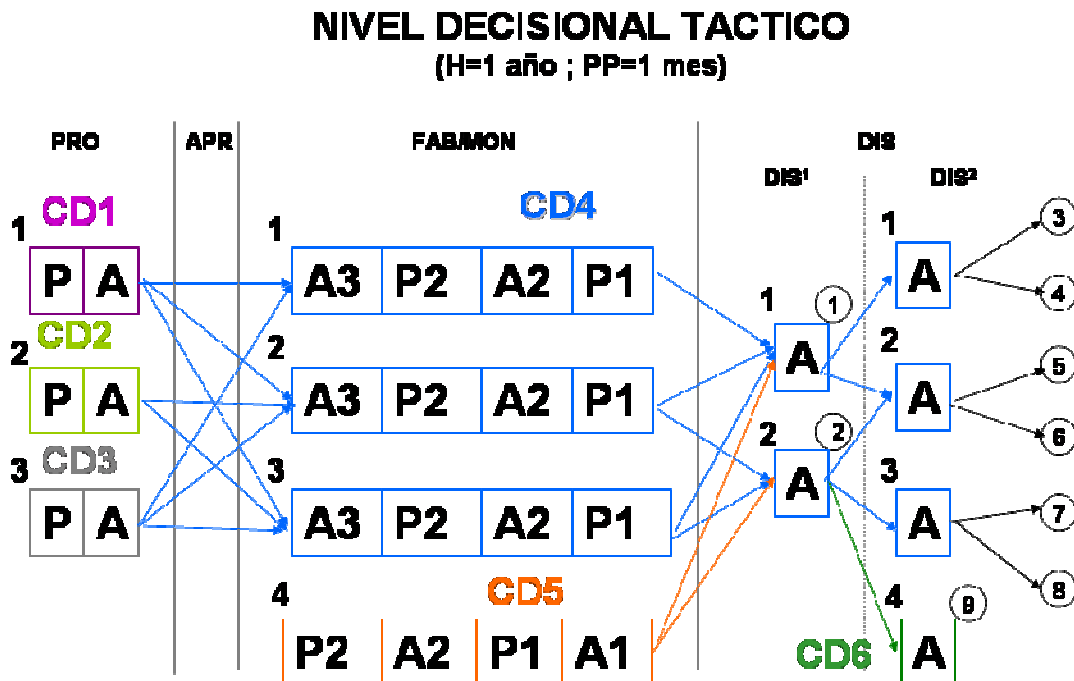


Figura 8-8. Visión Macro-Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Táctico).
Representación gráfica (elaboración propia)

Como puede apreciarse, en el Nivel Decisional Táctico existen menos CDs que COs, porque un mismo CD toma decisiones “centralizadamente” sobre las ATs de las cuales son responsables (ejecución/control) más de un CO. Ese es el caso de CD4, el cuál toma decisiones (Plan Agregado) que afectarán a las ATs y que se ejecutarán/controlarán por varios COs, concretamente CO4 y CO6 (Figura 8-7). La existencia de un único CD4 que centraliza decisiones de tipo táctico de diferentes COs está fuertemente influenciada por la pertenencia de todos los nodos implicados (N.7.1, N7.2, N8, Almacenes Centrales y Centros Logísticos) a un mismo Grupo Empresarial, como sucede en este caso.

² O más bien, tal y como se apuntó en la descripción de la Metodología (I) en el capítulo 5, se trataría de la descripción del “Alcance” del Centro de Decisión.

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

Dichas Decisiones, como se verá en el Modelado Analítico del siguiente apartado de este capítulo, están relacionadas fundamentalmente con la reserva de Capacidades (agregadas) de Producción, Almacenamiento y Transporte a medio plazo para hacer frente a la demanda de la RdS/D, además de hacer visible mediante un orden de magnitud aproximado la cantidad de materia prima a comprar a cada Proveedor (N3, N4 y N1), cantidades a subcontratar de cada familia de productos (N6) y cantidades a vender, en particular, por haberse identificado explícitamente, al Centro de Distribución Independiente.

VISION DECISIONAL/M – CD's								
Nivel Decisional TACTICO (NDT)								
Etapas	AT / Etapas	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CD6	
PRO	P	1	1	1				
	A	1	1	1				
	T				1-FAB,1 1-FAB,2 1-FAB,3 2-FAB,2 2-FAB,3 3-FAB,1 3-FAB,2 3-FAB,3			
FAB	FAB 1	A3				1 2 3		
		P2				1 2 3		
		A2				1 2 3		
		P1				1 2 3		
	FAB 2	P2					4	
		A2					4	
		P1					4	
		A1					4	
		T				1-DIS ¹ ,1 2-DIS ¹ ,1 2-DIS ¹ ,2 3-DIS ¹ ,1 3-DIS ¹ ,2	4-DIS ¹ ,1 4-DIS ¹ ,2	
	DIS ¹	A				1 2		
T					1-DIS ² ,1 1-DIS ² ,2 2-DIS ² ,2 2-DIS ² ,3		2-DIS ² ,4	
DIS ²	A				1 2 3		4	
	T							

Tabla 8-15. Visión Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Táctico). Representación tabular (elaboración propia)

En el resto de los casos, existe una relación biunívoca entre COs y CDs, como por ejemplo el CD3, el cuál realiza decisiones de tipo táctico (en este caso de reserva de capacidad de aprovisionamiento) que

se ejecutarán/controlarán por el CO3 (responsable de las ATs del N1). O el CD5, el cuál realiza decisiones de tipo táctico (en este caso reserva de capacidad suplementaria de fabricación) que se ejecutarán/controlarán por el CO5 (responsable de las ATs del N6).

En cuanto a aquellos CDs que se ubican en el Nivel Decisional Operativo (Figura 8-9 y Tabla 8-16).

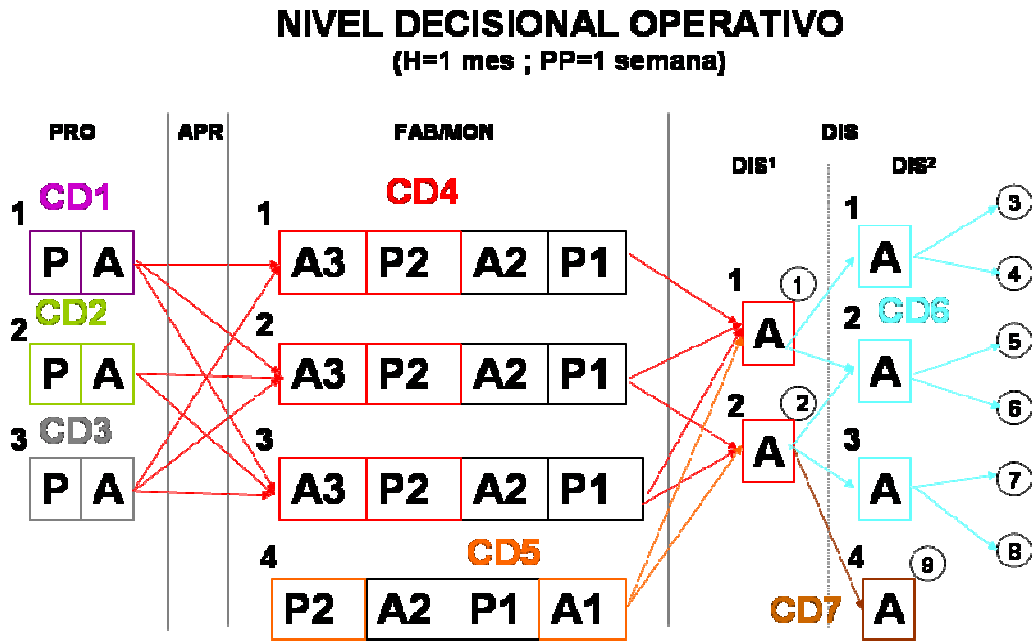


Figura 8-9. Visión Organizacional de la RdS/D (definición de COs – Nivel Operativo).
Representación gráfica (elaboración propia)

En el Nivel Decisional Operativo, al igual que en el Nivel Decisional Táctico, existen menos CDs que COs. La diferencia fundamental estriba en que en este caso CD4 sólo centraliza decisiones de tipo operativo (Plan Maestro) de los CO4, CO5, CO6 y CO8, definidos anteriormente en el Nivel Organizacional Operativo (Figura 8-6).

En este caso, las decisiones de tipo operativo que son implementadas/controladas por CO9 (Centros Logísticos-Tiendas) son tomadas por CD6.

Se puede observar, por tanto, que a Nivel Táctico existe una centralización en la Toma de Decisiones (NDT-CD4) que afecta a N7.1, N7.2, N8, Almacenes Centrales y Centros Logísticos y en cambio a Nivel Operativo, aunque si bien se centralizan las decisiones (NDO-CD4) que afectan a N7.1, N7.2, N8 y Almacenes Centrales, el alcance de las mismas no afecta a las decisiones tomadas por los Centros Logísticos-Tiendas (NDO-CD6).

No obstante, como se verá posteriormente, en este contexto de Toma de Decisiones Distribuida, existirán unas Relaciones de Interdependencia importantes entre ND0-CD4 y NDO-CD6 como consecuencia de la pertenencia a un mismo Grupo Empresarial.

Las decisiones tomadas a nivel operativo por CD4, como se verá en el Modelado Analítico del siguiente apartado de este capítulo, están relacionadas fundamentalmente con las cantidades a producir, almacenar y transportar de cada uno de los productos finales, así como la cantidad de materia prima a comprar a cada Proveedor (N3, N4 y N1), cantidades a subcontratar de uno de los productos finales (N6) y cantidades a vender de cada uno de los productos finales, tanto a los Centros Logísticos-Tiendas como al Centro de Distribución Independiente considerado, así como al resto de Distribuidores Independientes y Empresas Constructoras.

Por último reseñar como aspecto importante en la RdS/D del Sector Cerámico sujeta a estudio que CD4 no toma decisiones de carácter operativo (Plan Maestro) sobre la sección de hornos, representada como A2 – P1 (almacenamiento de productos finales provenientes de la sección de prensado/esmaltado y producción en sección de hornos).

En el resto de los casos del Nivel Decisional Operativo, al igual que en el Nivel Decisional Táctico, existe una relación biunívoca entre COs y CDs, como por ejemplo el CD3, el cuál realiza decisiones de tipo operativo (cantidades a aprovisionar de cada materia prima) que se ejecutarán/controlarán por el CO3. O análogamente el CD5, el cuál realiza decisiones de tipo operativo (cantidades de cada producto final subcontratadas) que se implementarán/controlarán por el CO7.

VISION DECISIONAL/M – CD's								
Nivel Decisional OPERATIVO (NDO)								
Etapas (RdS/D)	AT/Etapas	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CD6	CD7
PRO	P	1	1	1				
	A	1	1	1				
	T				1-FAB,1 1-FAB,2 1-FAB,3 2-FAB,2 2-FAB,3 3-FAB,1 3-FAB,2 3-FAB,3			
FAB	FAB 1	A3			1 2 3			
		P2			1 2 3			
		A2						
	FAB 2	P1						
		P2					4	
		A2					4	
		P1					4	
	A1					4		
	T				1-DIS ¹ ,1 2-DIS ¹ ,1 2-DIS ¹ ,2 3-DIS ¹ ,1 3-DIS ¹ ,2	4-DIS ¹ ,1 4-DIS ¹ ,2		
DIS ¹	A				1 2			
	T					2-DIS ² ,3	1-DIS ² ,1 1-DIS ² ,2 2-DIS ² ,2 2-DIS ² ,3	2-DIS ² ,4
DIS ²	A						1 2 3	4
	T						1-PV3 1-PV4 2-PV5 2-PV6 3-PV7 3-PV8	

Tabla 8-16. Visión Decisional de la RdS/D (definición de CDs – Nivel Operativo).

Representación tabular (elaboración propia)

8.1.4.2 Caracterización de las Relaciones de Interdependencia entre Centros de Decisión

A continuación se muestra cuál es la representación tabular (Tablas 8-17 a 8-29) para la “caracterización de las Relaciones de Interdependencia” de todos los CDs identificados en el paso anterior en cada uno de los Niveles Decisionales, Táctico y Operativo. Asimismo, también se muestra cuál es la representación gráfica para un CD determinado, en este caso el NDT-CD4 (Figura 8-10).

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

Para ello, en la Metodología (I) se considera una serie de parámetros / atributos que caractericen dichas Relaciones de Interdependencia entre CDs (definidos en capítulo 4):

Para ello se definieron los siguientes parámetros, cada uno con sus correspondientes atributos:

1. Naturaleza de la Interacción (NI) : Temporal (T) , Espacial (E)
2. Tipo de Interacción (TI) : Nula (N), Jerárquica (J), No-Jerárquica (NJ)
3. Búsqueda de Objetivo Global (OG) : Organizacional (O), No-Organizacional (NO)
4. Número de Ciclos (NC) : Solo Instrucción (IN), Un ciclo Instrucción-Reacción (1C), Varios ciclos Instrucción-Reacción (VC)
5. Grado de Anticipación (GA) : Nula (N), No-Reactiva (NR), Reactiva (R)
6. Comportamiento(C): Oportunista (O), No-Oportunista (NO).

A continuación (Tablas 8-17 a 8-22) se muestra la caracterización de las Relaciones de Interdependencia de los CDs ubicados en el **Nivel Decisional Táctico**:

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD1	CDs ^{1c}	NDT-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO
	CDs ^{Bt}	NDO-CD1	T	J ^T	O	1C	NR	NO

Tabla 8-17. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD1).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD2	CDs ^{1c}	NDT-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO
	CDs ^{Bt}	NDO-CD2	T	J ^T	O	1C	NR	NO

Tabla 8-18. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD2).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD3	CDs ^{1c}	NDT-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO
	CDs ^{Bt}	NDO-CD3	T	J ^I	O	1C	NR	NO

Tabla 8-19. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD3).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD4	CDs ^{1c}	NDT-CD6	E	J ^B	O	IN	NR	NO
	CDs ^{Bt}	NDO-CD4	T	J ^I	O	1C	R	NO
		NDO-CD6	T	J ^I	O	1C	R	NO
	CDs ^{Be}	NDT-CD1	E	J ^I	O	IN	NR	NO
		NDT-CD2	E	J ^I	O	IN	NR	NO
		NDT-CD3	E	J ^I	O	IN	NR	NO
		NDT-CD5	E	J ^I	O	IN	NR	NO

Tabla 8-20. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD4).
Representación tabular (elaboración propia)

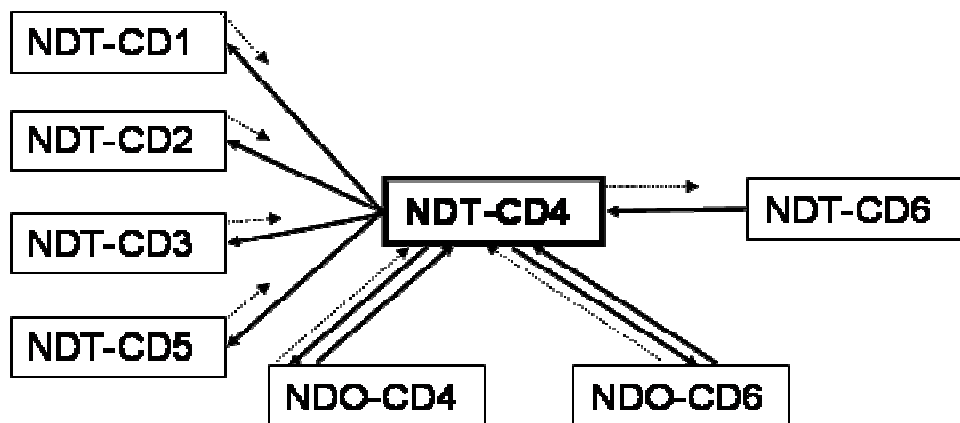


Figura 8-10. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD4). Representación gráfica (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD5	CDs ^{Te}	NDT-CD4	T	J ^B	O	IN	NR	NO
	CDs ^{Bt}	NDO-CD5	T	J ^I	O	1C	R	NO

Tabla 8-21. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD5).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDT-CD6	CDs ^{Bt}	NDO-CD7	T	J ^I	O	1C	R	NO
	CDs ^{Be}	NDT-CD4	E	J ^I	O	IN	NR	NO

Tabla 8-22. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDT-CD6).
Representación tabular (elaboración propia)

Asimismo, en las Tablas 8-23 a 8-29, se muestra la caracterización de las Relaciones de Interdependencia de los CDs ubicados en el **Nivel Decisional Operativo**:

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD1	CDs ^{Tt}	NDT-CD1	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO

Tabla 8-23. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD1).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD2	CDs ^{Tt}	NDT-CD2	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO

Tabla 8-24. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD2).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD3	CDs ^{Tt}	NDT-CD3	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO

Tabla 8-25. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD3).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD4	CDs ^{Tt}	NDT-CD4	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD6	E	J ^B	O	IN	NR	NO
		NDO-CD7	E	J ^B	O	IN	N	NO
	CDs ^{Be}	NDT-CD1	E	J ^T	O	IN	NR	NO
		NDT-CD2	E	J ^T	O	IN	NR	NO
		NDT-CD3	E	J ^T	O	IN	NR	NO
		NDT-CD5	E	J ^T	O	IN	NR	NO

Tabla 8-26. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD4).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD5	CDs ^{Tt}	NDT-CD5	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^B	O	IN	NR	NO

Tabla 8-27. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD5).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD6	CDs ^{Tt}	NDT-CD4	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Be}	NDO-CD4	E	J ^T	O	IN	NR	NO

Tabla 8-28. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD6).
Representación tabular (elaboración propia)

VISION DECISIONAL / M Relaciones de Interdependencia entre CDs			Parámetros / Atributos					
CD analizado	Entorno Decisional		NI	TI	OG	NC	GA	C
NDO-CD7	CDs ^{Tt}	NDT-CD6	T	J ^B	O	1C	R	NO
	CDs ^{Te}	NDO-CD4	E	J ^T	O	IN	N	NO

Tabla 8-29. Visión Decisional de la RdS/D (Relaciones de Interdependencia de CDs – NDO-CD7).
Representación tabular (elaboración propia)

8.1.4.3 Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso

Una vez definidos los CDs en cada uno de los Niveles Decisionales (paso 1) y analizadas las Relaciones de Interdependencia entre los mismos (paso 2), se está en disposición de poder identificar cada una de las Actividades Decisionales que conformarán el Proceso de PC de la RdS/D sujeta a estudio, así como su secuencia de ejecución.

A continuación se muestra cuál sería la representación gráfica (Figura 8-11) para la “Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso”.

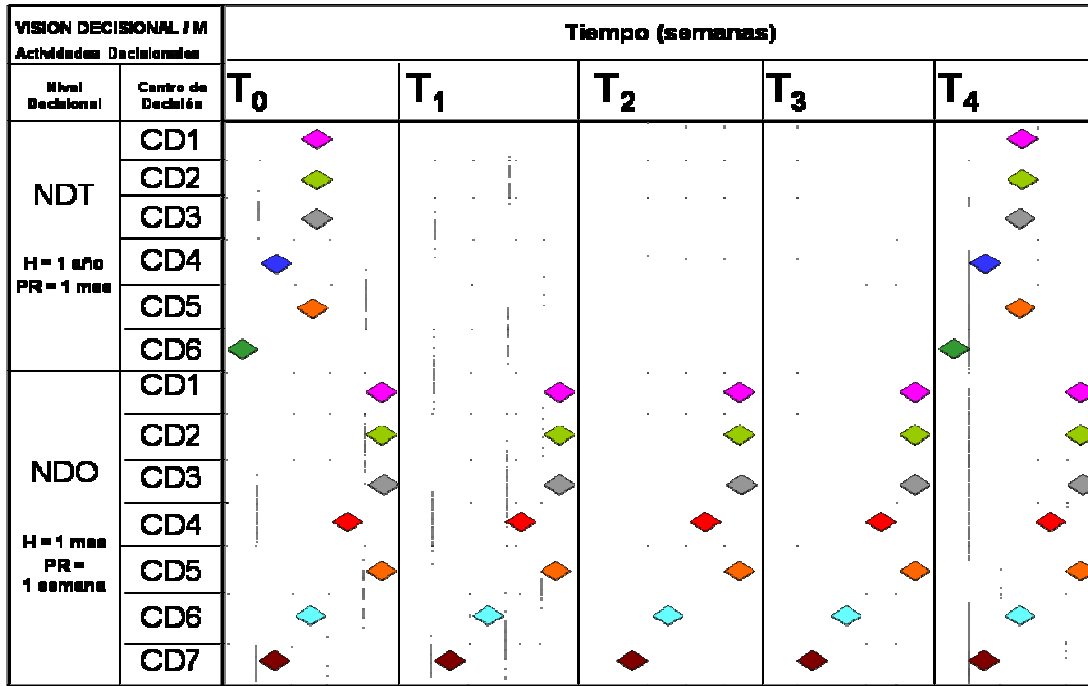


Figura 8-11. Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso y su secuencia de ejecución (elaboración propia)

En dicha Figura 8-11 se han definido en la parte izquierda los Niveles Decisionales Táctico (NDT) y Operativo (NDO), y en cada uno de ellos todos los CDs identificados anteriormente. Cada CD ejecuta/activa periódicamente su respectiva Actividad Decisional según el Período de Replanificación (PR). Se puede observar como el PR de todos los CDs del Nivel Táctico es mensual y el de los CDs del Nivel Operativo es semanal. Así pues, se observa, como por ejemplo, el NDT-CD4 se ejecuta/activa en T₀ y posteriormente, al cabo de 4 semanas (un mes) en T₄. En cambio el NDO-CD4 se activa en T₀, y sucesivamente cada semana, T₁, T₂, T₃, T₄.

No obstante, cuando se ejecuta/activa una Actividad Decisional debe mantenerse un cierto orden/secuencia, que viene dado por las relaciones de Interdependencia entre CDs, previamente caracterizadas, en el que se ha establecido qué CDs son “superiores” al resto.

Se puede observar como un CD situado en el Nivel Decisional Táctico siempre se ejecuta/activa antes que cualquier CD situado en el Nivel Decisional Operativo, ya que este último sería inferior desde el punto de vista Temporal. Así pues, la Actividad Decisional del NDT-CD4 se ejecuta/activa antes que la del NDO-CD6.

Además, dado un Nivel Decisional concreto, un CD se activa/ejecuta antes que todos los CDs inferiores al mismo desde el punto de vista Espacial. El CD superior, por tanto, se activa/ejecuta un instante antes que el CD inferior a pesar de compartir el mismo PR. Así pues, la Actividad Decisional del NDT-CD4 se ejecuta/activa antes que la del NDT-CD5.

En la Figura 8-12, para mayor claridad, sólo se ha considerado el instante T_0 , en el que coincide la ejecución/activación de todas las Actividades Decisionales. El orden en que deben ejecutarse/activarse viene indicado por un número en la parte superior-izquierda de la Actividad Decisional en cuestión.

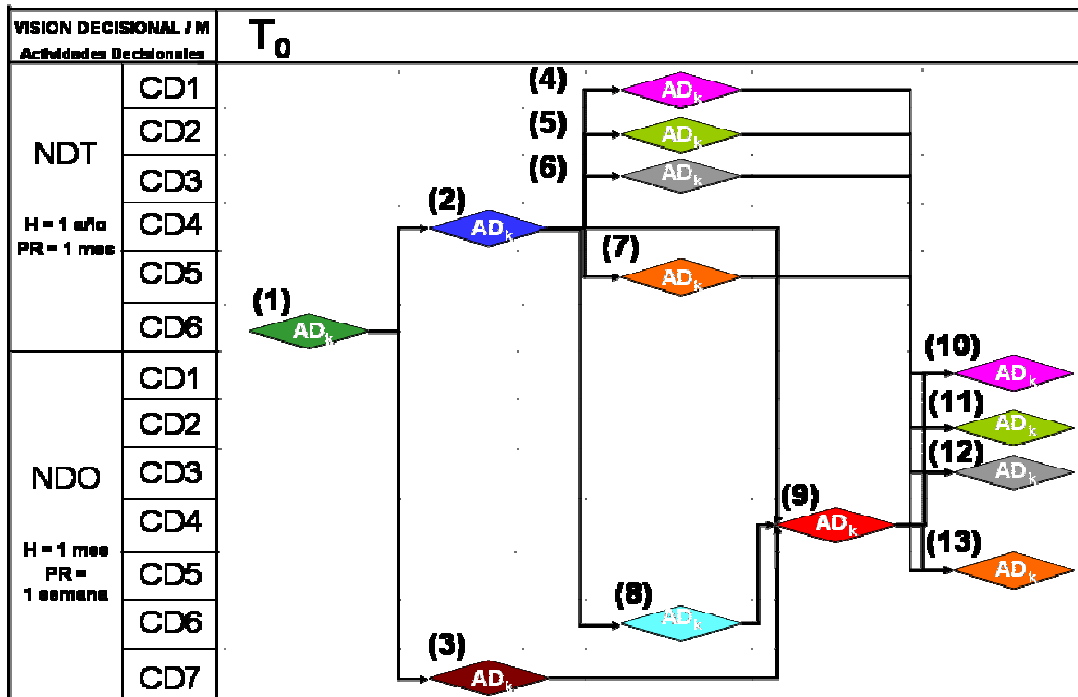


Figura 8-12. Identificación de las Actividades Decisionales del Proceso en T_0 (elaboración propia)

El proceso de Planificación Colaborativa de la Rds/D del Sector Cerámico que se ha seleccionado para la aplicación de la Metodología (I) empieza en el Nivel Decisional Táctico, cuando el líder/promotor de la Rds/D establece un Plan Agregado (PA) que implica a gran parte de la misma (ya que dicho Plan “centraliza” la gestión de todas las operaciones realizadas en las plantas de fabricación N7.1, N7.2 y N8, los almacenes centrales, centros logísticos y tiendas). Esto correspondería a la Actividad Decisional (2) ejecutada por el NDT-CD4.

No obstante, como se puede observar en la Figura 8-12, existe previamente una Actividad Decisional (1) que debe ejecutarse anteriormente por el NDT-CD6, que corresponde al PA que realizaría el Centro de Distribución Independiente, cuya salida, en forma de plan de requerimientos de familias de productos sería transmitida a NDT-CD4.

Por tanto, NDT-CD4, teniendo en cuenta el plan de requerimientos transmitido por NDT-CD6, conjuntamente con las previsiones de familias de productos en cada uno de los Centros Logísticos³, así como la del resto de Distribuidores Independientes y Empresas Constructoras en cada uno de los Almacenes Centrales, calcularía el PA mencionado al principio. Este PA tiene un Horizonte anual subdividido en períodos mensuales así como un período de replanificación también mensual.

En dicho PA se trata de calcular, tal y como se indicó explícitamente al final del capítulo anterior, por una parte decisiones ligadas a la “gestión/planificación de la capacidad” y por otra parte decisiones ligadas a la “gestión/planificación de la ejecución de las diferentes ATs”⁴.

Una vez ejecutada la Actividad Decisional (2) por parte de NDT-CD4, se transmiten los planes de requerimientos de materias primas a los distintos Proveedores (N3, N4 y N1) y la cantidad de familias de productos a subcontratar al Proveedor de Capacidad Suplementaria (N6). Es importante reseñar que NDT-CD4, en el cálculo de su PA “anticipa”⁵ algunos aspectos de estos últimos, que favorece el proceso de decisión colaborativo.

Posteriormente, tanto los Proveedores N3, N4 y N1, como el Proveedor de capacidad suplementaria N6 calculan sus respectivos PAs, en el que toman decisiones de dimensionamiento de su capacidad de producción a medio plazo teniendo en cuenta los requerimientos de NDT-CD4 y la demanda que pueda existir por parte de otras RdS/D no consideradas aquí. Esto daría lugar a las Actividades Decisionales (4), (5), (6) y (7), llevadas a cabo por los NDT-CD1, NDT-CD2, NDT-CD3 y NDT-CD5, respectivamente.

La Actividad Decisional (3), llevada a cabo por el NDO-CD7, correspondería al Plan Maestro (PM) realizado por el Centro de Distribución Independiente, cuya salida, en forma de plan de requerimientos de productos finales sería transmitida a NDO-CD4. Para ello tendría en cuenta las capacidades a medio plazo previamente calculadas por NDT-CD6 en la Actividad Decisional (1) y la previsión de demanda/pedidos en firme de productos finales en cada una de las tiendas independientes.

La Actividad Decisional (8), correspondería al PM realizado por NDO-CD6 y que centralizaría las decisiones tomadas sobre las ATs llevadas a cabo por los Centros Logísticos y Tiendas. Para ello se tendrían en cuenta las capacidades (de transporte fundamentalmente) a medio plazo previamente

³ Anteriormente se comentó que a Nivel Táctico, la demanda proveniente de las distintas tiendas se agrega y se asigna/adscribe a los Centros Logísticos. Lo mismo ocurre a Nivel Táctico con la Actividad (1) asociada al cálculo del Plan Agregado por parte del Distribuidor Independiente.

⁴ No obstante el tipo de Decisiones específicas tanto de los Planes Tácticos (Agregados) como de los Planes Operativos (Maestros) se detallarán en el próximo apartado, cuando se proceda al Modelado Analítico de cada una de las Actividades Decisionales del Proceso mediante la aplicación de la Metodología (II).

⁵ El tipo de “Anticipaciones” se detallarán en el próximo apartado cuando se aborde el Modelado Analítico del Proceso mediante la Metodología (II).

calculadas por NDT-CD4 en la Actividad Decisional (2), así como la previsión de demanda/pedidos en firme de los productos finales en cada una de las Tiendas abastecidas desde los Centros Logísticos. En dicho PM se tomarían decisiones acerca de la gestión/planificación de la ejecución de las diferentes ATs, como la cantidad de productos finales a transportar desde los Almacenes Centrales a los Centros Logísticos y desde estos a las Tiendas, la cantidad de productos finales a almacenar en cada uno de los Centros Logísticos, etc. Su salida sería, al igual que en el caso anterior, un plan de requerimientos de productos finales que sería transmitido al NDO-CD4.

La Actividad Decisional (9), correspondería al Plan Maestro realizado por NDO-CD4 y que centralizaría las decisiones tomadas sobre las ATs llevadas a cabo por N7.1, N7.2, N8 y los Almacenes Centrales. Para ello se tendrían en cuenta las capacidades (de producción y transporte fundamentalmente) a medio plazo previamente calculadas por NDT-CD4 en la Actividad Decisional (2), los planes de requerimientos de productos finales enviados desde NDO-CD7 y NDO-CD6, así como la previsión de demanda/pedidos en firme de los productos finales en cada una de los Almacenes Centrales, proveniente de otros Centros de Distribución y de Empresas Constructoras principalmente. En el PM, tal y como se indicó explícitamente al final del capítulo anterior, se tomarían decisiones acerca de la gestión/planificación de la ejecución de las diferentes ATs. Dicho PM tiene un Horizonte mensual⁶ subdividido en períodos semanales así como un período de replanificación también semanal.

Una vez ejecutada la Actividad Decisional (9) se transmiten los planes de requerimientos de materias primas a los distintos Proveedores (N3, N4 y N1) y la cantidad de productos finales a subcontratar al Proveedor de Capacidad Suplementaria (N6). Es importante reseñar que NDO-CD4, en el cálculo de su PM también “anticipa” algunos aspectos de estos últimos, que favorece el proceso de decisión colaborativo, en este caso a corto plazo.

Finalmente se podrían llevar a cabo las Actividades Decisionales (10), (11), (12) y (13), en la que los centros de decisión NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3 y NDO-CD5, respectivamente, realizarían sus propios PMs, a partir de las reservas de capacidad de producción provenientes de sus PAs a Nivel Táctico y de los planes de requerimientos de materias primas o de capacidad suplementaria de fabricación de productos finales transmitidos desde el NDO-CD4.

Por tanto, se acaban de definir cuáles son las distintas Actividades Decisionales que componen el Proceso de Planificación Colaborativa, así como su orden/secuencia de ejecución.

Finalmente, en el siguiente apartado, Visión Informativa, se realiza un análisis de la Información por Interdependencias de cada una de las Actividades Decisionales.

⁶ Por razones de simplicidad y de conexión con el PA a Nivel Táctico, en lo que se refiere al Modelado Analítico (basado en PLEM) posterior, se ha considerado que el PM posee un horizonte de un mes.

8.1.5 Visión Informacional

La Metodología (I) establece los siguientes pasos:

1. Definir la Información de Entrada por Interdependencias (a nivel Macro) de cada Actividad Decisional.
2. Definir la Información de Salida por Interdependencias (a nivel Macro) de cada Actividad Decisional.

Por último, en la Visión Informacional para el Modelado del Proceso, la Metodología (I) analiza la información que se intercambia (entrada/salida) entre las diferentes Actividades Decisionales, entendiendo por ésta la debida la información que resulta de las Relaciones por Interdependencias analizadas en el paso 2 de la Sub-Visión Macro-Decisional.

No obstante, tal y como se va a detallar en el siguiente apartado 8.2., la segunda parte de la Metodología, denominada Metodología (II) para el Modelado Analítico del Proceso, no se va a aplicar a su totalidad, sino **sólo a un Sub-Proceso del mismo, compuesto por tres de las Actividades Decisionales más influyentes del Proceso**. Es por ello por lo que el análisis de la Información de Entrada/Salida por Interdependencias sólo se detallará para dichas tres Actividades Decisionales, una vez seleccionadas, como “paraguas” para poder analizar posteriormente dicha Información de forma detallada (a nivel Micro).

8.2 Aplicación de la Metodología (II) - 1er Bloque para el Modelado determinista basado en Programación Matemática (PLEM) de algunos de las Actividades Decisionales / Centros de Decisión implicados en el Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D.

8.2.1 Introducción

Una vez aplicada la Metodología (I) para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones en una RdS/D concreta perteneciente al Sector de Revestimientos y Pavimentos Cerámicos y por tanto obtenido un Modelo del Proceso (focalizado en las Actividades Decisionales que forman parte del mismo), se puede realizar su Modelado Analítico.

Dicho Modelado Analítico se realiza mediante la Metodología (II), con la cual se pretende el Modelado Determinista basado en Programación Matemática (PLEM) y la Resolución/Evaluación integrada del Proceso de Planificación Colaborativa en la RdS/D considerada. Para la aplicación de dicha Metodología (II), y tal como se argumentó en capítulos precedentes, son necesarias dos entradas principales, como son el modelado integrado (conceptual) del Proceso mediante la aplicación de la

Metodología (I) y por otra parte todos los conceptos que se definieron en el Marco desarrollado en el capítulo 4, fundamentalmente en la Sub-Visión Micro-Decisional.

No obstante, el ámbito de aplicación de la Metodología (II) no va a ser la totalidad del Proceso anteriormente modelado mediante la Metodología (I), sino que, como ya se indicó (Figura 8-13), se va a desarrollar en un “subproceso” del mismo, formado por tres Actividades Decisionales, y en particular aquellas activadas/ejecutadas por tres de los Centros de Decisión más importantes⁷ (NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4).

Para ello, tal y como se señaló en la introducción, la **Metodología (II)** se subdivide en dos bloques:

- Un **primer bloque**, que hace referencia al **desarrollo de Modelos deterministas basados en PLEM** como ayuda a la Toma de Decisiones (de planificación) **en cada uno de los tres Centros de Decisión** (asociados a las Actividades Decisionales del Subproceso seleccionadas).
- Un **segundo bloque**, además, que hace referencia a la **resolución/evaluación integrada** del conjunto de los modelos PLEM de los CDs asociados a las anteriores Actividades Decisionales, y por tanto **del SubProceso**⁸. Este segundo bloque dependerá enormemente de los dos últimos pasos aplicados en la Metodología (I) para el Modelado del Proceso, es decir, de la secuencia de ejecución y de la Información de Entrada/Salida por Interdependencias entre las distintas Actividades Decisionales. Además, será la base para el **planteamiento de diferentes escenarios colaborativos** (TO-BE) diferente del actual (AS-IS).

⁷ De hecho algunos de ellos están relacionados con las Entidades de la RdS/D que se consideraron como “promotoras” del estudio del Proceso de Planificación Colaborativa.

⁸ Aunque a partir de ahora se hablará indistintamente de Sub-Proceso o Proceso.

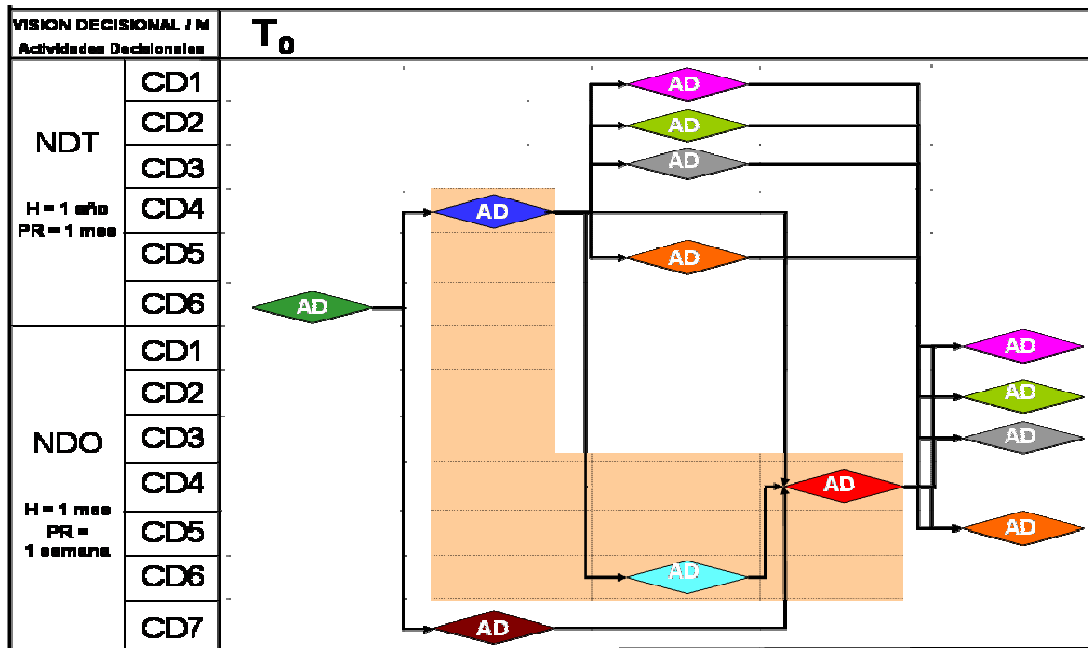


Figura 8-13. Actividades Decisionales del Proceso seleccionadas para su Modelado Analítico (elaboración propia)

A continuación, en este mismo apartado, se aborda el primero de los bloques de la Metodología (II), que tal y como se indicó en el capítulo 6, se estructura en los dos siguientes pasos:

1. Caracterización cualitativa de los tres Centros de Decisión seleccionados.
2. Definición de los Modelos deterministas basados en PLEM para cada uno de los tres Centros de Decisión seleccionados.

8.2.2 Caracterización cualitativa de los CDs implicados

Para la definición de los Modelos deterministas basados en PLEM en cada uno de los tres Centros de Decisión seleccionados, previamente se han de caracterizar **desde el punto de vista cualitativo** (conceptual) cada uno de dichos CDs.

El primer bloque de la Metodología (II), en un primer paso, analiza **individualmente** para cada uno de los CDs qué tipo de decisiones específicas toman y cómo (Sub-Visión Micro-Decisional) y por otra parte con qué información (Visión Informacional).

A continuación se caracterizan cualitativamente los CDs seleccionados, NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4, a partir de la definición de:

- Sub-Visión Micro-Decisional
 - Características temporales
 - ¿Qué tipo de decisiones se toman?

- Variables de Decisión Locales
- Variables de Decisión por Interdependencias
- ¿Cuáles son los objetivos?
 - Criterio Local
 - Criterio por Interdependencias
- ¿Cuáles son las limitaciones?
 - Campo de Decisión Local
 - Campo de Decisión por Interdependencias
- Visión Informativa
 - ¿Cuál es la información de entrada?
 - Parámetros Locales
 - Parámetros por Interdependencias

Hay que reseñar que tal y como se comentó en el capítulo 7, el análisis de la **Sub-Visión Micro-Decisional** de los diferentes CDs hizo que se propusieran algunos cambios con respecto a cómo se estaban tomando entonces las decisiones. Dichos cambios se realizaron por una parte porque facilitaban/mejoraban la Toma de Decisiones en contextos colaborativos (interdependencias temporal y espacial), y por otra parte porque hacía factible el Modelado Matemático y posterior resolución y evaluación integrada.

Entre dichos cambios cabe destacar:

- modificación de las características temporales de NDT-CD4, en el sentido de que se consideró conveniente mantener el horizonte de 1 año pero con un periodo mensual (en lugar de anual) que permitiera un mayor número de puntos decisionales y una mayor aproximación a la realidad. Por ejemplo el período de planificación mensual permitía reflejar con mayor exactitud los cambios de partida de familias de productos considerados a nivel táctico, y por tanto, una mejor estimación de la capacidad necesaria y de los costes.
- obtención mediante un único paso de las decisiones tácticas (dimensionado de la capacidad productiva) de NDT-CD4 sobre fabricar o subcontratar, ya que éstas se encuentran estrechamente vinculadas entre sí. Anteriormente no se tomaban al mismo tiempo. Dichas decisiones se tomarán en función de la capacidad productiva de las plantas y sus costes asociados.
- incorporación explícita para NDT-CD4 de las decisiones sobre el dimensionado de capacidad, y más concretamente el número de turnos y horas extra de cada línea de producción y decisiones sobre activación/desactivación de hornos. Anteriormente dicho dimensionado se hacía de forma implícita a través del presupuesto anual proporcionado por la Alta Dirección.

- adición para NDT-CD4 de decisiones acerca de la etapa de distribución ya que a nivel táctico éstas no se consideraban con la suposición de que su capacidad era infinita. Sin embargo, se consideró que se podrían reducir costes contemplando también esta etapa. No fue difícil en el sentido que la propia “organización” de la RdS/D lo hacía factible ya que tanto las Plantas como los Centros Logísticos, aunque pertenecían a Entidades distintas, sí que formaban parte del mismo Grupo Empresarial.
- modelado explícito de los mecanismos de coordinación con los proveedores de materias primas y de producto final a través de restricciones “por interdependencia”.
- definición en un solo paso de las decisiones tomadas por NDO-CD4 (al igual que se hizo con NDT-CD4), lo que permitía tener en cuenta simultáneamente las restricciones de capacidad productiva en las diferentes líneas impuestas por NDT-CD4 y maximizar los beneficios.
- modelado explícito de los cambios de partida de los productos finales en las líneas para optimizar costes y consumo de capacidad.

En las Figuras 8-14 a 8-16 se han representado de manera esquemática las principales características desde el punto de vista Micro-Decisional de los Centros de Decisión seleccionados, NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4. Dichas características ya incluyen todos los cambios anteriores, tanto los mencionados anteriormente como otros de menor importancia. No obstante, para un **mayor detalle** se debe consultar el **Anexo A.1.**, donde los distintos aspectos del análisis Micro-Decisional de cada uno de los CDs se pueden encontrar de manera metodológica.

En color rojo se han representado aquellos CDs con los que existe algún tipo de integración, pero que no se han seleccionado explícitamente para su posterior modelado matemático.

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

NDT-CD4 : Sub-visión Micro-Decisional		
Características Temporales		Horizonte: 1 año ; Período de Planificación: 1 mes ; Período de Replanificación : 1 mes
Variables de Decisión	Locales	Capacidad normal de producción: n° de turnos en Líneas y activación/desactivación de Hornos, Capacidad normal de transporte entre Almacenes y Centros Logísticos (n° de camiones)
	Interdependencia	<p>Temporal</p> <p>NDO-CD4: Anticipación sobre la cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor, cantidad a subcontratar de cada familia en cada almacén, cantidad (Kgrs) a transportar de cada materia prima desde cada proveedor a cada planta , cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta, cantidad a producir de cada familia en líneas y hornos , decisiones sobre cambios de partida de familias en líneas y hornos, cantidad a almacenar de cada familia en cada planta (almacen intermedio entre líneas y hornos), cantidad a transportar de cada familia desde plantas a almacenes , cantidad a almacenar de cada familia en almacenes, cantidad a vender y diferir de cada familia en almacenes al distribuidor independiente y "otros" puntos de venta (distribuidores independientes no considerados explícitamente, constructoras...)</p> <p>NDO-CD6: Anticipación sobre la cantidad a transportar de cada familia entre almacenes y centros logísticos, cantidad a almacenar de cada familia en cada centro logísticos, cantidad a vender y diferir de cada familia en los centros logísticos al conjunto de tiendas asignados a los mismos</p>
Criterio	Local	Minimizar Costes: Capacidad normal de producción: n° de turnos en Líneas y activación/desactivación de Hornos, Capacidad normal de transporte entre Almacenes y Centros Logísticos (n° de camiones)
	Interdependencia	<p>Temporal</p> <p>NDO-CD4: Maximizar Beneficios (ingresos – costes):</p> <p>Ingresos: Anticipados de Ventas de familias en almacenes al distribuidor independiente y "otros" puntos de venta</p> <p>Costes: Anticipados de Compra de cada materia prima en cada proveedor, Subcontratación de cada familia en cada almacén, Transporte de cada materia prima desde cada proveedor a cada planta, Almacenamiento de cada materia prima en cada planta, Cambios de partida de familias en líneas y hornos, Almacenamiento de cada familia en cada planta (almacen intermedio entre líneas y hornos, Transporte de cada familia desde plantas a almacenes, Almacenamiento de cada familia en almacenes, Diferir familias en almacenes a "otros" puntos de venta.</p> <p>NDO-CD6: Maximizar Beneficios (ingresos – costes):</p> <p>Ingresos: Anticipados de Ventas de familias en los centros logísticos al conjunto de tiendas asignados a los mismos</p> <p>Costes: Anticipados de Transporte de cada familia entre almacenes y centros logísticos, Almacenamiento de cada familia en cada centro logístico, Diferir familias en los centros logísticos al conjunto de tiendas asignados a los mismos</p>
Campo de Decisión	Local	Restricciones de control del flujo de capacidad, de comprometer un mínimo n° de períodos y de capacidad máxima en las Líneas y Hornos, de número máximo de camiones disponible para cada ruta
	Interdependencia	<p>Temporal</p> <p>NDO-CD4: Restricciones relativas a la anticipación del balance de inventario de materia prima en plantas, la cantidad a almacenar de materia prima en las plantas sea menor que cierta capacidad máxima, lotes mínimos de producción de las familias en líneas y hornos, consumo de capacidad de las diferentes familias deberá ser menor que la capacidad normal instalada en las líneas y hornos y mayor que un mínimo establecido para un aprovechamiento eficiente, control de cambios de partida de familias en líneas y hornos, rendimiento productivo (calidades diferentes y mermas) de las líneas y hornos, balance de inventario de productos finales en almacenes, cantidad a almacenar de las familias en los almacenes sea menor que cierta capacidad máxima, máximas cantidades de familias a diferir en almacenes a "otros" puntos de venta.</p> <p>NDO-CD6: Restricciones relativas a la anticipación de las cantidades máximas (en peso) a transportar de cada familia entre almacenes y centros logístico, conservación del Flujo de familias en centros logísticos, cantidades máximas a almacenar de cada familia en centros logísticos, cantidades máximas de familias a diferir en centros logísticos al conjunto de tiendas asignadas a cada uno de ellos</p>
	Espacial	<p>NDT-CD1; NDT-CD2; NDT-CD3: Restricciones relativas a la anticipación de los límites mínimos y máximos con respecto a la cantidad a comprar de materia prima a proveedores</p> <p>NDT-CD5: Restricciones relativas a la anticipación de los límites mínimos/máximos de la cantidad a subcontratar de las familias</p> <p>NDT-CD6: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a la cantidad de familias que desea comprar el Distribuidor Independiente</p>

Figura 8-14. Caracterización cualitativa del NDT-CD4: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia)

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

NDO-CD6 : Sub-visión Micro-Decisional						
Características Temporales		Horizonte: 1 mes ; Período de Planificación: 1 semana ; Período de Replanificación : 1 semana				
Variables de Decisión	Locales	Cantidad a comprar de cada producto final en cada almacén, Cantidad a transportar de cada producto final entre almacenes y centros logísticos y entre estos últimos y las diferentes tiendas, Cantidad a almacenar de cada producto final en cada centro logístico, Cantidad a vender de cada producto final en cada tienda, Cantidad a diferir de cada producto final en cada tienda				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> NDT-CD4 Desviaciones positivas sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos </td> </tr> </table>	Temporal	NDT-CD4 Desviaciones positivas sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos		
Temporal	NDT-CD4 Desviaciones positivas sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos					
Criterio	Local	<p><i>Maximizar Beneficios (ingresos – costes):</i></p> <p><i>Ingresos</i></p> <p>Ventas de productos finales en tiendas</p> <p><i>Costes:</i></p> <p>Compra de productos finales en almacenes, Transporte de productos finales entre almacenes y centros logísticos y entre estos últimos y las diferentes tiendas, Fijos de Transporte por utilización de camiones, Almacenamiento de productos finales en centros logísticos, Diferir productos finales en tiendas</p>				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> NDT-CD4 <i>Minimizar Costes:</i> Desviación positiva sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos </td> </tr> </table>	Temporal	NDT-CD4 <i>Minimizar Costes:</i> Desviación positiva sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos		
Temporal	NDT-CD4 <i>Minimizar Costes:</i> Desviación positiva sobre la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos					
Campo de Decisión	Local	Restricciones sobre las cantidades máximas (en peso) a transportar de productos finales entre almacenes y centros logísticos, de conservación del Flujo de productos finales en centros logísticos, de cantidades máximas a almacenar de productos finales en centros logísticos, de stocks de seguridad en centros logísticos, de cantidades máximas de productos finales a diferir en tiendas				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> NDT-CD4 Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos </td> </tr> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Espacial</td> <td> NDO-CD4 Restricciones relativas a la anticipación de los límites mínimos con respecto a la cantidad a comprar de productos finales en los almacenes </td> </tr> </table>	Temporal	NDT-CD4 Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos	Espacial	NDO-CD4 Restricciones relativas a la anticipación de los límites mínimos con respecto a la cantidad a comprar de productos finales en los almacenes
	Temporal	NDT-CD4 Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad de transporte "objetivo" (condicionada por nº de camiones contratados) entre almacenes y centros logísticos				
Espacial	NDO-CD4 Restricciones relativas a la anticipación de los límites mínimos con respecto a la cantidad a comprar de productos finales en los almacenes					

Figura 8-15. Caracterización cualitativa del NDO-CD6: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia)

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

NDO-CD4 : Sub-visión Micro-Decisional						
Características Temporales		Horizonte: 1 mes ; Período de Planificación: 1 semana ; Período de Replanificación : 1 semana				
Variables de Decisión	Locales	Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor, Cantidad a subcontratar de cada producto final en cada almacén, Cantidad (Kgrs) a transportar de cada materia prima desde cada proveedor a cada planta, Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta, Cantidad a producir de cada producto final en cada línea, Horas extras a asignar a cada línea, Decisiones sobre cambios de partida de familias y productos finales en las líneas, Cantidad a transportar de cada producto final desde plantas a almacenes, Cantidad a almacenar de cada producto final en almacenes, Cantidad a vender de cada producto final en almacenes a centros logísticos, distribuidor independiente y "otros" puntos de venta (distribuidores independientes no considerados explícitamente, constructoras...), Cantidad a diferir de cada producto final en almacenes a "otros" puntos de venta				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> <p>NDT-CD4</p> <p>Desviaciones positivas y negativas sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p> </td> </tr> </table>	Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Desviaciones positivas y negativas sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p>		
Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Desviaciones positivas y negativas sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p>					
Criterio	Local	<p>Maximizar Beneficios (ingresos – costes):</p> <p>Ingresos: Ventas de productos finales a centros logísticos, distribuidor independiente y "otros" puntos de venta (distribuidores independientes no considerados explícitamente, constructoras...)</p> <p>Costes: Compra de materia prima, Subcontratación de productos finales, Transporte de materia prima desde cada proveedor a cada planta, Almacenamiento de materia prima en cada planta, Producción de productos finales en las líneas, Horas extras a realizar en las líneas, Cambios de partida de familias y productos finales en las líneas, Transporte de productos finales desde plantas a almacenes, Almacenamiento de productos finales en almacenes, Diferir productos finales a "otros" puntos de venta</p>				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> <p>NDT-CD4</p> <p>Minimizar Costes:</p> <p>Desviación positiva y negativa sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p> </td> </tr> </table>	Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Minimizar Costes:</p> <p>Desviación positiva y negativa sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p>		
Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Minimizar Costes:</p> <p>Desviación positiva y negativa sobre el inventario "objetivo" en almacenes</p>					
Campo de Decisión	Local	Restricciones sobre balance de inventario de materia prima en plantas, stock de seguridad de materia prima, capacidad normal y extra máxima de las líneas, control de cambios de partida de familias y productos, rendimiento productivo de las líneas, lotes mínimos de producción, balance de inventario de productos finales en almacenes, cantidades máximas de productos finales a diferir en almacenes a "otros" puntos de venta.				
	Interdependencia	<table border="1"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Temporal</td> <td> <p>NDT-CD4</p> <p>Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad normal de producción en las líneas (condicionada por nº de turnos de trabajo ya asignados) y con respecto al inventario "objetivo" en almacenes</p> </td> </tr> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Espacial</td> <td> <p>NDT-CD1; NDT-CD2; NDT-CD3: Restricciones relativas a la anticipación de los límites máximos con respecto a la cantidad a comprar de materia prima a proveedores</p> <p>NDT-CD5: Restricciones relativas a la anticipación del límites máximo con respecto a la cantidad a subcontratar de productos finales</p> <p>NDO-CD6: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desean comprar los centros logísticos.</p> <p>NDO-CD7: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desea comprar el distribuidor independiente</p> </td> </tr> </table>	Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad normal de producción en las líneas (condicionada por nº de turnos de trabajo ya asignados) y con respecto al inventario "objetivo" en almacenes</p>	Espacial	<p>NDT-CD1; NDT-CD2; NDT-CD3: Restricciones relativas a la anticipación de los límites máximos con respecto a la cantidad a comprar de materia prima a proveedores</p> <p>NDT-CD5: Restricciones relativas a la anticipación del límites máximo con respecto a la cantidad a subcontratar de productos finales</p> <p>NDO-CD6: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desean comprar los centros logísticos.</p> <p>NDO-CD7: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desea comprar el distribuidor independiente</p>
	Temporal	<p>NDT-CD4</p> <p>Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la desagregación respecto a la capacidad normal de producción en las líneas (condicionada por nº de turnos de trabajo ya asignados) y con respecto al inventario "objetivo" en almacenes</p>				
Espacial	<p>NDT-CD1; NDT-CD2; NDT-CD3: Restricciones relativas a la anticipación de los límites máximos con respecto a la cantidad a comprar de materia prima a proveedores</p> <p>NDT-CD5: Restricciones relativas a la anticipación del límites máximo con respecto a la cantidad a subcontratar de productos finales</p> <p>NDO-CD6: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desean comprar los centros logísticos.</p> <p>NDO-CD7: Restricciones relativas a las condiciones de consistencia en la coordinación respecto a lo que desea comprar el distribuidor independiente</p>					

Figura 8-16. Caracterización cualitativa del NDO-CD4: Sub-Visión Micro-Decisional (elaboración propia)

En cuanto a la **Visión Informacional** para caracterizar cualitativamente los distintos CDs, ésta se recoge también en detalle en el **Anexo A.1**.

En la misma se recoge toda la información que da soporte a la Toma de Decisiones de cada uno de los CDs, distinguiendo entre la Información de Entrada Local (tanto interna como externa) y la debida a Interdependencias.

Respecto a esta última, cabe remarcar la importancia del modelado integrado del Proceso realizado previamente mediante la Metodología (I), y especialmente, el análisis que se hizo de la información intercambiada entre los diferentes CDs, a modo de Instrucciones y Anticipaciones. Dicho análisis previo determina (a nivel Macro) el componente “por interdependencias”, propio de escenarios de Planificación Colaborativa, y que en este punto se explicita a Nivel Micro.

En lo que respecta a la Información de Entrada que procede de las distintas Anticipaciones llevadas a cabo por los diferentes CDs (respecto de CD^B), ésta ya ha sido recogida en la Sub-Visión Micro-Decisional de cada uno de ellos, afectando indistintamente a sus Campos de Decisión y/o Criterio.

No obstante, en lo que respecta a la **Información de Entrada que procede de las distintas Instrucciones** (compuestas tanto por Variables Globales, como en su caso, por Información Global complementaria), ésta no se conoce hasta que el/los CD^T han resuelto sus modelos de decisión (en este caso basados en PLEM).

Por su especial relevancia, no tanto para el posterior modelado matemático como para la resolución y evaluación integrada de los mismos, en la Figura 8-17 se muestra cuál ha sido la Información de Entrada por Interdependencias obtenida a nivel Macro en el Modelado integrado del Proceso, mientras que en la Figura 8-18 se desglosa a Nivel Micro.

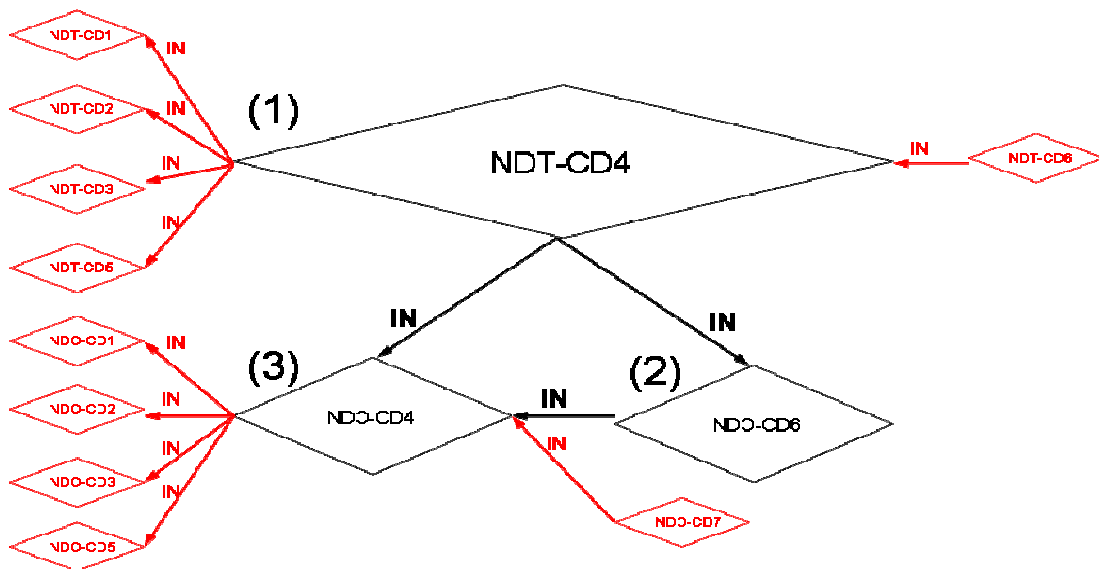


Figura 8-17. Información de Entrada por Interdependencias (a nivel Macro) debida a Instrucciones (elaboración propia)

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

CD origen	Tipo de Interdependencia	Decisión Transmitida a modo de IN		CD destinatario	Información de Entrada (Parámetros por Interdependencia)
		Variables Globales	Información Global		
NDT-CD6	Espacial	1. Cantidad de familias (orientativa) que se pretende comprar en cada mes del horizonte anual		NDT-CD4	1. Cantidad de familias (orientativa) que deberá vender en cada mes del horizonte anual
NDT-CD4	Temporal	1. Capacidad de transporte entre cada Almacén/Centro Logístico para cada mes del horizonte anual	1.1 Desviación máxima permitida respecto a capacidad de transporte 1.2 Coste de dicha desviación máxima permitida respecto a capacidad de transporte	NDO-CD6	1. Capacidad de transporte entre cada Almacén/Centro Logístico para cada semana del horizonte mensual, desviaciones máximas permitidas y costes de las mismas
		1. Capacidad normal de producción en cada línea para cada mes del horizonte anual 2. Inventario "objetivo" de cada familia en cada Almacén para cada mes del horizonte anual	2.1 Desviaciones máxima y mínima permitida respecto al inventario "objetivo" 2.2 Coste de dichas desviaciones máxima y mínima permitidas respecto al inventario "objetivo"	NDO-CD4	1. Capacidad normal de producción en cada línea para cada semana del horizonte mensual 2. Inventario "objetivo" de cada producto final en cada Almacén para cada mes del horizonte anual
	Espacial	1. Cantidad de materia prima (orientativa) que se pretende comprar en cada mes del horizonte anual.		NDT-CD1 NDT-CD2 NDT-CD3	1. Cantidad de materia prima (orientativa) que deberá vender en cada mes del horizonte anual
		1. Cantidad de familias (orientativa) que se pretenden subcontratarle en cada mes del horizonte anual.		NDT-CD5	1. Cantidad de familias (orientativa) que deberá subcontratarle en cada mes del horizonte anual
NDO-CD6	Espacial	1. Cantidad de productos finales a comprar en cada semana del horizonte mensual		NDO-CD4	1. Cantidad de productos finales que deberá vender en cada semana del horizonte mensual
NDO-CD7	Espacial	1. Cantidad de productos finales a comprar en cada semana del horizonte mensual		NDO-CD4	1. Cantidad de productos finales que deberá vender en cada semana del horizonte mensual
NDO-CD4	Espacial	1. Cantidad de materia prima a comprar en cada semana del horizonte mensual.		NDO-CD1 NDO-CD2 NDO-CD3	1. Cantidad de materia prima que deberá vender en cada semana del horizonte mensual
		1. Cantidad de productos finales a subcontratar en cada semana del horizonte mensual.		NDO-CD5	1. Cantidad de productos finales que deberá subcontratarle en cada semana del horizonte mensual

Figura 8-18. Caracterización cualitativa de los CDs: Información de Entrada por Interdependencias relativa a Instrucciones (elaboración propia)

8.2.3 Formulación de los Modelos PLEM de cada uno de los CDs implicados

Una vez caracterizados metodológicamente y desde el punto de vista cualitativo cada uno de dichos CDs, se está en condiciones de poder formular finalmente en este 1er bloque de la Metodología (II) los Modelos Analíticos de ayuda a la Toma de Decisiones en cada uno de ellos. En el caso de la presente Tesis, como ya se ha dicho en repetidas ocasiones, los Modelos son deterministas y están basados en Programación Lineal Entera-Mixta (PLEM).

Por su extensión y por facilitar la lectura del capítulo, se ha creído también conveniente anexas (al igual que se ha hecho con parte de la caracterización cualitativa del apartado anterior) en el **Anexo A.2** la formulación matemática de los PLEM asociados a NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4, teniendo en cuenta todos los **pasos** y **nomenclatura** descritos en el capítulo 6, y más concretamente en el apartado 6.5.1.2.

8.3 Aplicación de la Metodología (II) – 2º Bloque para la Resolución y Evaluación integrada de los Modelos deterministas basados en Programación Matemática del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D.

Este último gran apartado del presente capítulo se basa en el segundo bloque de la Metodología (II) analizada en el capítulo 6.

Una vez aplicado el primer bloque de la Metodología (II) y obtenidos los Modelos deterministas basados en Programación Matemática (PLEM) para los tres Centros de Decisión seleccionados (NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4), en este apartado se trata de analizar cómo se **“integrar/interconectan” los Modelos anteriores**, pues entre ellos, como ya ha quedado reflejado en el modelado matemático de cada uno de los mismos, existen una serie de **interdependencias típicas de contextos jerárquicos/organizacionales**.

No sólo se trata de **“integrar/interconectar” los Modelos de Decisión individuales** de los tres Centros de Decisión seleccionados, sino que también se trata al mismo tiempo de proceder a su **validación**, mediante la **resolución de sus correspondientes Modelos de Decisión**, a partir de los **datos** recogidos sobre la RdS/D descrita. La finalidad última será la **resolución/evaluación integrada** del Subproceso seleccionado, de manera que se pueda **cuantificar el grado de Planificación Colaborativa actual (AS-IS)**.

A continuación, se aplica propiamente el 2º bloque de la Metodología (II), en la que se establecen los siguientes dos pasos:

1. Resolución de los Modelos PLEM de los CDs asociados a las Actividades Decisionales seleccionadas según secuencia del Proceso.
 - a. Información de Entrada

- b. Evaluación de Resultados
 - c. Información de Salida
2. Evaluación/cuantificación de resultados integrada del Proceso de Planificación Colaborativa.

8.3.1 Resolución de los Modelos PLEM de los CDs asociados a las Actividades Decisionales seleccionadas según secuencia del Proceso

Este primer paso consiste en la resolución de **manera individual y con la secuencia obtenida en el Modelado del Proceso** de cada uno de los Modelos de Decisión de los Centros de Decisión (NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4), descritos en el 1er bloque de la Metodología (II) (Figura 8-19).

Para ello será determinante considerar qué **información forma parte de cada una de las Instrucciones enviadas entre CDs** (ya que la información propia de las posibles Anticipaciones ya se tuvo en cuenta en el modelado individual de los CDs).

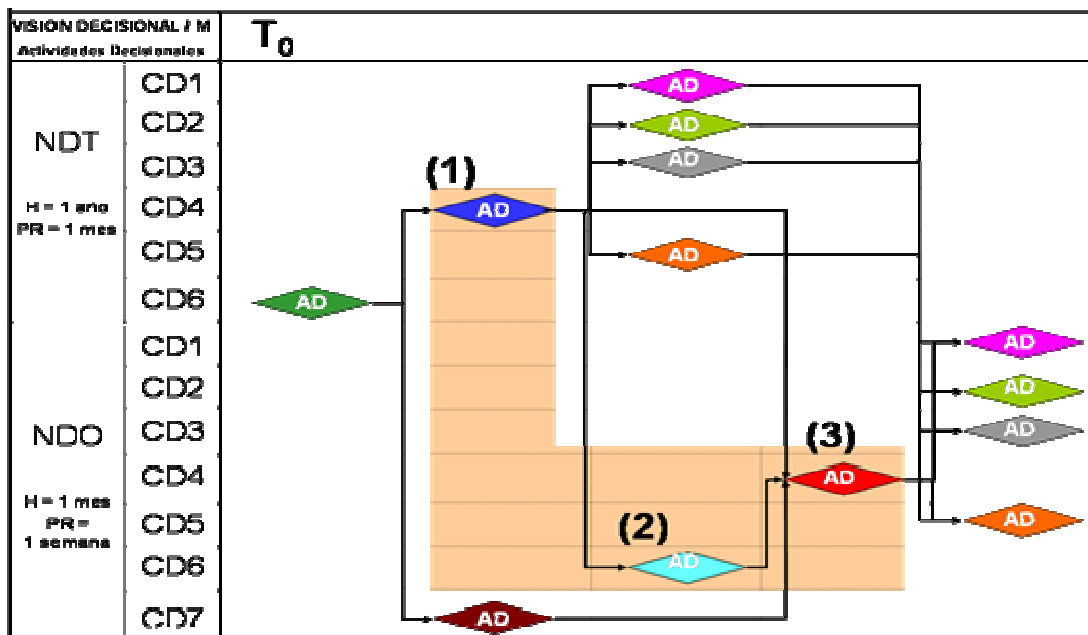


Figura 8-19. Actividades Decisionales del Sub-Proceso seleccionado (1...3) y orden de ejecución (elaboración propia)

Por último, reseñar que para la resolución/validación de los Modelos PLEM de los diferentes CDs seleccionados, se han realizado algunas **simplificaciones** que a continuación se comentan.

Aunque inicialmente, para la resolución de NDT-CD4, no se realiza ninguna simplificación respecto a la RdS/D descrita al principio de este capítulo, sí que se ha realizado una última simplificación

en lo que concierne a NDO-CD6 y NDO-CD4, pues la cantidad de datos manejados por estos últimos son sustancialmente superiores a NDT-CD4, por encontrarse estos en menor estado de agregación.

Lo anterior se refleja concretamente en el **número de productos finales que se han considerado para NDO-CD6 y NDO-CD4**.

En la Tabla 8-30 se muestran cada una de las 4 familias (con sus formatos respectivos), los productos finales considerados inicialmente en cada una de ellas, así como aquellos que se han seleccionado finalmente para la resolución de los Modelos PLEM de NDO-CD6 y NDO-CD4 y el porcentaje aproximado que suponen sobre la demanda final de cada una de sus respectivas familias.

Se puede observar como de la familia 1 (formato 23.5 x 33) se han seleccionado los dos productos finales que mayor demanda tienen sobre el total de la misma, concretamente el 24 %. De manera análoga, de la familia 2 sólo se ha seleccionado uno de sus productos finales, que supone el 7%, de la familia 3 también sólo un producto final, que supone un 3% y finalmente de la familia 4 un producto final que supone un 4%.

Se ha tomado la cifra aproximada del 10% como representativa a la hora de determinar qué porcentaje de productos finales (en general) se han seleccionado a Nivel Operativo (NDO-CD6 y NDO-CD4) sobre la cantidad de productos finales considerados a Nivel Táctico (NDT-CD4). Como se verá posteriormente, esto influirá en la restricciones de capacidad que deberán tenerse en cuenta al resolver los Modelos PLEM de NDO-CD6 y NDO-CD4, pues ésta fue calculada a Nivel Táctico por NDT-CD4 para la totalidad de los 214 productos finales existentes.

Familia	Formato	Productos Finales iniciales	Productos Finales considerados en NDO	% Demanda de la Familia
Familia 1	23.5 x 33	96	2	24
Familia 2	23.5 x 33 Tesela	34	1	7
Familia 3	33 x 44,5	33	1	3
Familia 4	25 x 40	51	1	4

Tabla 8-30. Productos Finales considerados para la resolución de NDO-CD6 y NDO-CD4. (elaboración propia)

Esta simplificación es compatible con el objetivo del 2º bloque de la Metodología (II), pues en ella, como se ha dicho en el párrafo anterior, sólo se pretende resolver/validar individualmente cada uno de los Modelos PLEM asociados a los distintos CDs seleccionados y proceder a la evaluación/cuantificación del Proceso en su estado de Colaboración AS-IS, teniendo en cuenta toda la información intercambiada/compartida entre los CDs.

Además, en la familia 1 (formato 23.5 x 33) se han considerado 2 productos finales, para poder validar todas aquellas “partes” de los Modelos que hacían referencia a la desagregación de Familias y los

diferentes tiempos y costes de cambios de partida tanto de familias como de los productos finales dentro de una misma familia.

Para el **modelado matemático** se ha utilizado el lenguaje “**MPL V4.2**” y para su **resolución** el solver “**Gurobi Optimization 4.5.1**”. Los **datos de entrada y valores de las Variables de Decisión** (algunas de las cuales serán “globales” y se convertirán en información de salida que afectará a la resolución de otros modelos, con o sin Información Global complementaria) se han gestionado mediante “**Microsoft Access database (2002)**”. La resolución se ha llevado a cabo en un PC con un procesador de **2.40 GHz y 2 GB de RAM** (para más detalles ver [Anexo A.3](#)).

A continuación se señalan **individualmente** para cada uno de los Modelos PLEM de los CDs seleccionados cuál ha sido la Información de Entrada, cuáles han sido los Resultados obtenidos una vez resueltos y por último la Información de Salida.

8.3.1.1 Resolución NDT-CD4

8.3.1.1.1 Descripción de la Entrada de Datos

Para efectuar la descripción de la Entrada de Datos para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDT-CD4 (ó CDT4) se distinguen entre aquellos Parámetros que son Locales (**Información de Entrada Local**) y aquellos debidos a las Interdependencias (**Información de Entrada por Interdependencias**).

Por otra parte dichos Parámetros han sido descritos metodológicamente en el apartado anterior, los cuales a su vez derivan del análisis realizado mediante la **Metodología (I)** en la que se obtuvieron la **Visión Física, Organizacional y Decisional** del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D sujeta a estudio.

8.3.1.1.1.1 Parámetros Locales.

Se indica a continuación la Información de Entrada Local que se ha considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDT-CD4.

Los datos concretos se muestran metodológicamente en el [Anexo A.4.1.1](#), siguiendo la estructura descrita en la caracterización cualitativa de los mismos realizada en el apartado anterior, en la cual se distingue entre aquellos Parámetros ligados únicamente a los “ítems en general” y aquellos ligados a los “Recursos” o la relación entre ambos. Estos últimos, a su vez se clasifican dependiendo de si están asociados a Actividades de Transformación (ATs) (Producción/Operaciones, Transporte y Almacenamiento) ó a Actividades de Interconexión (AIs) (Compras y Ventas).

En cuanto a las ATs, la información se recoge de izquierda a derecha respecto a las Etapas/Sub-Etapas de la RdS/D que están bajo el Alcance del CD en cuestión, en este caso, NDT-CD4. Posteriormente, se consideran las AIs, Compras y Ventas, respectivamente. En el caso particular de NDT-

CD4, por estar ubicado en el Nivel Decisional Táctico, las AIs son anticipadas, y por tanto se consideran en el apartado de Parámetros por Interdependencia.

En último lugar señalar que la **agregación de la información** en este Nivel Decisional Táctico (ó Tipos de Elementos considerados para cada una de las tres Categorías “Ítems en general”, “Recursos” y “Períodos de Planificación”) quedó anteriormente analizada en la descripción de las diferentes Visiones.

En la Figura 8-20 se muestra el **Alcance/Frontera** de NDT-CD4 sobre el cuál se han recogido los distintos Parámetros de Entrada Locales, en este caso ligados a la **Planificación de la Capacidad** de las distintas AT/AIs, por estar ubicado en el **Nivel Decisional Táctico**.

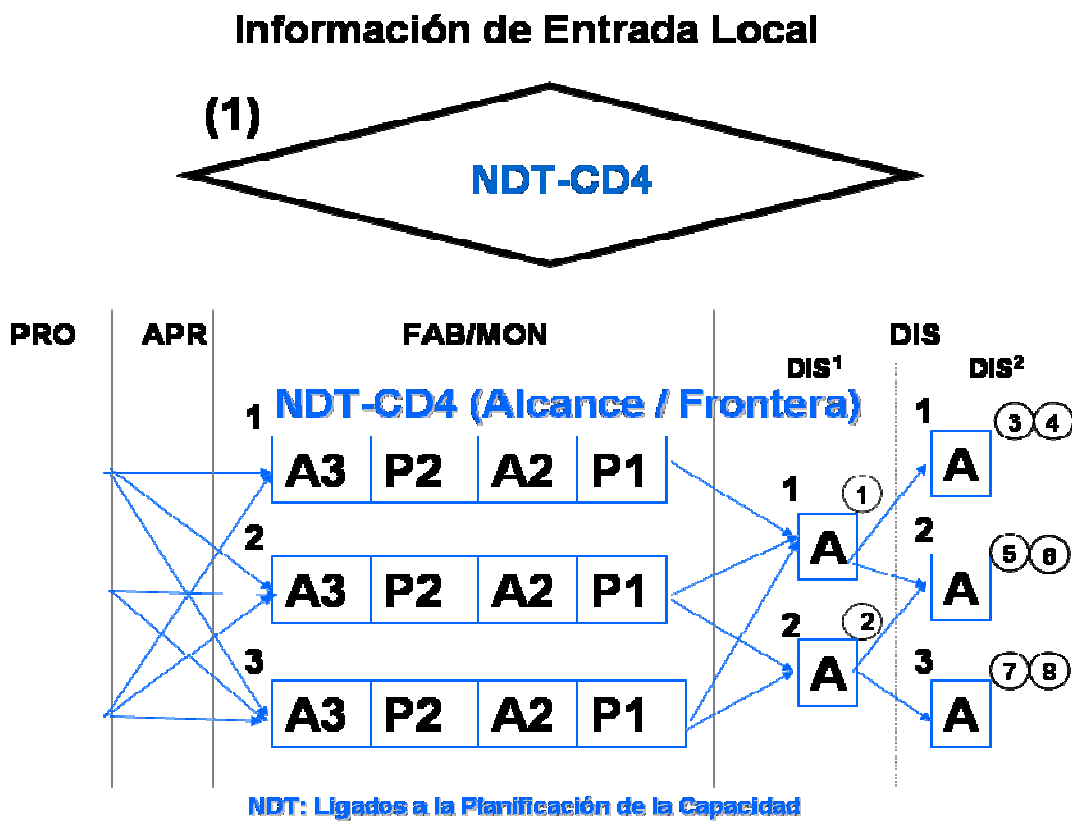


Figura 8-20. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDT-CD4 (elaboración propia)

Respecto a los “Ítems en general” se consideran:

- 6 Materias Primas: pasta blanca (PastaBlanca1 y PastaBlanca2), pasta roja (PastaRoja) y esmalte (Esmalte1, Esmalte2 y Esmalte3).
 - Materia prima (mp=1...6)
- 4 Grupos de Productos Finales (ó 4 Familias): formato 23.5 x 33 (Fm1), formato 23.5 x 33 Tesela (Fm2), formato 33 x 44.5 (Fm3) y formato 25 x 40 (Fm4).
 - Grupos de Productos finales (gpf= 1...4)

Respecto a los “**Recursos**” se consideran:

- 3 Proveedores de Materia Prima (ó ProvMP): planta N3 (ProvPastaBlanca), planta N4 (ProvPastaRoja) y planta N1 (ProvEsmalte)
 - Proveedores ($p=1\dots3$)
- 1 Subcontrata (ó ProvPF): planta N6 (ProvCW)
 - Subcontratas ($s=1$)
- 3 Plantas (ó Plantas Productivas): planta N7.1 (P11), planta N7.2 (P12) y planta N8 (P13)
 - Plantas ($f=1\dots3$)
- 7 Líneas (ó Líneas de Fabricación): línea 1 (LP1), línea 2 (LP2)... y línea 7 (LP7).
 - Líneas ($l=1\dots7$)
- 4 Hornos: horno 1 (Hn1), horno 2 (Hn2)... y horno 4 (Hn4).
 - Hornos ($h=1\dots4$)
- 2 Almacenes Centrales (ó Almacenes): almacén 1 (A11) y almacén 2 (A12).
 - Almacenes ($d^1=1\dots2$)
- 3 Centros Logísticos: centro logístico 1 (CL1), centro logístico 2 (CL2) y centro logístico 3 (CL3).
 - Centros Logísticos ($d^2=1\dots3$)
- “x”⁹ Vehículos2:
 - vehículos2 ($v2 = 1\dots v2$)
- 2 Puntos de Venta: punto de venta 1 (pv1) y punto de venta 2 (pv2).
 - Puntos de venta ($pv=1\dots2$)
- 3 Grupos de Puntos de Venta: grupo de puntos de venta 1 (gpv1), grupo de puntos de venta 2 (gpv2) y grupo de puntos de venta 3 (gpv3).
 - Grupos de puntos de venta ($gpv=1\dots3$)
- 5 Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional ($cdt =1,2,3,4,6$)
- 2 Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional ($cdo =4,6$)

Respecto a los “**Períodos de Planificación**” se consideran:

- 12 Grupos de Períodos de Planificación (ó Períodos): grupo de períodos de planificación 1 (1), grupo de períodos de planificación 2 (2)... y grupo de períodos de planificación 12 (12).
 - Grupos de Períodos de Planificación (t [meses]=1...12)

⁹ Precisamente la capacidad de transporte (y por tanto el n° de vehículos disponible entre las distintas rutas Almacenes – Centros Logísticos) quedará determinada una vez ejecutado NDT-CD4.

8.3.1.1.1.2 *Parámetros por Interdependencia.*

Se indica a continuación la Información de Entrada por Interdependencia que se ha considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDT-CD4.

Se han considerado dos tipos básicos:

- Instrucciones (IN) enviadas desde CD^T (en forma de Variables/Decisiones globales y en su caso Información Global).
- Anticipaciones (FA) de CD^B.

En la Figura 8-21 se muestran los dos tipos básicos de Información de Entrada por Interdependencias, señalando de color negro aquella que es intercambiada desde Actividades Decisionales consideradas explícitamente en el Sub-Proceso seleccionado, es decir, aquellas “activadas” por NDO-CD6 y NDO-CD4 y de color rojo la proveniente del resto de Actividades Decisionales del Proceso con las que tenga algún tipo de interacción.

Dicha Información se muestra metodológicamente en el Anexo A.4.1.2, en la que se consideran inicialmente los parámetros por Interdependencia provenientes de las Instrucciones enviadas desde CD^T, en este caso, de tipo espacial (NDT-CD6) y posteriormente los parámetros por Interdependencia consecuencia de las Anticipaciones de CD^B, diferenciando las de tipo temporal (NDO-CD4 y NDO-CD6) y las de tipo espacial (NDT-CD1, NDT-CD2, NDT-CD3, NDT-CD5).

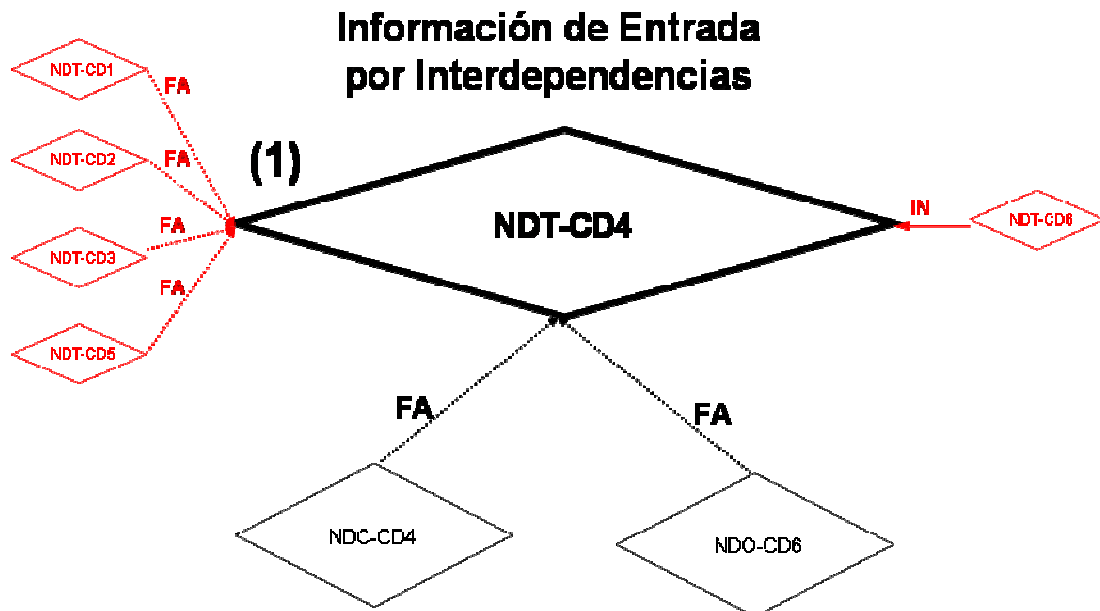


Figura 8-21. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia)

En la Tabla 8-31 se muestra en detalle aquella **información por Interdependencias proveniente de Instrucciones desde CD^T**, ya que este tipo de información **requiere** que las diferentes Actividades Decisionales que forman parte del Sub-Proceso seleccionado se ejecuten en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso**.

En este caso se recibe una única Instrucción proveniente de CD^{Te}, en particular NDT-CD6, que incluye el Parámetro por Interdependencias correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada una de las familias de productos en cada uno de los almacenes (${}^{\circ}co_{gpf,d,t}^1$), proveniente de la Variable Global $CO_{pfd,t}^1$.¹⁰ En este caso no se ha considerado la existencia de ningún tipo de Información Global.

INFORMACIÓN DE ENTRADA/m		AD/CD ^{Te}
		AD/NDT-CD4
		NDT-CD6
IN	x^{TM}	
	i^{TM}	$costx^{+TM}, costx^{-TM}$
		$maxx^{+TM}, maxx^{-TM}$
		otros
		${}^{\circ}co_{gpf,d,t}^1$

Tabla 8-31. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia)

8.3.1.1.2 Evaluación de Resultados

8.3.1.1.2.1 Variables de Decisión

Antes de evaluar los resultados del Modelo de Decisión de NDT-CD4, se muestran en el **Anexo A.5.1** los valores más representativos de las **Variables de Decisión** que determinan una solución óptima al mismo.

Hay que reseñar que aunque en la resolución de NDT-CD4 también se incluyen Variables por Interdependencia con CDs inferiores, en este caso desde el punto de vista temporal (NDO-CD6 y NDO-CD4), éstas no se muestran pues simplemente se trata de Variables anticipadas y por tanto su valor final será determinado por aquellos CDs que las consideran como Variables Locales. No obstante, como se verá

¹⁰ No obstante, el valor de dicho parámetro por interdependencia (${}^{\circ}co_{gpf,d,t}^1$) ha sido inventado intentando que sean lo más “realistas” posibles, puesto que el Modelo PLEM de NDT-CD6 no ha sido ni modelado ni por tanto resuelto previamente por no pertenecer a ninguna de las Actividades Decisionales del Sub-Proceso seleccionado inicialmente.

posteriormente, dicha “anticipación” permitirá mejorar el Criterio Total, aunque individualmente éste empeore (en este caso para NDT-CD4).

Otro caso diferente son las Variables por Interdependencia con CDs superiores, las cuáles sí que tendría sentido mostrarlas para NDT-CD4 por no ser anticipadas, aunque en este caso no existen.

8.3.1.1.2.2 Criterio

Una vez mostrados los valores de las Variables de Decisión que optimizan el Modelo de decisión de NDT-CD4, se muestra a continuación dos indicadores para evaluar el mismo: el valor del **Criterio** (subdividido en Criterio Local y Criterio por Interdependencias) y el **Esfuerzo Computacional**.

Hay que reseñar por otra parte que, tal y como se explicó al principio de este capítulo, la RdS/D real analizada se ha simplificado en varios aspectos, por lo que los resultados obtenidos es una mera aproximación más o menos “realista”.

El cuanto al **Criterio**, en este caso está formado por el valor de ingresos y los costes anuales, y por tanto el beneficio anual, el cual se ha maximizado.

En las Tablas 8-32 y 8-33 se realiza, en primer lugar, el desglose detallado tanto del Coste Local como el Coste por Interdependencias, respectivamente.

COSTE LOCAL NDT-CD4						
Tipo de Actividad	Etapas/ Sub-Etapa	AT/AI especifica	Conceptos de Coste incluidos	Valor		
AT	FAB	P2	Mantenimiento de Turnos en Líneas	804000		
			Incrementar un Turno en una Línea	6720		
			Disminuir un Turno en una Línea	3750		
		P1	Mantenimiento en Hornos	1855575		
			Activar Hornos	0		
			Desactivar Hornos	4300		
		T	Capacidad de Transporte entre Almacenes /Centros Logísticos	144800		
		COSTE TOTAL				2819145

Tabla 8-32. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Coste Local (elaboración propia)

COSTE POR INTERDEPENDENCIAS CON CD ^B de NDT- CD4								
CD ^B	NDT/O-CD n°	Tipo de Actividad	Etapas/ Sub-Etapa	AT/AI específica	Conceptos de Coste incluidos	Valor		
CD ^{Bt}	NDO-CD4	AT	PRO	T	Transporte de Materias Primas desde Proveedores/Plantas	83582.1420		
			FAB	A3	Almacenamiento de Materias Primas en Plantas	909250.6277		
				P2	Cambio de Partida de Familias en Lineas	132000		
					Cambio de Partida de Productos Finales en Lineas	669776		
				A2	Almacenamiento de Familias en Plantas	54475.6		
				P1	Cambio de Partida de Familias en Hornos	64293		
					Cambio de Partida de Productos Finales en Hornos	3400837		
				T	Transporte de Familias desde Plantas/Almacenes	245663.1688		
			DIS ¹	A	Almacenamiento de Familias en Almacenes	746086.2547		
			AI	C	Compra de Materias Primas a Proveedores	4203158.7876		
					Subcontratación de Familias a Subcontratistas	1908778.2		
					Diferir Familias en Almacenes	0		
			NDO-CD6	AT	DIS ¹	T	Transporte de Familias desde Almacenes/Centros Logísticos	293206.7048
					DIS ²	A	Almacenamiento de Familias en Centros Logísticos	17741.3591
	AI	V		Diferir Familias en Centros Logísticos	0			
	COSTE TOTAL						12728848.8476	

Tabla 8-33. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Coste por Interdependencias con CD^B (elaboración propia)

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDT4} es de $C_i^{CDT4} = \text{Beneficio Local}^{CDT4} = [\text{Ingresos Locales}^{11} - \text{Costes Locales}] = [0 - 2819145] = \underline{-2819145 \text{ Euros/año}}^{12}$

El Valor del **Criterio por Interdependencias** para Z^{CDT4} es de $C_i^{CDT4} = C_i^{CDT4, Bt} = C_i^{CDT4, CD6/CDO4} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDT4, CD6/CDO4} = [\text{Ingresos por Interdependencia} - \text{Costes por Interdependencia}] = [25031650.5706 - 12728848.8476] = \underline{12302801.723 \text{ Euros/año}}$

En la Tabla 8-34, se refleja finalmente el resultado total obtenido para el Criterio de NDT-CD4.

CRITERIO NDT-CD4	CRITERIO LOCAL	CRITERIO POR INTERDEPENDENCIAS	Total
(Max Beneficios)	-2819145	12302801.723	9483656.723

Tabla 8-34. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Valor del Criterio (elaboración propia)

En cuanto al **Esfuerzo Computacional** para resolver el modelo PLEM asociado a NDT-CD4, éste se muestra en la Tabla 8-35, en la que figuran el nº de iteraciones que se han necesitado para llegar a la solución anterior, el número de variables y de enteros en particular, el número de restricciones, los elementos no nulos de la matriz asociada a las restricciones y su densidad, y finalmente el tiempo de computación utilizado (en sg).

¹¹ Los ingresos locales, en este caso, al pertenecer NDT-CD4 al Nivel Decisional Táctico, serán nulos, ya que estos simplemente se anticipan, y por tanto se consideran como ingresos por Interdependencia, o más bien, formando parte del Criterio por Interdependencias.

¹² Se puede observar como en este caso el beneficio local, al no tener componente “ingresos locales” y únicamente “costes locales” es negativo. Localmente, NDT-CD4 ha intentado “minimizarlo” (en este caso costes ligados a la capacidad), aunque debido a las relaciones de interdependencia con NDO-CD4 y NDO-CD6, éste es mayor que si hubiera sido resuelto miópicamente, en aras de un “beneficio conjunto” mayor.

ESFUERZO COMPUTACIONAL NDT-CD4	
ITERACIONES	268383
VARIABLES	3733
ENTEROS	1452
RESTRICCIONES	4707
NO-CEROS	230650
DENSIDAD	1.3
TIEMPO RESOLUCIÓN	199

Tabla 8-35. Resolución del Modelo PLEM del NDT-CD4: Esfuerzo computacional (elaboración propia)

8.3.1.1.3 Información de Salida: Variables e Información Global

Tal y como se explicó en el 2º bloque de la Metodología (II), del capítulo 6, se explicita únicamente la Información de salida debida a Instrucciones enviadas a CD^B y no la debida a posibles Reacciones frente a Instrucciones recibidas desde CD^T.¹³

De manera análoga a como se hizo para la Información de Entrada, en la Figura 8-22 se ha señalado de color negro aquella que es intercambiada con Actividades Decisionales consideradas explícitamente en el Sub-Proceso seleccionado, es decir, aquellas “activadas” por NDO-CD6 y NDO-CD4 (ambos CD^{Bt}) y de color rojo la intercambiada con el resto de Actividades Decisionales del Proceso con las que tenga algún tipo de interacción, en este caso aquellas activadas por NDT-CD1, NDT-CD2, NDT-CD3, NDT-CD5 (todas ellas CD^{Bc}).

¹³ Aunque si bien en el caso de NDT-CD4 no existe realmente ninguna Reacción.

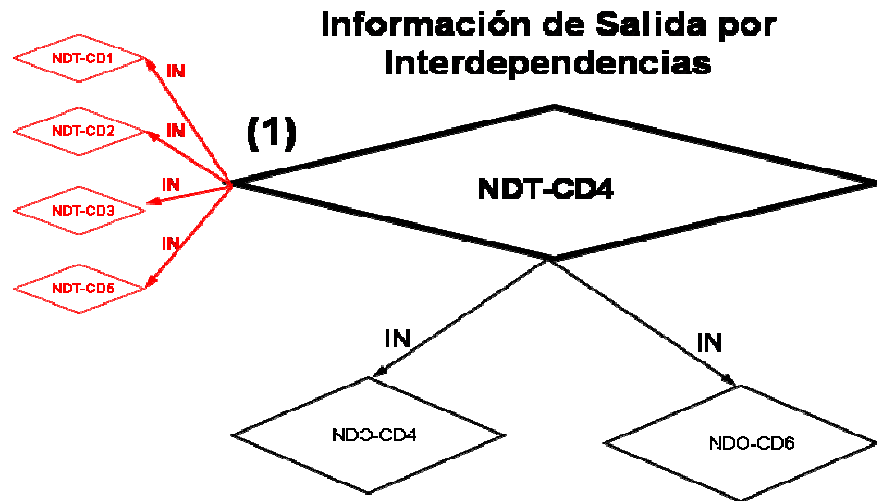


Figura 8-22. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia)

En la Tabla 8-36 se muestra en detalle dicha **Información de Salida por Interdependencias (Instrucciones intercambiadas/enviadas por NDT-CD4)**, la cual es necesaria para que las diferentes Actividades Decisionales que forman parte del Sub-Proceso seleccionado se puedan ejecutar en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso**.

En este caso NDT-CD4 envía dos Instrucciones a NDO-CD4 y NDO-CD6 (CD^{Bt}).

La primera de ellas, la enviada a NDO-CD4 consta por una parte de la Variable Global correspondiente a la capacidad de producción establecida a Nivel Táctico en las diferentes líneas de las plantas ($CPR_{l,t}$), y por otra parte de la Variable Global correspondiente al inventario objetivo de cada familia de productos en cada uno de los almacenes ($IN_{epf,d,t}^1$), complementada por la Información Global referente al coste que supondría a NDO-CD4 desviarse positivamente o negativamente de la misma¹⁴ ($costin_{epf,d,t}^+$, $costin_{epf,d,t}^-$), así como la máxima desviación permitida en ambos casos ($maxin_{epf,d,t}^+$, $maxin_{epf,d,t}^-$).

La segunda de ellas, la enviada a NDO-CD6 consta de la Variable Global correspondiente a la capacidad de transporte establecida a Nivel Táctico entre almacenes y centros logísticos ($CTR_{d1,d2,t}$), complementada por la Información Global referente al coste que supondría desviarse positivamente de la misma ($costctr_{d1,d2,t}^+$) y la máxima desviación permitida ($maxctr_{d1,d2,t}^+$).

Además, aunque en el Subproceso considerado no sería relevante, NDT-CD4 enviaría cuatro Instrucciones más a NDT-CD1, NDT-CD2, NDT-CD3, NDT-CD5 (CD^{Te}).

¹⁴ Realmente la Variable Global enviada por NDT-CD4 quedará reflejada en un Parámetro por Interdependencias en el Modelo PLEM de NDO-CD4, en este caso $^{a}in_{epf,d,t}^1$.

Las Instrucciones enviadas a NDT-CD1, NDT-CD2, NDT-CD3 constarían de la Variable Global correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada materia prima en los diferentes proveedores ($CO_{mp,p,t}$). Por su parte, la Instrucción enviada a NDT-CD5 constaría de la Variable Global correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada familia de productos a las subcontratas ($CO_{gpf,d,t}$). En ningún caso las Variables Globales irían complementadas por Información Global, aunque sí que estarían condicionadas por una anticipación previa.

INFORMACIÓN DE SALIDA/m AD/NDT-CD4		AD/CD ^{Bt}		AD/CD ^{Bc}			
		NDO -CD4	NDO-CD6	NDT-CD1	NDT-CD2	NDT-CD3	NDT-CD5
IN	X^{MB}	$CPR_{l,f,t}$ $IN_{gpf,d1,t}$	$CTR_{d1,d2,t}$	$CO_{mp,p,t}$	$CO_{mp,p,t}$	$CO_{mp,p,t}$	$CO_{gpf,d,t}$
	I^{MB}	$costx^{+MB}$	$costin_{gpf,d1,t}^{+}$	$costctr_{d1,d2,t}^{+}$			
		$costx^{-MB}$	$costin_{gpf,d1,t}^{-}$				
	I^{MB}	$maxx^{+MB}$	$maxin_{gpf,d1,t}^{+}$	$maxctr_{d1,d2,t}^{+}$			
		$maxx^{-MB}$	$maxin_{gpf,d1,t}^{-}$				
	otros						

Tabla 8-36. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 1 (NDT-CD4) (elaboración propia)

8.3.1.2 Resolución NDO-CD6

8.3.1.2.1 Descripción de la Entrada de Datos

8.3.1.2.1.1 Parámetros Locales.

Se indica a continuación la Información de Entrada Local que se ha considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDO-CD6.

Dicha Información se muestra también metodológicamente, al igual que con NDT-CD4, en el **Anexo A.4.2.1.**

En la Figura 8-23 se muestra el **Alcance/Frontera** de NDO-CD6 sobre el cuál se han recogido los distintos Parámetros de Entrada Locales, en este caso ligados a la **Planificación de la Ejecución** de las distintas AT/AIs, por estar ubicado en el **Nivel Decisional Operativo.**

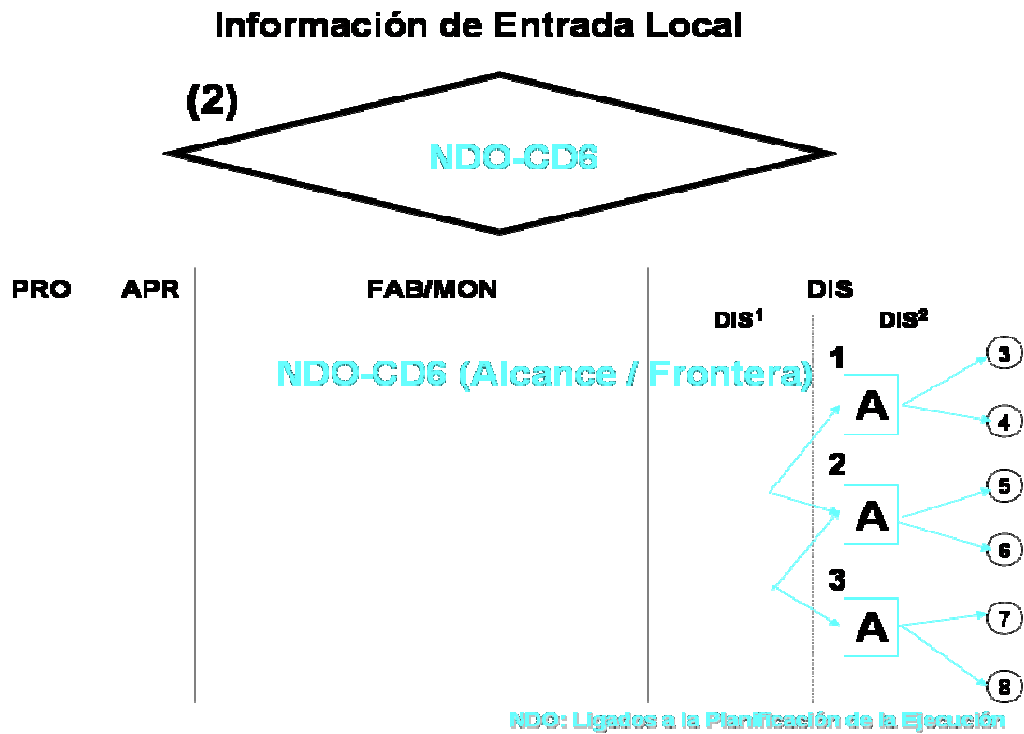


Figura 8-23. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDO-CD6 (elaboración propia)

Respecto a los “**Ítems en general**” se consideran:

- 5 Productos Finales: formato 23.5 x 33 (Fm1: PF1 y PF2), formato 23.5 x 33 Tesela (Fm2: PF3), formato 33 x 44.5 (Fm3: PF4) y formato 25 x 40 (Fm4: PF5).
 - Productos finales (pf= 1...5)

Respecto a los “**Recursos**” se consideran:

- 2 Almacenes Centrales (ó Almacenes): almacén 1 (A11) y almacén 2 (A12).
 - Almacenes ($d^1=1... 2$)
- 3 Centros Logísticos: centro logístico 1 (CL1), centro logístico 2 (CL2) y centro logístico 3 (CL3).
 - Centros Logísticos ($d^2=1... 3$)
- 6 Puntos de Venta: punto de venta 3 (pv3), punto de venta 4 (pv4)...y punto de venta 8 (pv8).
 - Puntos de venta (pv= 3...8)
- 1 Centro de Decisión Táctico perteneciente al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional (cdt =4)
- 1 Centro de Decisión Operativo perteneciente al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional (cdo=4)

Respecto a los “**Períodos de Planificación**” se consideran:

- 4 Períodos de Planificación (ó Períodos): período de planificación 1 (t1), período de planificación 2 (t2)... y período de planificación 4 (t4).
 - Períodos de Planificación (t [semanas]=1...4)

8.3.1.2.1.2 Parámetros por Interdependencia.

Se indica a continuación los Parámetros por Interdependencia que se han considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDO-CD6.

Se han considerado dos tipos básicos: Instrucciones enviadas desde CD^T y Anticipaciones de CD^B.

En la Figura 8-24 se muestran los dos tipos básicos, señalando de color negro aquella que es intercambiada desde Actividades Decisionales consideradas explícitamente en el Sub-Proceso seleccionado, es decir, aquellas “activadas” por NDT-CD4 y NDO-CD4. En este caso no existe información proveniente del resto de Actividades Decisionales del Proceso.

Dicha Información se muestra metodológicamente en el **Anexo A.4.2.2**, en la que se consideran inicialmente los parámetros por Interdependencia provenientes de las Instrucciones enviadas desde CD^T, en este caso de tipo temporal (NDT-CD4) y posteriormente los parámetros por Interdependencia consecuencia de las Anticipaciones de CD^B, en este caso de tipo espacial (NDO-CD4).

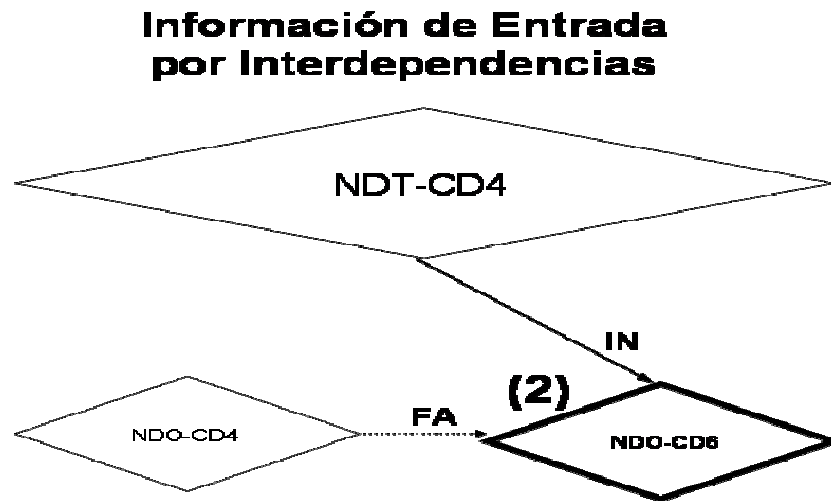


Figura 8-24. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia)

Al igual que se hizo con NDT-CD4, en la Tabla 8-37 se muestra en detalle aquella **información por Interdependencias proveniente de Instrucciones desde CD^T**.

En este caso se recibe una única Instrucción proveniente de NDT-CD4, que incluye tanto el Parámetro por Interdependencias correspondiente a la capacidad de transporte establecida a Nivel Táctico entre almacenes y centros logísticos (${}^{\circ}\text{ctr}_{d1,d2,t}$), proveniente de la Variable Global $\text{CTR}_{d1,d2,t}$, como la Información Global referente al coste que supondría desviarse positivamente de al misma ($\text{costctr}^+_{d1,d2,t}$) y la máxima desviación permitida ($\text{maxctr}^+_{d1,d2,t}$).

Tal y como se argumentó anteriormente, en NDO-CD6 únicamente se han considerado 5 productos finales, los cuales suponen aproximadamente un 10 % de la capacidad de transporte total, por lo que el parámetro por Interdependencias que derivaría de la Variable Global $\text{CTR}_{d1,d2,t}$ sería ${}^{\circ}\text{ctr}_{d1,d2,t} * 0.1$.

INFORMACIÓN DE ENTRADA/m AD/NDO-CD6		AD/CD ^{T1}	
		AD/NDT-CD4	
IN	i TM	x TM	${}^{\circ}\text{ctr}_{d1,d2,t} * 0.1$
		costx ⁺ _{d1,d2,t}	costctr ⁺ _{d1,d2,t}
		maxx ⁺ _{d1,d2,t}	maxctr ⁺ _{d1,d2,t}
		otros	

Tabla 8-37. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia)

8.3.1.2.2 Evaluación de Resultados

8.3.1.2.2.1 Variables de Decisión

Antes de evaluar los resultados del Modelo de Decisión de NDO-CD6, se muestran en el **Anexo A.5.2** los valores más representativos de las Variables de Decisión que determinan una solución óptima al mismo.

En este caso, además de las Variables Locales, y a diferencia de NDT-CD4, sí que existen Variables por Interdependencia con CDs superiores, las cuáles sí que tiene sentido mostrarlas para NDT-CD4 por no ser anticipadas.

8.3.1.2.2.2 Criterio

Una vez mostrados los valores de las Variables de Decisión que optimizan el Modelo de decisión de NDO-CD6, se muestra a continuación cuál sería el valor del **Criterio**, subdividido igualmente en Criterio Local y por Criterio por Interdependencias.

El Criterio en este caso, al igual que con NDT-CD4, también está formado por el valor de ingresos y costes, aunque en este caso mensuales, pues lo que se ha maximizado es el beneficio mensual.

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

En las Tablas 8-38 y 8-39 se realiza, en primer lugar, el desglose detallado tanto del Coste Local como el Coste por Interdependencias, respectivamente, si bien en este último sólo se ha considerado el Coste con relación a CD^T.

COSTE LOCAL de NDO-CD6				
Tipo de Actividad	Etapas/ Sub-Etapa	AT/AI específica	Conceptos de Coste incluidos	Valor
AT	DIS ¹	T	Transporte de Productos Finales desde Almacenes/Centros Logísticos	1982.2192
			Fijos de Transporte desde Almacenes/Centros Logísticos	5500
	DIS ²	A	Almacenamiento de Productos Finales en Centros Logísticos	302.4275
		T	Transporte de Productos Finales desde Centros Logísticos/Tiendas	452.0170
AI		C	Compra de Productos Finales en Almacenes	27248.0956
		V	Diferir Productos Finales en Tiendas	127.5926
COSTE TOTAL				35612.3519

Tabla 8-38. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Coste Local (elaboración propia)

COSTE POR INTERDEPENDENCIAS con CD^T de NDO-CD6				
CD^T	NDT/O-CD n°	Variable Global	Coste por Desviación +/-	Valor
CD ^{Tt}	NDT-CD4	Capacidad de Transporte entre Almacenes/Centros Logísticos	Desviación positiva	102.5420
COSTE TOTAL				102.5420

Tabla 8-39. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Coste por Interdependencias (elaboración propia)

Capítulo 8. Aplicación de la Metodología propuesta en una Red de Suministro/Distribución concreta del Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDO6} es de $C_i^{CDO6} = \text{Beneficio Local}^{CDO6} = [\text{Ingresos Locales} - \text{Costes Locales}] = 38220.7140 - 35612.3518 = \underline{2608.3622 \text{ Euros/mes}}$

El Valor del **Criterio por Interdependencias** para Z^{CDO6} es de $C_i^{CDO6} = C_i^{CDO6,T} - C_i^{CDO6,Tt} = C_i^{CDO6,CDT4} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDO6,CDT4} = [\text{Ingresos por Interdependencia} - \text{Costes por Interdependencia}]^{CDO6,CDT4} = [0 - 102.5420] = \underline{-102.542 \text{ Euros/mes}}$

En la Tabla 8-40 se refleja finalmente el resultado total obtenido para el Criterio de NDO-CD6.

CRITERIO NDO- CD6	CRITERIO LOCAL	CRITERIO POR INTERDEPENDENCIAS	Total
(Max Beneficios)	2608.3622	-102.542	2585.8201

Tabla 8-40. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Valor del Criterio (elaboración propia)

En cuanto al **Esfuerzo Computacional** para resolver el modelo PLEM asociado a NDO-CD6, éste se muestra en la Tabla 8-41, de idénticas características a la descrita para NDT-CD4.

ESFUERZO COMPUTACIONAL NDO-CD6	
ITERACIONES	396
VARIABLES	636
ENTEROS	64
RESTRICCIONES	676
NO-CEROS	1635
DENSIDAD	0,4
TIEMPO RESOLUCIÓN	0.08

Tabla 8-41 Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD6: Esfuerzo computacional (elaboración propia)

8.3.1.2.3 Información de Salida: Variables e Información Global

Al igual que con NDT-CD4, en la Figura 8-25 se muestra únicamente la Información de salida debida a Instrucciones intercambiadas con CD^B .

Se ha señalado de color negro aquella que es intercambiada con Actividades Decisionales consideradas explícitamente en el Sub-Proceso seleccionado, en este caso solo una, aquella “activada” por NDO-CD4 (CD^{Bc}).

Información de Salida por Interdependencias

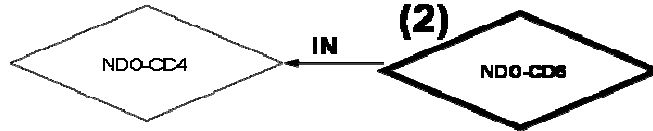


Figura 8-25. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia)

En la Tabla 8-42 se muestra en detalle dicha **Información de Salida por Interdependencias (Instrucciones intercambiadas/enviadas por NDO-CD6)**, la cual es necesaria para que las diferentes Actividades Decisionales que forman parte del Sub-Proceso seleccionado se puedan ejecutar en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso**.

En este caso ND0-CD6 envía una única Instrucción a NDO-CD4 (CD^{Be}), la cual constaría de la Variable Global correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada producto final en los diferentes almacenes ($CO_{pf,d,t}^1$). En este caso no existe Información Global, aunque sí que existe una anticipación previa por parte de NDO-CD6.

INFORMACIÓN DE SALIDA/m AD/NDO-CD6		AD/CD ^{Be}	
		NDO-CD4	
IN	I ^{MB}	X^{MB}	$CO_{pf,d,t}^1$
		$costx^{+MB}, costx^{-MB}$	
		$maxx^{+MB}, maxx^{-MB}$	
		otros	

Tabla 8-42. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 2 (NDO-CD6) (elaboración propia)

8.3.1.3 Resolución NDO-CD4

8.3.1.3.1 Descripción de la Entrada de Datos

8.3.1.3.1.1 Parámetros Locales.

Se indica a continuación la Información de Entrada Local que se ha considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDO-CD4.

Dicha Información se muestra también metodológicamente, al igual que con NDT-CD4 y NDO-CD6, en el **Anexo A.4.3.1**.

En la Figura 8-26 se muestra el **Alcance/Frontera** de NDO-CD4 sobre el cuál se han recogido los distintos Parámetros de Entrada Locales, en este caso ligados a la **Planificación de la Ejecución** de las distintas AT/AIs (al igual que con NDO-CD6), por estar ubicado en el **Nivel Decisional Operativo**.

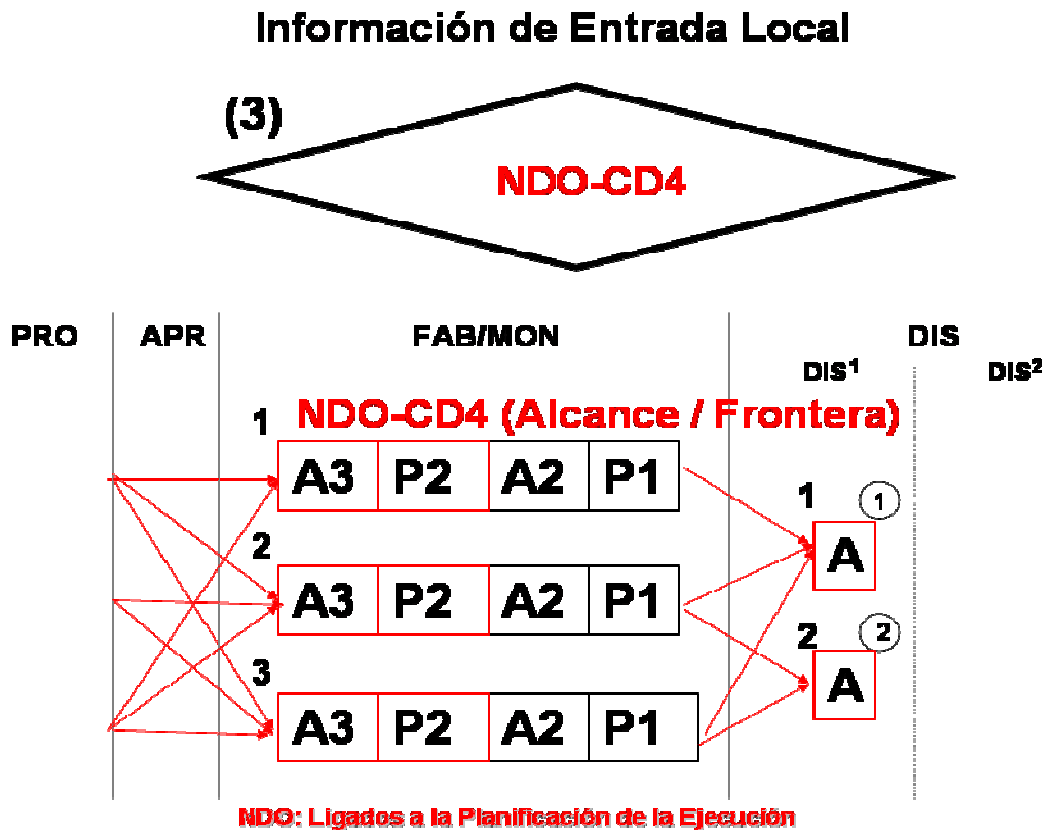


Figura 8-26. Información de Entrada Local (Parámetros Locales) de NDO-CD4 (elaboración propia)

Respecto a los “**Ítems en general**” se consideran:

- 6 Materias Primas: pasta blanca (PastaBlanca1 y PastaBlanca2), pasta roja (PastaRoja) y esmalte (Esmalte1, Esmalte2 y Esmalte3).
 - Materia prima (mp=1...6)
- 5 Productos Finales: formato 23.5 x 33 (Fm1: PF1 y PF2), formato 23.5 x 33 Tesela (Fm2: PF3), formato 33 x 44.5 (Fm3: PF4) y formato 25 x 40 (Fm4: PF5).
 - Productos finales (pf= 1...5)

Respecto a los “**Recursos**” se consideran:

- 3 Proveedores de Materia Prima (ó ProvMP): planta N3 (ProvPastaBlanca), planta N4 (ProvPastaRoja) y planta N1 (ProvEsmalte)
 - Proveedores ($p=1\dots3$)
- 1 Subcontrata (ó ProvPF): planta N6 (ProvCW)
 - Subcontratas ($s=1$)
- 3 Plantas (ó Plantas Productivas): planta N7.1 (P11), planta N7.2 (P12) y planta N8 (P13)
 - Plantas ($f=1\dots3$)
- 7 Líneas (ó Líneas de Fabricación): línea 1 (LP1), línea 2 (LP2)... y línea 7 (LP7).
 - Líneas ($l=1\dots7$)
- 2 Almacenes Centrales (ó Almacenes): almacén 1 (A11) y almacén 2 (A12).
 - Almacenes ($d^1=1\dots 2$)
- 2 Puntos de Venta: punto de venta 1 (pv1) y punto de venta 2 (pv2).
 - Puntos de venta ($pv= 1\dots2$)
- 1 Centros de Decisión Táctico perteneciente al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional ($cdt =4$)
- 6 Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional
 - Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional ($cdo =1,2,3,5,6,7$)

Respecto a los “**Períodos de Planificación**” se consideran:

- 4 Períodos de Planificación (ó Períodos): período de planificación 1 (t1), período de planificación 2 (t2)... y período de planificación 4 (t4).
 - Períodos de Planificación ($t [\text{semanas}]=1\dots4$)

8.3.1.3.1.2 *Parámetros por Interdependencia.*

Se indica a continuación los Parámetros por Interdependencia que se han considerado para la resolución/validación individual del Modelo PLEM asociado a NDO-CD4.

Se han considerado dos tipos básicos: Instrucciones enviadas desde CD^T y Anticipaciones de CD^B .

En la Figura 8-27 se muestran los dos tipos básicos, señalando de color negro aquella que es intercambiada desde Actividades Decisionales consideradas explícitamente en el Sub-Proceso seleccionado, es decir, aquellas “activadas” por NDT-CD4 y NDO-CD6 y de color rojo la proveniente del resto de Actividades Decisionales del Proceso con las que tenga algún tipo de interacción.

Dicha Información se muestra metodológicamente en el **Anexo A.4.3.2**, en la que se consideran inicialmente los parámetros por Interdependencia provenientes de las Instrucciones enviadas desde CD^T , en este caso tanto de tipo temporal (NDT-CD4), como espacial (NDO-CD6 y NDO-CD7) y posteriormente los parámetros por Interdependencia consecuencia de las Anticipaciones de CD^B , en este caso de tipo espacial (NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3 y NDO-CD5).

Información de Entrada por Interdependencias

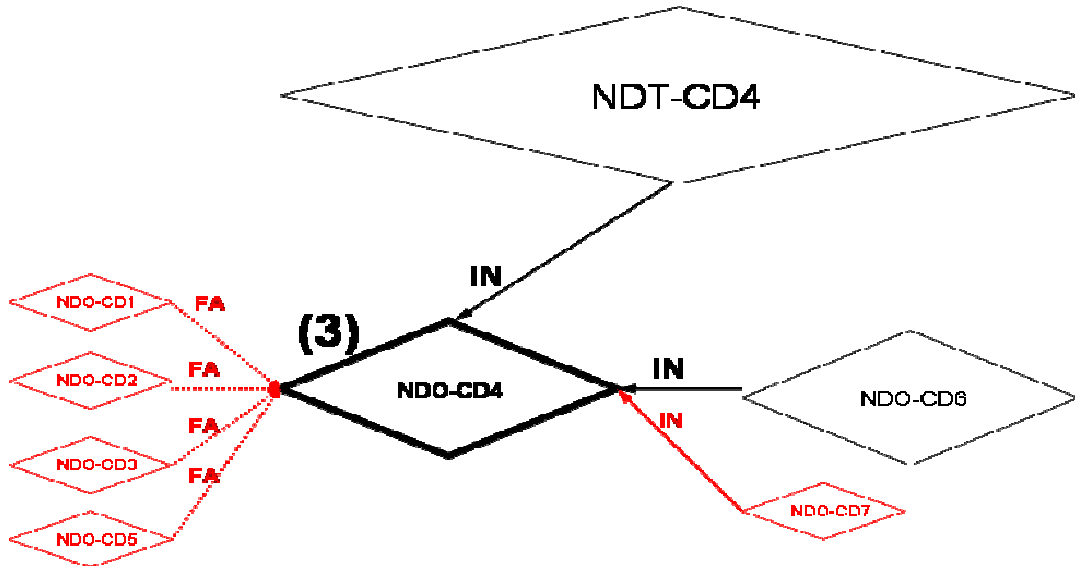


Figura 8-27. Información de Entrada/M por Interdependencias de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia)

Al igual que se hizo con NDT-CD4 y NDO-CD6, en la Tabla 8-43 se muestra en detalle aquella **información por Interdependencias proveniente de Instrucciones desde CD^T**.

En este caso se reciben varias Instrucciones tanto de CD^{Tt} como de CD^{Te}.

En cuanto a CD^{Tt}, el NDT-CD4 envía una Instrucción que incluye el Parámetro por Interdependencias correspondiente a la capacidad de producción establecida a Nivel Táctico en las diferentes Líneas de las Plantas (${}^{\circ}cpr_{l,t}$), proveniente de la Variable Global $CPR_{dt,d2,t}$, y el parámetro por Interdependencias correspondiente al Inventario objetivo de cada familia de productos en cada uno de los almacenes (${}^{\circ}in_{gpf,d,t}$), proveniente de la Variable Global $IN_{gpf,d,t}$. Además, esta última también viene acompañada de la Información Global referente al coste que supondría desviarse positivamente o negativamente de la misma ($costin^+_{gpf,d,t}$, $costin^-_{gpf,d,t}$), así como de la máxima desviación permitida en ambos casos ($maxin^+_{gpf,d,t}$, $maxin^-_{gpf,d,t}$).

En cuanto a CD^{Te}, el NDO-CD6 envía una Instrucción que incluye el Parámetro por Interdependencias correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada producto final en los almacenes (${}^{\circ}co_{pfd,t}$), proveniente de la Variable Global $CO_{pfd,t}$. Por otra parte, el NDO-CD7 envía una Instrucción que incluye el Parámetro por Interdependencias correspondiente, de manera análoga al

anterior, a la cantidad objetivo de compras de cada producto final en los almacenes (${}^{\circ}\text{co}_{\text{pf},d^1,t}$), proveniente de la Variable Global $\text{CO}_{\text{pf},d^1,t}$.¹⁵

Tal y como se argumentó anteriormente, en NDO-CD4, al igual que NDO-CD6, únicamente se han considerado 5 productos finales, los cuales suponen aproximadamente un 10 % de la capacidad de producción total, por lo que el parámetro por Interdependencias que derivaría de la Variable Global $\text{CPR}_{d1,d2,t}$ sería ${}^{\circ}\text{cpr}_{d1,d2,t} * 0.1$.

Asimismo, el parámetro por Interdependencias que derivaría de la Variable Global $\text{IN}_{\text{gpf},d^1,t}$ sería ${}^{\circ}\text{in}_{\text{gpf},d^1,t} * \text{porc}_{\text{gpf}}$, siendo este último parámetro el porcentaje de productos finales de cada familia que se han considerado de cada una de ellas.

INFORMACIÓN DE ENTRADA/m AD3-CD ^M			AD/CD ^{Tt}		
			AD/NDT-CD4	AD/CD ^{Te}	
			AD/NDO-CD6	AD/NDO-CD7	
IN	x^{TM}		${}^{\circ}\text{cpr}_{1,f,t} * 0.1$ ${}^{\circ}\text{in}_{\text{gpf},d^1,t} * \text{porc}_{\text{gpf}}$	${}^{\circ}\text{co}_{\text{pf},d^1,t}$	${}^{\circ}\text{co}_{\text{pf},d1,t}$
	i^{TM}	$\text{costin}^+_{\text{gpf},d1,t}$	$\text{costin}^+_{\text{gpf},d^1,t}$		
		$\text{costin}^-_{\text{gpf},d1,t}$	$\text{costin}^-_{\text{gpf},d^1,t}$		
		$\text{maxin}^+_{\text{gpf},d1,t}$	$\text{maxin}^+_{\text{gpf},d^1,t}$		
		$\text{maxin}^-_{\text{gpf},d1,t}$	$\text{maxin}^-_{\text{gpf},d^1,t}$		
otros					

Tabla 8-43. Información de Entrada/m de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4)
(elaboración propia)

8.3.1.3.2 Evaluación de Resultados

8.3.1.3.2.1 Variables de Decisión

Antes de evaluar los resultados del Modelo de Decisión de NDO-CD4, se muestran en el **Anexo A.5.3** los valores más representativos de las Variables de Decisión que determinan una solución óptima al mismo.

Se incluyen en primer lugar las Variable Locales y seguidamente, al igual que con NDT-CD6, las Variables por Interdependencia con CDs superiores.

¹⁵ No obstante, el valor de dicho parámetro por interdependencia (${}^{\circ}\text{co}_{\text{pf},d^1,t}$) ha sido inventado, puesto que el Modelo PLEM de NDO-CD7 no ha sido ni modelado ni por tanto resuelto previamente por no pertenecer a ninguna de las Actividades Decisionales del Sub-Proceso seleccionado inicialmente.

8.3.1.3.2.2 Criterio

Una vez mostrados los valores de las Variables de Decisión que optimizan el Modelo de decisión de NDO-CD4, se muestra a continuación cuál sería el valor del **Criterio**, subdividido igualmente en Criterio Local y por Criterio por Interdependencias. El Criterio en este caso, es análogo al NDO-CD6, también formado por el valor de ingresos y costes mensuales y por tanto maximizado el beneficio mensual.

En las Tablas 8-44 y 8-45 se realiza, en primer lugar, el desglose detallado tanto del Coste Local como el Coste por Interdependencias, respectivamente, si bien en este último, al igual que con NDO-CD6, sólo se ha considerado el Coste con relación a CD^T.

COSTE LOCAL NDO-CD4				
Tipo de Actividad	Etapas/ Sub-Etapa	AT/AI específica	Conceptos de Coste incluidos	Valor
AT	PROV	T	Transporte desde Proveedores/Plantas	610.8601
	FAB	A3	Almacenamiento de Materias Primas en Plantas	226.0018
		P2	Producción en Líneas	78996.1368
			Cambio de Partida de Familias	33000
			Cambio de Partida de Productos	3297
			Horas Extra en Líneas	1093.8171
		T	Transporte desde Plantas/Almacenes	2587.2207
	DIS ¹	A	Almacenamiento de Productos Finales en Almacenes	11469.2642
AI	C	Compra de Materias Primas a Proveedores	50661.5166	
		Compra de Productos Finales a Subcontrata	1021.1751	
	V	Diferir Productos Finales en Almacenes	0	
COSTE TOTAL				182962.9923

Tabla 8-44. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Valor del Coste Local (elaboración propia)

COSTE POR INTERDEPENDENCIAS con CD ^T de NDO-CD4				
CD ^T	NDT/O-CD n°	Variable Global	Coste por Desviación +/-	Valor
CD ^{Tt}	NDT-CD4	Inventario de Familias en los Almacenes	Desviación positiva	0
			Desviación negativa	293.1791
			COSTE TOTAL	293.1791

Tabla 8-45. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4º: Valor del Coste por Interdependencias (elaboración propia)

A partir de las Tablas anteriores se ha obtenido el valor del Criterio Total y por Interdependencias:

El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDO4} es de $C_1^{CDO4} = \text{Beneficio Local}^{CDO4} = [\text{Ingresos Locales} - \text{Costes Locales}] = 218031.5196 - 182962.9923 = \underline{35068.5273 \text{ Euros/mes}}$

El Valor del **Criterio por Interdependencias** para Z^{CDO4} es de $C_1^{CDO4} = C_1^{CDO4,T} = C_1^{CDO4,Tt} = C_1^{CDO4,CDT4} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDO4,CDT4} = [\text{Ingresos por Interdependencia} - \text{Costes por Interdependencia}]^{CDO6,CDT4} = [0 - 293.1791] = \underline{-293.1791 \text{ Euros/mes}}$

En la Tabla 8-46 se refleja finalmente el resultado total obtenido para el Criterio de NDO-CD4.

CRITERIO NDO- CD4	CRITERIO LOCAL	CRITERIO POR INTERDEPENDENCIAS	Total
(Max Beneficios)	35068.5273	-293.1791	34775.3482

Tabla 8-46. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Valor del Criterio (elaboración propia)

En cuanto al **Esfuerzo Computacional** para resolver el modelo PLEM asociado a NDO-CD4, éste se muestra en la Tabla 8-47, de idénticas características a la descritas para NDT-CD4 y NDO-CD6.

ESFUERZO COMPUTACIONAL NDO-CD6	
ITERACIONES	350
VARIABLES	912
ENTEROS	1512
RESTRICCIONES	872
NO-CEROS	2591
DENSIDAD	0.3
TIEMPO RESOLUCIÓN	0.08

Tabla 8-47. Resolución del Modelo PLEM del NDO-CD4: Esfuerzo computacional (elaboración propia)

8.3.1.3.3 Información de Salida: Variables e Información Global

De igual forma que con NDT-CD4 y NDO-CD6, en la Figura 8-28 se muestra únicamente la Información de salida debida a Instrucciones intercambiadas con CD^B.

En este caso se ha señalado de color rojo la intercambiada con el resto de Actividades Decisionales del Proceso con las que tenga algún tipo de interacción, aun no perteneciendo éstas al Sub-Proceso seleccionado, en este caso aquellas activadas por NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3, NDO-CD5 (todas ellas CD^{Bc}).

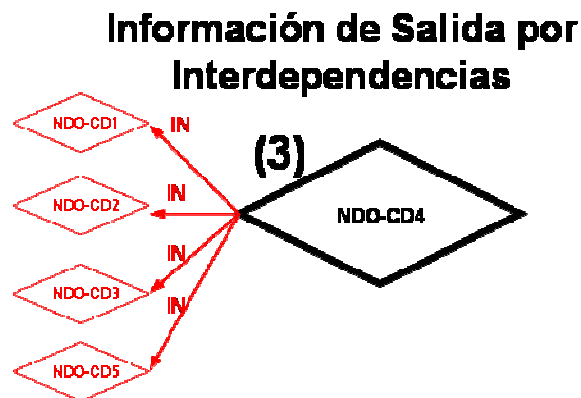


Figura 8-28. Información de Salida/M por Interdependencias de la Actividad Decisiva 3 (NDO-CD4) (elaboración propia)

En la Tabla 8-48 se muestra en detalle dicha **Información de Salida por Interdependencias (Instrucciones intercambiadas/enviadas por NDO-CD4)**, la cual es necesaria para que las diferentes

Actividades Decisionales que forman parte del Sub-Proceso seleccionado se puedan ejecutar en la **secuencia determinada en el Modelado del Proceso.**

En este caso NDO-CD4 enviaría cuatro Instrucciones a NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3, NDO-CD5 (CD^{Te}).

Las Instrucciones enviadas a NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3 constarían de la Variable Global correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada materia prima en los diferentes proveedores ($CO_{mp,p,t}$). Por su parte, la Instrucción enviada a NDT-CD5 constaría de la Variable Global correspondiente a la cantidad objetivo de compras de cada producto final a las subcontratas ($CO_{pf,d,t}$). En ningún caso las Variables Globales irían complementadas por Información Global, aunque sí que estarían condicionadas por una anticipación previa.

INFORMACIÓN DE SALIDA/m AD3/NDT-CD4			AD/CD ^{Be}			
			NDO-CD1	NDO-CD2	NDO-CD3	NDO-CD5
IN	X^{MB}		$CO_{mp,p,t}$	$CO_{mp,p,t}$	$CO_{mp,p,t}$	$CO_{pf,d,t}$
	I ^{MB}	$costx^{+MB}, costx^{-MB}$				
		$maxx^{+MB}, maxx^{-MB}$				
		otros				

Tabla 8-48. Información de Salida/m de la Actividad Decisional 3 (NDO-CD4) (elaboración propia)

8.3.2 Evaluación de Resultados “integrada” (AS-IS) del Sub-Proceso formado por NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4

Una vez resueltos los Modelos de Decisión de los distintos Centros de Decisión correspondientes a las distintas Actividades Decisionales del Sub-Proceso analizado (NDT-CD4, NDO-CD6 y NDO-CD4) y **evaluados de manera individual** los resultados de los mismos, en este segundo y último paso se evalúa cuál sería la **evaluación/cuantificación integrada** de dicho Sub-Proceso, a partir del cálculo de dos parámetros de rendimiento, Criterio Total, Tiempo de Resolución Total y Robustez del Proceso.

Para ello, según se describió en el 2º bloque de la Metodología (II) del capítulo 6, se ha de:

1. Resolver el Modelo de Decisión correspondiente al NDT-CD4 (ó CDT4), es decir, Z^{CDT4}

2. Obtener el **Valor del Criterio Local** (C_i^{CDT4}) y el del **Criterio por Interdependencias con CD^T** ($C_i^{CDT4,T}$) de Z^{CDT4} .¹⁶
 - a. El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDT4} es de C_i^{CDT4} = Beneficio Local CDT4 (para 1º mes y un 10% de los productos) = $- 1/12 * 0.1 * [\text{Ingresos Locales} - \text{Costes Locales}] = 1/12 * 0.1 * [0 - 2819145] = - 23492.875 \text{ Euros/mes}$
 - b. El Valor del **Criterio por Interdependencias con CD^T** obtenido para Z^{CDT4} es de $C_i^{CDT4,T}$ = Beneficio Interdependencias $^{CDT4, T}$ (para 1º mes y un 10% de los productos) = **0 Euros/mes.**
3. Resolver el Modelo de Decisión correspondiente al NDO-CD6 (CDO6), es decir, Z^{CDO6}
4. Obtener el **Valor del Criterio Local** (C_i^{CDO6}) y el del **Criterio por Interdependencias con CD^T** ($C_i^{CDO6,T}$) de Z^{CDO6} .
 - a. El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDO6} es de C_i^{CDO6} = Beneficio Local CDO6 = $[\text{Ingresos Locales} - \text{Costes Locales}] = 38220.7140 - 35612.3518 = \mathbf{2608.3622 \text{ Euros/mes}}$
 - b. El Valor del **Criterio por Interdependencias con CD^T** obtenido para Z^{CDO6} es de $C_i^{CDO6,T} = C_i^{CDO6,Tt} = C_i^{CDO6,CDT4} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDO6,CDT4} = \mathbf{-102.5420 \text{ Euros/mes}}$
5. Resolver el Modelo de Decisión correspondiente al NDO-CD4 (CDO4), es decir, Z^{CDO4}
6. Obtener el **Valor del Criterio Local** (C_i^{CDO4}) y el del **Criterio por Interdependencias con CD^T** ($C_i^{CDO4,T}$) de Z^{CDO4} .
 - a. El Valor del **Criterio Local** obtenido para Z^{CDO4} es de C_i^{CDO4} = Beneficio Local CDO4 = $[\text{Ingresos} - \text{Costes Locales}] = 218031.5196 - 182962.9923 = \mathbf{35068.5273 \text{ Euros/mes}}$
 - b. El Valor del **Criterio por Interdependencias con CD^T** obtenido para Z^{CDO4} es de $C_i^{CDO4,T} = C_i^{CDO4,Tt} = C_i^{CDO4,CDT4} = \text{Beneficio Interdependencias}^{CDO4,CDT4} = \mathbf{-293.1791 \text{ Euros/mes.}}$
7. Obtener el Valor del **CRITERIO TOTAL** (C^{total}), como consecuencia de la resolución/evaluación de los Modelos de Decisión anteriores.

¹⁶ Si bien en el 2º bloque de la Metodología (II) descrita en el capítulo 6, se señaló que no tenía sentido considerar el Criterio por Interdependencias con CD^T para el CD asociado a la Actividad Decisional 1, en este caso sí que se contempla porque se ha considerado un sub-proceso, y su Actividad Decisional 1 (en este caso ligada al NDT-CD4), sí que puede recibir Instrucciones por parte de CD^T.

- a. El Valor del **CRITERIO TOTAL** obtenido es $C^{total} = C^{CDT4,CDO6,CDO4} = C_1^{CDT4} + C_1^{CDO6} + C_1^{CDO4} + C_1^{CDO6,T} + C_1^{CDO4,T} = C_1^{CDT4} + C_1^{CDO6} + C_1^{CDO4} + C_1^{CDO6,Tt} + C_1^{CDO4,Tt} = C_1^{CDT4} + C_1^{CDO6} + C_1^{CDO4} + C_1^{CDO6,CDT4} + C_1^{CDO4,CDT4} = -23492,875 + 2608,3622 + 35068,5273 - 102.5420 - 293.1791 = \mathbf{13788.2934 \text{ Euros/mes.}}$
8. Obtener el Valor del **TIEMPO DE RESOLUCIÓN TOTAL** (T^{total}), como consecuencia de la resolución/evaluación de los Modelos de Decisión anteriores.
- b. El Valor del **TIEMPO DE RESOLUCIÓN TOTAL** obtenido es $T^{total} = T^{CDT4,CDO6,CDO4} = T^{CDT4} + T^{CDO6} + T^{CDO4} = 199 + 0.08 + 0.08 = \mathbf{199.16 \text{ sg.}}$
9. Obtener el Valor de la **CONSISTENCIA TOTAL** (CO^{total}), como consecuencia de la resolución/evaluación de los Modelos de Decisión anteriores.
- a. El Valor de la **CONSISTENCIA TOTAL** obtenido es $CO^{total} = CO^{CDT4,CDO6,CDO4}$ (en valor absoluto) $= C_1^{CDT4} + C_1^{CDO6} + C_1^{CDO4} / C_1^{CDT4} + C_1^{CDO6} + C_1^{CDO4} + C_1^{CDO6,CDT4} + C_1^{CDO4,CDT4} = 23492.875 + 2608.3622 + 68068.5273 / 23492.875 + 2608.3622 + 35068.5273 + 102.5420 + 293.1791 = \mathbf{0.9958}$
- b. Como $CO < 1$ significa que:
- i. En el cómputo del C^{total} sí que ha existido cierto componente debido al Criterio por Interdependencias respecto a CD^T , aunque en este caso no tiene mucho peso respecto al CRITERIO TOTAL y por tanto existe bastante probabilidad que el C^{total} sea el calculado/previsto anteriormente.

8.4 Conclusiones

El objetivo de este capítulo ha sido la **aplicación de la Metodología propuesta** en los capítulos 5 y 6, basada a su vez en el **Marco propuesto** en el capítulo 4. Dicha aplicación se ha realizado sobre el **Proceso de Planificación de Operaciones actual (AS-IS) de una Red de Suministro/Distribución concreta**, descrito, en su mayor parte, en el capítulo anterior.

Para ello, el capítulo se ha desglosado en tres partes: una primera en la que se aplica la primera parte de la Metodología (Metodología I) para el modelado (conceptual) del Proceso de Planificación Colaborativa en la RdS/D analizada previamente, una segunda donde se aplica la segunda parte de la Metodología (Metodología II), y más concretamente su primer bloque, para el modelado determinista basado en Programación Matemática (PLEM) de dicho Proceso y finalmente una tercera donde se aplica el segundo bloque para la resolución/evaluación integrada del mismo.

No obstante, debido a la gran magnitud de la RdS/D analizada en el capítulo anterior, se han realizado una serie de simplificaciones que tienen como objetivo facilitar la aplicación de la Metodología, sobre todo en lo que respecta a la resolución/evaluación del Modelado mediante Programación

Matemática (PLEM) del Proceso de Planificación Colaborativa de dicha RdS/D. Dichas simplificaciones se señalaron al principio del capítulo.

En la **primera parte** se ha aplicado la **Metodología (I)**, cuyo **objetivo** ha sido la obtención de un **Modelo (conceptual) del Proceso**, identificando cada una de las Actividades Decisionales que formaban parte del mismo. Además, dicho Modelo “integra” otros aspectos además de los puramente decisionales (Sub-Visión Macro-Decisional), ya que cada una de las Actividades Decisionales es “realizada” por un decisor (Centro de Decisión), el cuál toma ciertas decisiones tácticas/operativas que afectan a las distintas operaciones (Visión Física) de la RdS/D (Alcance), y qué posteriormente deberán ejecutarse/controlarse por las distintas partes organizativas (Centros Organizacionales) consideradas en la Visión Organizacional. Además el Modelo del Proceso “integra” además algo crucial tratándose del Proceso de Planificación de Operaciones en un contexto Colaborativo, como es la Información de Entrada y Salida por Interdependencias de cada una de las Actividades Decisionales (Visión Informacional).

Desde el **punto de vista práctico** cabría destacar que la propia descripción mejorada del Proceso de Planificación de Operaciones de la RdS/D realizada en el capítulo 7, ha facilitado la definición de las diferentes Visiones, y en particular, la Sub-Visión Macro-Decisional. En dicho Proceso claramente se distinguía entre el Nivel Táctico, en el que se realizaban Planes Agregados, y el Nivel Operativo (o Táctico-Operativo) en el que se realizaban Planes Maestros.

Además, fue sencillo la **definición de los Centros de Decisión** en cada uno de los Niveles Táctico-Operativo, puesto que ya se había hecho un trabajo previo consultando a los “planificadores” sobre qué operaciones específicas tomaban sus decisiones, y por tanto cuál era el Alcance en su Toma de Decisiones. En algunos casos se propuso (como posibilidad de mejora) una mayor centralización de las mismas, fundamentalmente a Nivel Táctico entre Etapa de Fabricación y Distribución mediante los Centros Logísticos, lo cual era factible puesto que pertenecían al mismo Grupo Empresarial.

En cuanto a la **definición de las Relaciones de Interdependencia** entre los Centros de Decisión anteriores, ya fue un poco más complicado, porque en muchas de las ocasiones o no se consideraban o bien se consideraban implícitamente. Sin embargo, el propio esfuerzo de modelado, como ya se ha apuntado, implicó que se hiciera un esfuerzo por considerar explícitamente los dos tipos de integración, temporal y espacial. En cuanto a la primera, la temporal, si bien ya se consideraba (elaboración de Planes Agregados y Maestros), hubo que mejorarla/adaptarla con la inclusión de algunos aspectos apuntados en el capítulo anterior y en éste, que facilitaba la inter-conexión de dichos planes. En cuanto a la espacial, también hubo que hacer ese esfuerzo por considerarla explícitamente. En algunos de los casos se “supuso” cierto grado de interdependencia, pues la Metodología (I) recogía numerosos parámetros y atributos para su caracterización.

En la **segunda y tercera parte** del capítulo se ha aplicado la **Metodología (II)**, el primer y segundo bloque, respectivamente. El **objetivo** ha sido el **modelado determinista basado en**

Programación Matemática (PLEM) de dicho Proceso y la resolución/evaluación integrada del mismo.

Para ello ha sido de gran ayuda el Modelo integrado del Proceso obtenido anteriormente y por supuesto, todos los aspectos analíticos desarrollados en el Marco del capítulo 4, fundamentalmente en lo que respecta a la Sub-Visión Micro-Decisional.

En este sentido, se considera una **aportación** no sólo la propia **Metodología**, con la que se logra modelar matemáticamente el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, sino también, su propia **Aplicación**, en este caso a empresas del Sector Cerámico. Los **Modelos basados en PLEM** obtenidos finalmente, tanto considerados aisladamente o inter-relacionados entre sí (como es el caso de la presente Tesis) han resultado bastante **complejos y “realistas”**, debido en gran parte a que había un Marco y una Metodología para construirlos.

No obstante, el ámbito de aplicación de la Metodología (II) no ha sido la totalidad del Proceso anteriormente modelado mediante la Metodología (I), sino que se ha desarrollado en un **“subproceso” del mismo, formado por tres Actividades Decisionales**, y en particular aquellas a las que están asociadas tres de los Centros de Decisión más importantes. Esto no sólo se ha debido a razones de simplicidad, sino que se ha debido fundamentalmente a la falta de datos más concretos (a nivel Micro) en algunas Empresas de la RdS/D estudiada. Por tanto, finalmente se consideró suficiente considerar un Centro de Decisión que (después de las “mejoras” propuestas) centralizaba a Nivel Táctico operaciones de Fabricantes y Centros Logísticos (Alemany y otros, 2009) y dos Centros de Decisión a Nivel Operativo con los mismos actores que dependían entre sí y del anterior (Alemany y otros, 2011a). Esta simplificación está justificada porque sigue incluyendo tanto integración temporal como espacial.

Además, aún se hizo una última simplificación, que afectaba únicamente a los CDs ubicados en el Nivel Operativo, que hacía referencia al número de productos finales que integraban cada familia. Esto se realizó no por facilitar el modelado, sino por la posterior resolución/evaluación de los Modelos matemáticos obtenidos, asociados a cada uno de los tres Centros de Decisión seleccionados y por disminuir la cantidad de información manejada en las bases de datos. Al igual que la anterior, esta simplificación también fue posible por el hecho de que la Metodología (II) (en su 2º bloque) simplemente pretende resolver/validar individualmente cada uno de los Modelos PLEM asociados a los distintos CDs seleccionados y proceder a la evaluación/cuantificación del Proceso (Sub-Proceso en este caso) en su estado de Colaboración actual. Lo único que fue importante tener en cuenta al hacer esta simplificación, y por tanto se justificó y modificó, fue que las Instrucciones enviadas desde el Centro de Decisión ubicado en el Nivel Táctico habían sido calculadas para la totalidad de los productos, como por ejemplo la “capacidad normal instalada mensualmente en las Líneas de Fabricación de los diferentes Fabricantes”. Además en algunas de las familias, a nivel operativo, se consideró más de un producto para poder validar todas aquellas “partes” de los Modelos que hacían referencia a la desagregación de Familias y los

diferentes tiempos y costes de cambios de partida tanto de familias como de los productos finales dentro de una misma familia.

Reseñar también que, por acotar el contenido de la presente Tesis, en este último capítulo la **Metodología** propuesta **únicamente se ha aplicado a la situación actual “mejorada” (AS-IS)** del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D, a través del Modelado integrado (conceptual) del Proceso y su Modelado basado en PLEM y posterior resolución/evaluación a través de los tres parámetros de rendimiento (Criterio Total, Tiempo de Resolución Total y Robustez del Proceso) definidos.

No obstante, como ya se ha mencionado en numerosas ocasiones, la **Metodología facilita el modelado de diferentes escenarios “colaborativos”** y su posterior **resolución/evaluación** (Pérez y Alemany, 2012), con cambios que afectarán en menor o mayor profundidad a cualquiera de las Visiones y por tanto en dicho modelado, tanto conceptual como analítico (basado en PLEM).

También apuntar que casi paralelamente al desarrollo de la Metodología, algunos investigadores pertenecientes al mismo Proyecto de Investigación, en continuo feed-back con el tesitando han ido desarrollando una primera versión de una **Herramienta informática** que de soporte y automatice todo lo que describe en la misma (Alemany y otros, 2011b).

Finalmente señalar, que para el **modelado matemático** se ha utilizado el lenguaje **“MPL V4.2”** y para su **resolución** el solver **“Gurobi Optimization 4.5.1”**. Los **datos de entrada y valores de las Variables de Decisión** se han gestionado mediante **“Microsoft Access database (2002)”**. La resolución se ha llevado a cabo en un PC con un procesador de **2.40 GHz y 2 GB de RAM**.

Con este capítulo 8 finaliza la parte de aplicación de este Tesis. El próximo capítulo 9 será el último, en el que se realiza un resumen del trabajo realizado, se analizan las principales conclusiones obtenidas y se citan las principales líneas de investigación detectadas.

8.5 Bibliografía

Alemany, M.M.; Alarcón, F.; Lario, F.C.; Boj, J.J. (2009). “Planificación agregada en cadenas de suministro del sector cerámico”. III Internacional Conference on Industrial Engineering y Industrial Management.

Alemany, M.M.; Boj, J.J.; Mula, J.; Lario, F.C. (2011a). “Mathematical programming model for centralised master planning in ceramic tile supply chains”. International Journal of Production Research, Vol. 48, pp. 5053-5074.

Alemany, M.M.; Alarcón, F.; Lario, F.C.; Boj, J.J. (2011b). “An application to support the temporal and spatial distributed decision-making process in supply chain collaborative planning”. Computers in Industry, Vol. 62, pp. 519-540.

Pérez D.; Alemany, M.M. (2012). “Mathematical Programming Models for Master Planning in ceramic tile Supply Chains. Evaluation and comparison of distributed and centralised scenarios”. XXV European Conference on Operational Research, Vilnius, Lituania.

9 . Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación

9.1	Introducción.....	5
9.2	Conclusiones	6
9.2.1	Generales.....	6
9.2.2	Particulares.....	7
9.3	Líneas Futuras de Investigación.....	10
9.4	Bibliografía	11

9.1 Introducción.

En este primer apartado se identifican los aspectos más destacables de la presente Tesis en su fase inicial, durante el período de tiempo dedicado a la definición de la problemática abordada en la misma.

Debido al perfil del que realiza la presente Tesis y sus tutores, y de las líneas de investigación en las que estos desempeñan fundamentalmente sus actividades, la Tesis inicialmente tuvo un carácter marcadamente cuantitativo, ya que se empezó por analizar qué Modelos analíticos (fundamentalmente basados en Programación Matemática) existían en la literatura ligados a temas de Planificación.

En primera instancia se analizaron Modelos uni-empresa, la mayoría de ellos Modelos tradicionales de Planificación de Producción, y posteriormente se extendió a Modelos multi-empresa, en la que se analizaron Modelos de Planificación de Operaciones en Redes de Suministro/Distribución (RdS/D) en general. Estos últimos Modelos son los que finalmente se iban a abordar en detalle, pues ya existía una RdS/D concreta, perteneciente al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos, con la cual se colaboraba en el mismo Proyecto de Investigación titulado “Metodología Jerárquica en contexto de incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena-Red de Suministro / Distribución. Aplicación al sector cerámico” (DPI2004-06916-C02-01), que tenía como objetivo general analizar su proceso de Planificación de Operaciones (más o menos colaborativo).

Después de un extensivo análisis del Estado del Arte, se pudo comprobar dos hechos que fueron fundamentales para el progreso de la Tesis.

Por una parte se constató como una mayoría de Modelos de Programación Matemática desarrollados en el marco de la Planificación Colaborativa para RdS/D, asumen una **toma de decisiones centralizada** (Erenguç y otros, 1999), aplicada a RdS/D con distintos grados de complejidad. Únicamente algunos trabajos tenían en cuenta la toma de decisiones descentralizada, aunque aplicados a RdS/D con estructuras sencillas, alejadas en muchos casos de la realidad.

Por otra parte, y muy ligada a la primera, se constató la ausencia de Modelos de Programación Matemática que sean fácilmente extrapolables a otras situaciones (que no sean **únicamente válidos para situaciones concretas**), y que “contengan” toda la complejidad que subyace en la realidad. Además, y muy ligado a este segundo hecho, se suele obviar la manera en la que se han formulado dichos Modelos, por lo que se hace difícil su modificación ante los distintos “cambios” que puedan surgir. En la mayoría de trabajos no aparece todo el estudio previo a su formulación, lo cual dificulta enormemente la comprensión de los mismos.

Respecto al primer hecho, un análisis de la realidad lleva a afirmar que en una gran mayoría de casos se da una toma de decisiones que no es centralizada, sino **descentralizada/distribuida** (Schneweiss,

2003), en la que intervienen distintas partes con diferentes objetivos y disponibilidad de información. En este contexto, además de definir correctamente el Modelo de Programación Matemática de cada una de las partes, resulta de especial relevancia establecer los **mecanismos de coordinación** entre ellas para lograr un cierto nivel de rendimiento de la RdS/D.

Esta coordinación puede ser necesaria tanto a nivel **temporal**, entre decisores situados a diferentes niveles temporales de toma de decisiones (estratégico, táctico u operativo) como a nivel espacial (entre decisores en diferentes etapas de la RdS/D). Con respecto a la integración temporal, la filosofía de planificación jerárquica de la producción resuelve este tema pero, fundamentalmente, para el caso uniempresa. En relación a la integración **espacial**, son pocos los trabajos que combinan la programación matemática con la toma de decisiones distribuida. Pero, todavía son más escasas las investigaciones que aborden ambos tipos de **integración de manera simultánea** (Schneweiss y otros, 2003).

Respecto al segundo hecho, la propia realidad, en ocasiones compleja, reclama que se acorte esa **gran distancia aún existente entre el Proceso de Planificación Colaborativa real de una RdS/D cualquiera y su modelado analítico**, en particular mediante Programación Matemática. Primeramente ha de abordarse (a nivel Macro) qué aspectos importantes intervienen en dicho Proceso (actividades decisionales y secuencia de ejecución, productos/recursos sobre los que se toman las decisiones, información de entrada y salida...) y posteriormente como plantear los Modelos analíticos basados en Programación Matemática que den soporte a los “decisores” que realizarán la Toma de Decisiones en cada una de dichas Actividades Decisionales.

A continuación se citan las principales conclusiones que se derivan de la presente Tesis, todas ellas basadas en los dos hechos mencionados anteriormente. Además, se citan algunas otras que han ido apareciendo para dar solución a algunos de los problemas surgidos durante el progreso de la misma.

En primer lugar se citan las conclusiones a nivel general (resumido) y posteriormente las conclusiones a un nivel más detallado.

9.2 Conclusiones

9.2.1 Generales

Desde el punto de vista más **general**, en la presente Tesis se ha propuesto un **Marco** y posteriormente una **Metodología** que, basada en el mismo, se pueda utilizar para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en contextos reales de Redes de Suministro/Distribución, tanto para contextos centralizados como descentralizados/distribuidos.

Dicho modelado se ha efectuado desde dos perspectivas, en primer lugar, **conceptualmente**, para el desarrollo de **Modelos integrados de dicho Proceso** y en segundo lugar, **analíticamente**, para el desarrollo de **Modelos basados en Programación Matemática (PLEM)** de ayuda a la Toma de

Decisiones en el conjunto de Actividades Decisionales (de Planificación) que forman parte de dicho Proceso.

Dicha Metodología detalla explícitamente cómo **ejecutar/evaluar** estos últimos Modelos para valorar **cuantitativamente** el desempeño actual (**AS-IS**) de la RdS/D, así como posibles escenarios futuros (**TO-BE**). Además, la Metodología sirve de soporte para la **implementación de las diferentes decisiones obtenidas en el sistema físico**, en este caso RdS/D.

Finalmente, la **aplicación práctica** se ha implementado en una RdS/D perteneciente al **Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos**. Cabe resaltar en dicha implementación, **los Modelos PLEM obtenidos**, en los cuales se ha sabido “plasmarse”, incluso mejorar, toda la **complejidad subyacente a la realidad**.

9.2.2 Particulares

Desde un punto de vista más **detallado**, se ha propuesto:

En primer lugar un Marco que describe de manera ordenada todos los elementos necesarios para el Modelado del Proceso de Planificación de Operaciones de RdS/D, y en particular, el desarrollado en contextos colaborativos.

Las principales **aportaciones** de este **Marco** han sido:

- incluir cuatro **Visiones** diferentes y sus interrelaciones: **Física, Organizacional, Decisional e Informativa**.
 - Si bien la Visión Decisional ha sido la más importante, ésta se ha visto complementada por el resto de Visiones, lo cual facilita el desarrollo de **Modelos integrados del Proceso**, totalmente versátiles y aplicables a cualquier contexto, por muy complejo que éste sea.
- considerar simultáneamente dos tipos de **interdependencias**, propias de contextos colaborativos, como son las de tipo **Temporal** y **Espacial**.
 - El Marco permite la definición de diferentes Niveles de Decisión (más específicamente Táctico y Operativo). En cada Nivel la Planificación puede estar Centralizada (un único Centro de Decisión) o Distribuida (varios Centros de Decisión). Por otra parte, dichos Centros de Decisión (CDs) están sujetos a dos tipos de Interdependencia, Temporal (entre CDs pertenecientes a diferentes Niveles Decisionales) y Espacial (entre CDs pertenecientes al mismo Nivel Decisional), caracterizadas por un conjunto de parámetros/atributos.

- incluir no sólo aspectos puramente conceptuales que faciliten el **Modelado integrado del Proceso**, sino también todos aquellos aspectos analíticos que faciliten su **Modelado Analítico**, y en particular, Modelos basados en **Programación Matemática**.

En segundo lugar, se ha desarrollado una Metodología, que teniendo en cuenta las indicaciones y contenidos del Marco anterior, detalla los pasos a seguir, en una primera parte, para el **Modelado integrado del Proceso** de Planificación de Operaciones (Colaborativo) en una RdS/D y en una segunda parte para su **Modelado analítico basado en Programación Matemática**, estando esta última totalmente ligada a la primera.

Las principales **aportaciones** de esta **Metodología** han sido:

- Indicar de manera detallada los pasos a seguir para el **Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de una forma integrada**, utilizando la Visión Decisional como aquella más importante, pero influenciada por el resto de Visiones, ya que las Actividades Decisionales (de Planificación) actúan sobre unos recursos (Visión Física) estructurados organizacionalmente (Visión Organizacional) y que utilizan cierta información (Visión Informacional). La inclusión de las diferentes Visiones resultará claramente enriquecedor, ya que se logrará tener una Visión Integrada tanto del Proceso como de cada una de las Actividades Decisionales que lo conforman, lo cual redundará finalmente en la obtención de Modelos mucho más realistas.
- Servir de guía en el análisis del Entorno Decisional de cada uno de los **Centros de Decisión** asociados a cada una de las Actividades Decisionales previamente identificadas o más concretamente en el **análisis de las Relaciones de Interdependencia de tipo Temporal y Espacial**.
- Indicar de manera explícita los pasos a seguir para obtener **Modelos analíticos de optimización, basados en Programación Matemática**, en cada uno de los Centros de Decisión asociados a cada una de las Actividades Decisionales identificadas en el Modelado del Proceso anterior. Dichos Modelos se verán afectados estructuralmente por ciertos componentes “colaborativos” como consecuencia del Entorno Decisional en el que se encuentren inmersos, o lo que es lo mismo por las Relaciones de Interdependencia que pueden originarse en escenarios descentralizados/distribuidos.
 - Para formular los Modelos se ha asumido un contexto de **Certidumbre** (Modelos Deterministas basados en **Programación Lineal Entera-Mixta - PLEM**), doblemente **Jerárquico** (temporalmente y espacialmente), de solo **un ciclo Instrucción-Reacción**, y **Organizacional** (se busca optimizar un “criterio conjunto”, no existiendo por tanto información utilizada de manera oportunista). Todo ello considerando **asimetría en la información** y la utilización de distintos **mecanismos de coordinación**.

- Indicar de manera detallada los pasos para **resolver/evaluar los diferentes Modelos PLEM** teniendo en cuenta el Modelado previo del Proceso, en el que se establecía la secuencia de ejecución de cada una de las Actividades Decisionales que formaban parte del mismo, y la Información por Interdependencias intercambiada. Lo anterior permitirá **evaluar cuantitativamente el grado de Planificación Colaborativa actual (AS-IS) de la RdS/D**, en base a tres parámetros definidos, **Criterio Total, Tiempo de Computación Total y Consistencia Total**.
- Servir de soporte para la implementación en el sistema físico de las decisiones obtenidas a partir de la resolución de los Modelos PLEM de los Centros de Decisión asociados a las Actividades Decisionales.
 - La interconexión de las distintas Visiones establecida en el Modelado integrado del Proceso facilita la conexión entre la Visión Decisional, la Organizacional y la Física, de manera que los Centros de Decisión transmiten las decisiones tomadas a los Centros Organizacionales, los cuales, en última instancia, son los responsables de implementarlas en los distintos elementos del sistema físico.
- Servir de base para el planteamiento/simulación de manera ordenada e intuitiva de **diferentes escenarios de Planificación Colaborativa** en base a la modificación de ciertos elementos y valorar/medir su impacto (**análisis cuantitativo de la situación TO-BE**), de forma que se puedan saber “a priori” los beneficios resultantes de una mayor colaboración.
 - El planteamiento de dichos escenarios puede implicar cambios más o menos profundos, como por ejemplo la modificación de algunos elementos de la Visión Física (aumentando por ejemplo el número de Nodos), o de la Visión Decisional (cambiando los mecanismos de Coordinación entre los diferentes Centros de Decisión identificados, variando desde su secuencia de ejecución ó los flujos de información intercambiados entre los mismos), etc.

En tercer y último lugar, y desde un punto de vista práctico, se ha implementado dicho Marco / Metodología en una RdS/D concreta perteneciente al Sector de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos.

En este sentido, se considera una **aportación** no sólo el propio Marco y la Metodología, con la que se logra modelar matemáticamente el Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, sino también, su propia **Aplicación**. Los Modelos basados en PLEM obtenidos finalmente, tanto considerados aisladamente o inter-relacionados entre sí (como es el caso de la presente Tesis) han resultado bastante complejos y “realistas”, y pueden servir de “benchmarking” para trabajos posteriores. Tal y como se comentó en el capítulo 1, uno de los principales objetivos de la Tesis era que la propia realidad fuese la que llevara a su Modelado Matemático y no viceversa.

9.3 Líneas Futuras de Investigación

A lo largo de la realización de la Tesis, se han tenido que acotar algunas partes de la misma, para que ésta no se hiciera interminable. Por tanto, es importante en este último apartado señalar cuáles son las principales limitaciones o aspectos no abordados en la presente Tesis, y seguidamente, posibles Líneas de Investigación que podrían llevarse a cabo en el futuro.

A continuación se describen dichas limitaciones ó aspectos no abordados y posibles Líneas de investigación que podrían considerarse:

- Si bien el Marco propuesto en la Tesis, contiene los suficientes aspectos/elementos para poder modelar analíticamente cualquier Proceso de Planificación Colaborativa en una RdS/D, la Metodología propuesta sólo es válida para el modelado analítico en contextos específicos, y en particular aquellos cuya toma de decisiones se basa en modelos deterministas de programación matemática (PLEM), que se desarrollan en contextos jerárquicos, como máximo con único ciclo Instrucción-Reacción y organizacionales.
 - Una futura línea de investigación podría ir ligada a la **generalización de dicha Metodología de forma que pueda utilizarse para el Modelado Analítico en general y en cualquier escenario de colaboración.**
- Si bien la incertidumbre sí que puede considerarse, sólo puede hacerse bien a través de cambios en los parámetros locales y por interdependencias, y la simulación de nuevos escenarios de planificación, o bien a través del análisis de sensibilidad obtenido a partir de la resolución de los Modelos PLEM.
 - Una futura línea de investigación podría ir ligada a la **inclusión explícita de la incertidumbre en el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de la RdS/D.** Dependiendo de qué tipo de enfoque basado se utilice en la inclusión explícita de la incertidumbre, la Metodología puede resultar válida. Por ejemplo si se utiliza un enfoque de modelado fuzzy, éste puede ser transformado en su equivalente determinista, y por tanto ser formulado, resuelto y evaluado a través de la Metodología propuesta. En la actualidad, ya se está intentando utilizar dicho enfoque de modelado fuzzy en su aplicación al sector de pavimentos y revestimientos cerámicos.
- Si bien se ha aplicado la Metodología propuesta para el modelado mediante programación matemática, resolución y evaluación del grado de Planificación Colaborativa actual (AS-ÍS) de una RdS/D concreta, no se han considerado posibles escenarios diferentes de Colaboración (TO-BE).

- Una futura línea de investigación podría ir ligada a la “**simulación**” de **diferentes escenarios de Planificación Colaborativa** (TO-BE) de manera que puedan compararse “cuantitativamente”. El análisis de dichos escenarios podrá afectar indistintamente (con mayor o menor profundidad) a cualquiera de las Visiones Física, Organizacional o Decisional, y por ende a la Informacional. Por ejemplo sería interesante valorar de forma exhaustiva cómo afecta al desempeño común de la Rds/D utilizar diferentes mecanismos de coordinación (combinando distintos grados de Anticipación e Información Global formando parte de las Instrucciones). En la última etapa de la Tesis, ya se “simularon” algunos escenarios, aunque estos no forman parte de la misma (Pérez y Alemany, 2012).
- Si bien en la parte final del desarrollo de la Metodología propuesta, se ha ido desarrollando una primera versión de una Herramienta informática que de soporte a la misma (Alemany y otros, 2011)¹, ésta aún se puede perfeccionar más.
 - Una futura línea de investigación podría ir ligada al perfeccionamiento y puesta a punto de dicha **Herramienta informática, de forma que contemple todo lo que describe la Metodología a la cual da soporte**. El usuario de dicha Herramienta recogería primero toda la información necesaria para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa en la Rds/D a partir de la descripción de las distintas Visiones (Física, Organizacional y Decisional) y posteriormente dicha información se utilizaría de soporte al usuario para desarrollar Modelos basados en Programación Matemática (MPM) de ayuda a la Toma de Decisiones en cada uno de los Centros de Decisión identificados (asociados a cada una de las Actividades Decisionales del Proceso). Finalmente, y siguiendo la secuencia de ejecución establecida en el Modelado del Proceso, se podrían resolver los distintos MPM, y evaluar cuantitativamente el grado de Planificación Colaborativa actual, así como posibles escenarios alternativos de colaboración.

9.4 Bibliografía

Alemany, M.M.; Alarcón, F.; Lario, F.C.; Boj, J.J. (2011b). “An application to support the temporal and spatial distributed decision-making process in supply chain collaborative planning”. *Computers in Industry*, Vol. 62, pp. 519-540.

Erengüc, S.; Simpson, N.; Vakharia, A. (1999). “Integrated production-distribution planning in supply chains: and invited review”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp 219-236.

¹ Los autores de dicha Herramienta informática (versión inicial) pertenecían al mismo Proyecto de Investigación que el tesitando, y por tanto existió un continuo feed-back.

Pérez D.; Alemany, M.M. (2012). “Mathematical Programming Models for Master Planning in ceramic tile Supply Chains. Evaluation and comparison of distributed and centralised scenarios”. XXV European Conference on Operational Research, Vilnius, Lituania.

Schneeweiss, Ch. (2003), “Distributed decision making in supply chain management”. International Journal of Production Economics, Vol 84, pp. 71-83.

Schneeweiss, Ch.; Zimmer K.; Zimmermann, M. (2003). “The design of contracts to coordinate operational interdependencies within the supply chain”. International Journal of Production Economics, Vol 92, pp. 43-59.

Anexos

A.1	Caracterización cualitativa detallada de cada uno de los CDs seleccionados.	13
A.1.1	Nivel Decisional Táctico - Centro de Decisión 4.....	13
A.1.1.1	Sub-Visión Micro-Decisional.....	13
A.1.1.1.1	Características Temporales.....	13
A.1.1.1.2	¿Qué tipos de Decisiones se toman?.....	13
A.1.1.1.2.1	Variables de Decisión Locales.....	13
A.1.1.1.2.2	Variables de Decisión por Interdependencia.....	14
A.1.1.1.3	¿Cuáles son los objetivos?.....	17
A.1.1.1.3.1	Criterio Local.....	17
A.1.1.1.3.2	Criterio por Interdependencias.....	18
A.1.1.1.4	¿Qué limitaciones existen?.....	20
A.1.1.1.4.1	Campo de Decisión Local.....	20
A.1.1.1.4.2	Campo de Decisión por Interdependencias.....	22
A.1.1.2	Visión Informacional (Micro).....	27
A.1.1.2.1	¿Cuál es la información de entrada?.....	27
A.1.1.2.1.1	Parámetros Locales.....	27
A.1.1.2.1.2	Parámetros por Interdependencia.....	29
A.1.2	Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 6.....	33
A.1.2.1	Sub-Visión Micro-Decisional.....	33
A.1.2.1.1	Características Temporales.....	33
A.1.2.1.2	¿Qué tipo de decisiones se toman?.....	33
A.1.2.1.2.1	Variables de Decisión Locales.....	33
A.1.2.1.2.2	Variables de Decisión por Interdependencia.....	34
A.1.2.1.3	¿Cuáles son los objetivos?.....	34
A.1.2.1.3.1	Criterio Local.....	34
A.1.2.1.3.2	Criterio por Interdependencias.....	35
A.1.2.1.4	¿Qué tipo de limitaciones existen?.....	35
A.1.2.1.4.1	Campo de Decisión Local.....	35
A.1.2.1.4.2	Campo de Decisión por Interdependencias.....	37
A.1.2.2	Visión Informacional (Micro).....	37
A.1.2.2.1	¿Cuál es la información de entrada?.....	37
A.1.2.2.1.1	Parámetros Locales.....	37
A.1.2.2.1.2	Parámetros por Interdependencia.....	38
A.1.3	Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 4.....	39
A.1.3.1	Sub-Visión Micro-Decisional.....	39
A.1.3.1.1	Características Temporales.....	39
A.1.3.1.2	¿Qué tipo de decisiones se toman?.....	39

A.1.3.1.2.1	Variables de Decisión Locales.....	39
A.1.3.1.2.2	Variables de Decisión por Interdependencia.....	40
A.1.3.1.3	¿Cuáles son los objetivos?.....	41
A.1.3.1.3.1	Criterio Local.....	41
A.1.3.1.3.2	Criterio por Interdependencias.....	42
A.1.3.1.4	¿Cuáles son las limitaciones?.....	42
A.1.3.1.4.1	Campo de Decisión Local.....	42
A.1.3.1.4.2	Campo de Decisión por Interdependencias.....	45
A.1.3.2	Visión Informacional (Micro).....	46
A.1.3.2.1	¿Cuál es la información de entrada?.....	46
A.1.3.2.1.1	Parámetros Locales.....	46
A.1.3.2.1.2	Parámetros por Interdependencia.....	48
A.2	Formulación detallada de los Modelos PLEM de cada uno de los CDs	
seleccionados.....	.....	49
A.2.1	Nivel Decisional Táctico - Centro de Decisión 4.....	49
A.2.1.1	PLEM - Parte de Definición (I).....	49
A.2.1.1.1	Indices.....	49
A.2.1.1.2	Conjuntos.....	50
A.2.1.2	PLEM - Parte de Definición (II).....	53
A.2.1.2.1	Variables de Decisión.....	53
A.2.1.2.2	Parámetros.....	57
A.2.1.3	PLEM - Parte de Modelado.....	63
A.2.1.3.1	Criterio.....	63
A.2.1.3.2	Campo de Decisión.....	67
A.2.2	Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 6.....	75
A.2.2.1	PLEM - Parte de Definición (I).....	75
A.2.2.1.1	Indices.....	75
A.2.2.1.2	Conjuntos.....	76
A.2.2.2	PLEM - Parte de Definición (II).....	78
A.2.2.2.1	Variables de Decisión.....	78
A.2.2.2.2	Parámetros.....	79
A.2.2.3	PLEM - Parte de Modelado.....	81
A.2.2.3.1	Criterio.....	81
A.2.2.3.2	Campo de Decisión.....	82
A.2.3	Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 4.....	85
A.2.3.1	PLEM - Parte de Definición (I).....	85

A.2.3.1.1	Indices.....	85
A.2.3.1.2	Conjuntos.....	86
A.2.3.2	PLEM - Parte de Definición (II).....	88
A.2.3.2.1	Variables de Decisión.....	88
A.2.3.2.2	Parámetros.....	90
A.2.3.3	PLEM - Parte de Modelado.....	93
A.2.3.3.1	Criterio.....	93
A.2.3.3.2	Campo de Decisión.....	95
A.3	Herramientas empleadas para el Modelado y Resolución de los diferentes Modelos.	99
A.3.1	Estructura de las Bases de Datos.....	100
A.3.1.1	Base de Datos asociada a CDT4.....	101
A.3.1.2	Base de Datos asociada a CDO6 y CDO4.....	102
A.3.2	Ficheros MPL.....	104
A.3.2.1	Estructura general.....	104
A.3.2.2	Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDT4.....	105
A.3.2.3	Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDO6.....	120
A.3.2.4	Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDO4.....	124
A.4	Parámetros de Entrada de los Modelos.....	133
A.4.1	Modelo PLEM asociado a CDT4.....	133
A.4.1.1	Parámetros Locales.....	133
A.4.1.2	Parámetros por Interdependencia.....	140
A.4.2	Modelo PLEM asociado a CDO6.....	180
A.4.2.1	Parámetros Locales.....	180
A.4.2.2	Parámetros por Interdependencia.....	192
A.4.3	Modelo PLEM asociado a CDO4.....	196
A.4.3.1	Parámetros Locales.....	196
A.4.3.2	Parámetros por Interdependencia.....	213
A.5	Evaluación de Resultados de los Modelos: Variables de Decisión.....	223
A.5.1	Modelo PLEM asociado a CDT4.....	223
A.5.2	Modelo PLEM asociado a CDO6.....	237
A.5.3	Modelo PLEM asociado a CDO4.....	256

Índice de Figuras

Figura I. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (I): Índices.....	50
Figura II.. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (I): Conjuntos	53
Figura III. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (II): Variables de Decisión	57
Figura IV. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (II): Parámetros	63
Figura V. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Modelado: Criterio	67
Figura VI. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Modelado: Campo de Decisión.....	75
Figura VII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (I): Indices.....	76
Figura VIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (I): Conjuntos.....	78
Figura IX. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (II): Variables de Decisión	79
Figura X. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (II): Parámetros.....	81
Figura XI. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Modelado: Criterio	82
Figura XII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Modelado: Campo de Decisión	85
Figura XIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (I): Indices.....	86
Figura XIV. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (I): Conjuntos.....	88
Figura XV. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (II): Variables de Decisión	90
Figura XVI. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (II): Parámetros.....	93
Figura XVII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Modelado: Criterio	95
Figura XVIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Modelado: Campo de Decisión.....	99

Índice de Tablas

Tabla I. Coeficiente de mermas de cada grupo de productos finales.....	133
Tabla II. Coeficiente de 1ª calidad de cada grupo de productos finales.....	134
Tabla III. Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada grupo de productos finales.	134
Tabla IV. Peso (kg) por m ² de cada grupo de productos finales.	134
Tabla V. Capacidad normal disponible por turno de cada línea de fabricación en cada planta.	135
Tabla VI. Número de turnos en cada línea de fabricación de cada planta al inicio del primer periodo.	135
Tabla VII. Número máximo de turnos en cada línea de fabricación de cada planta.	136
Tabla VIII. Coste de mantener un turno en cada línea de fabricación en cada planta.	136
Tabla IX. Coste de incrementar un turno en una línea de fabricación de una planta.	137
Tabla X. Coste de reducir un turno en una línea de fabricación de una planta.	137
Tabla XI. Número de periodos congelados en la reconsideración de las decisiones sobre capacidad productiva.....	137
Tabla XII. Capacidad máxima (por período) de producción de cada horno de cada planta.....	138
Tabla XIII. Coste de mantener activo un horno de una planta por periodo de “npe”.	138
Tabla XIV. Coste de activar un horno de una planta.	138
Tabla XV. Coste de desactivar un horno de una planta.	139
Tabla XVI. Capacidad máxima de almacenamiento de cada almacén.....	139
Tabla XVII. Coste fijo de transporte por vehículo ² que se “contrata” para el trayecto entre cada almacén y cada centro logístico.....	139
Tabla XVIII. Número máximo de vehículos disponibles entre cada almacén y cada centro logístico.	140
Tabla XIX. Capacidad máxima de almacenamiento en cada centro logístico.	140
Tabla XX. Cantidad requerida de compras “objetivo” de cada grupo de productos finales en el segundo almacén por parte del centro de decisión táctico 6 en cada periodo.....	142
Tabla XXI. Coste de transporte de las materia primas desde cada proveedor a cada planta.....	143
Tabla XXII. Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.	144
Tabla XXIII. Coste unitario de almacenamiento de cada materia prima en cada planta.....	145
Tabla XXIV. Inventario inicial de cada materia prima en cada planta.	146
Tabla XXV. Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.	147
Tabla XXVI. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.	148
Tabla XXVII. Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.	149

Tabla XXVIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.....	150
Tabla XXIX. Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.....	151
Tabla XXX. Lote mínimo de fabricación de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.....	152
Tabla XXXI. Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.....	153
Tabla XXXII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada planta.....	154
Tabla XXXIII. Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada planta.....	154
Tabla XXXIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada planta.....	155
Tabla XXXV. Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	155
Tabla XXXVI. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	156
Tabla XXXVII. Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	156
Tabla XXXVIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	157
Tabla XXXIX. Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	158
Tabla XL. Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.....	158
Tabla XLI. Porcentaje deseado de productividad de cada horno de cada planta.....	159
Tabla XLII. Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada planta a cada almacén.....	159
Tabla XLIII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada almacén.....	160
Tabla XLIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada almacén.....	160
Tabla XLV. Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor con respecto a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.....	161
Tabla XLVI. Coste de compra/subcontratar cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.....	161
Tabla XLVII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de Venta.....	162
Tabla XLVIII. Demanda de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada punto de venta en cada periodo.....	166
Tabla XLIX. Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los almacenes a cada punto de venta.....	166
Tabla L. Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta.....	167

Tabla LI. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión perteneciente a Entorno Decisional comprador.....	167
Tabla LII. Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico.	168
Tabla LIII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada centro logístico.....	169
Tabla LIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.....	170
Tabla LV. Demanda de cada grupo de productos finales en cada centro logístico por parte de cada grupo de puntos de venta en cada periodo.....	176
Tabla LVI. Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los centros logísticos a cada grupo de puntos de venta	177
Tabla LVII. Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.....	178
Tabla LVIII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.....	178
Tabla LIX. Capacidad de ventas (anual) de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor”	179
Tabla LX. Lote mínimo de ventas de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.....	179
Tabla LXI. Capacidad de ventas (anual) de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor”.....	180
Tabla LXII. Lote mínimo de ventas de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.....	180
Tabla LXIII. Coste de transportar un m2 de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico.....	181
Tabla LXIV. Coste de almacenar cada producto final en cada centro logístico.	182
Tabla LXV. Stock de seguridad de cada producto final en cada centro logístico.....	183
Tabla LXVI. Inventario inicial de cada producto final en cada centro logístico.	184
Tabla LXVII. Coste de transportar un m2 de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta.	185
Tabla LXVIII. Demanda de cada producto final en cada punto de venta en cada periodo’.....	191
Tabla LXIX. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada producto final en cada punto de venta.	192
Tabla LXX. Capacidad de transporte “objetivo” entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.....	195
Tabla LXXI. Lote mínimo de ventas de cada producto final en cada almacén del CDO4	195
Tabla LXXII. Coeficiente de mermas de cada producto final.	196
Tabla LXXIII. Coeficiente de 1ª calidad de cada producto final.	196

Tabla LXXIV. Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada productos final.....	197
Tabla LXXV. Coste de transporte de una unidad de materia prima desde cada proveedor a cada planta.	198
Tabla LXXVI. Coste de almacenar cada materia prima en cada planta.....	199
Tabla LXXVII. Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.....	200
Tabla LXXVIII. Tiempo unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.....	201
Tabla LXXIX. Tiempo de setup de cada producto final en cada la línea de fabricación de cada planta. .	202
Tabla LXXX. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.....	203
Tabla LXXXI. Coste unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.....	204
Tabla LXXXII. Coste de setup de cada producto final en cada línea de fabricación en cada planta.....	205
Tabla LXXXIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.....	205
Tabla LXXXIV. Coste de transporte desde cada planta a cada almacén.....	207
Tabla LXXXV. Coste de almacenar cada producto final en cada almacén.....	207
Tabla LXXXVI. Stock de seguridad de cada producto final en cada almacén.....	208
Tabla LXXXVII. Inventario inicial de cada producto final en cada almacén.....	208
Tabla LXXXVIII. Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.....	209
Tabla LXXXIX. Coste de compra/subcontratar cada producto final a cada subcontratista de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.....	209
Tabla XC. Demanda de cada producto final en cada almacén por cada punto de venta en cada periodo´.	211
Tabla XCI. Coste de diferir cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.....	212
Tabla XCII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.....	213
Tabla XCIII. Capacidad normal “objetivo” en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo	216
Tabla XCIV. Cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.....	219
Tabla XCV. Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 6 en cada periodo´.....	221
Tabla XCVI. Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 7 en cada periodo´.....	222
Tabla XCVII. Capacidad máxima de ventas de cada materia prima por parte de cada proveedor perteneciente a dichos centros de decisión operativos.....	223

Tabla XCVIII. Capacidad máxima de ventas (mensual) de cada producto final por parte de cada subcontratista del centro de decisión operativo 5.....	223
Tabla XCIX. Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.....	227
Tabla C. Número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.....	231
Tabla CI. Capacidad normal (horas) a asignar a cada horno de cada planta en cada periodo.....	233
Tabla CII. Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.....	235
Tabla CIII. Número de vehículos ² a utilizar entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.....	237
Tabla CIV. Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada período´.....	238
Tabla CV. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico en cada período´.....	240
Tabla CVI. Cantidad a almacenar de cada producto final en cada centro logístico en cada período´.....	243
Tabla CVII. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta en cada período´.....	248
Tabla CVIII. Cantidad a comprar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período´.....	250
Tabla CIX. Cantidad a vender de cada producto final a cada punto de venta en cada período´.....	255
Tabla CX. Cantidad a diferir de cada producto final a cada punto de venta en cada período´.....	255
Tabla CXI. Desviación positiva sobre capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.....	256
Tabla CXII. Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada período´.....	258
Tabla CXIII. Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada período´.....	261
Tabla CXIV. Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.....	263
Tabla CXV. Capacidad extra (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.....	263
Tabla CXVI. Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.....	265
Tabla CXVII. Cantidad a producir de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.....	266
Tabla CXVIII. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada planta a cada almacén en cada período´.....	267
Tabla CXIX. Cantidad a almacenar de cada producto final en cada almacén en cada período´.....	269
Tabla CXX. Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período´.....	270

Tabla CXXI. Cantidad a comprar/subcontratar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo’.....	271
Tabla CXXII. Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén al centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “comprador” cdo6 en cada periodo’.....	273
Tabla CXXIII. Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo’.....	274
Tabla CXXIV. Desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo”de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.....	275

A.1 Caracterización cualitativa detallada de cada uno de los CDs seleccionados.

A.1.1 Nivel Decisional Tático - Centro de Decisión 4

A.1.1.1 Sub-Visión Micro-Decisional

A.1.1.1.1 Características Temporales

Las características temporales del NDT-CD4 son:

- Horizonte: 1 año
- Período de Planificación: 1 mes
- Período de Replanificación: 1 mes

A.1.1.1.2 ¿Qué tipos de Decisiones se toman?

A.1.1.1.2.1 Variables de Decisión Locales

Ligadas a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Almacenamiento_2

Producción_1

Capacidad normal (horas) a asignar a cada horno de cada planta en cada periodo.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

Capacidad de transporte (Kgs) entre cada almacén y cada centro logístico en cada periodo.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Ligadas a las AIs

Compras:

Ventas

A.1.1.1.2.2 Variables de Decisión por Interdependencia

CD^{Te}

$CDT=6:$

CD^{Bt} (anticipadas)

$CDO=4:$

Ligadas a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada periodo.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada período.

Producción_2

Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada período.

Número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Almacenamiento_2

Cantidad a almacenar de cada grupo de productos finales en cada planta en cada período.

Producción_1

Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta en cada período.

Número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta en cada periodo.

Transporte

Cantidad a transportar de cada grupo de productos finales desde cada planta a cada almacén en cada período.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Cantidad a inventariar de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.

Ligadas a las AIs

Compras

CDTV:

Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión táctico perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo.

Cantidad a comprar/subcontratar de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión táctico perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo.

Ventas

CDTC:

Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión perteneciente al entorno decisional “comprador” en cada periodo.

PV:

Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo.

Cantidad a diferir de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo.

CDO=6:

Ligadas a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Cantidad a transportar de cada grupo de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico en cada periodo.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Cantidad a almacenar de cada grupo de productos finales en cada centro logístico al final de cada periodo.

Ligadas a las AIs

Compras

Ventas

GPV:

Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta en cada periodo.

Cantidad a diferir de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta en cada periodo.

CD^{Be} (anticipadas)

CDT=1, CDT=2, CDT=3, CDT=5:

A.1.1.1.3 ¿Cuáles son los objetivos?

La Función Criterio [1] expresa la maximización de beneficios (ingresos menos costes) en el conjunto de los períodos considerados en el Horizonte de Planificación.

Dicha Función se subdivide en Criterio Local y Criterio por Interdependencias.

A.1.1.1.3.1 Criterio Local

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

Costes de capacidad normal por mantenimiento de turnos en sección de prensado/esmaltado, costes de incrementar el número de turnos en sección de prensado/esmaltado, costes de decrementar el número de turnos en sección de prensado/esmaltado.

Almacenamiento_2

Producción_1

Costes de capacidad normal en sección de hornos, costes por activación de hornos, costes por desactivación de hornos.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

Costes de capacidad normal de transporte desde los Almacenes Centrales a los Centros Logísticos ligado al número de camiones que se decida contratar.

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

A.1.1.1.3.2 Criterio por Interdependencias

CD^{Te}

$CDT=6:$

CD^{Bt} (anticipado)

$CDO=4:$

Ligadas a las ATs

Etapas Proveedores

Transporte

Costes de transporte desde cada uno de los Proveedores (N3, N4 y N1) a cada una de las Plantas de Fabricación (N7.1, N7.2 y N8).

Etapas Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Costes de almacenamiento de materia prima.

Producción_2

Costes de cambios de partida de familias de productos en la sección de prensado/esmaltado y costes por número de lanzamientos de cada familia de productos.

Almacenamiento_2

Costes de almacenamiento de las familias de productos en las plantas.

Producción_1

Costes por cambios de partida de familias de productos en la sección de hornos y costes por número de lanzamientos de cada familia de productos en la sección de hornos.

Transporte

Costes de transporte de las familias de productos desde las Plantas de Fabricación (N7.1, N7.2 y N8) a los Almacenes Centrales.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Costes de almacenamiento de las familias de productos en los Almacenes Centrales.

Ligado a las AIs

Compras

CDTV:

Costes de compra de las materias primas a los NDT-CD1, NDT-CD2 y NDT-CD3, costes de compra de familias de productos a NDT-CD5.

Ventas

CDTC:

Ingresos por las ventas de familias de productos en los Almacenes Centrales al NDT-CD6.

PV:

Ingresos por ventas de familias de productos y costes por diferir en cada uno de los puntos de venta considerados en los Almacenes Centrales al resto de Distribuidores Independientes (se entiende que todos menos el considerado explícitamente) y a las Empresas Constructoras.

CDO=6:

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Costes de transporte de las familias de productos desde los Almacenes Centrales a los Centros Logísticos.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Costes de almacenamiento de las familias de productos en los Centros Logísticos.

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

GPV:

Ingresos por ventas de familias de productos y costes por diferir en cada uno de los Centros Logísticos (en cada Centro Logísticos se ha asignado/agrupado la demanda conjunta de las Tiendas a las que provee).

CD^{Be} (*anticipado*)

$CDT=1$:

$CDT=2$:

$CDT=3$:

$CDT=5$

A.1.1.1.4 ¿Qué limitaciones existen?

A.1.1.1.4.1 Campo de Decisión Local

Ligado a las ATs

Etapas Proveedores

Transporte

Etapas Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

Limitaciones de Recursos (LR)

Control del Flujo de Turnos de Trabajo de las Líneas de Fabricación (sección prensado-esmaltado) entre distintos periodos.

[2]

Límite superior de Turnos de Trabajo

[3]

Relación entre los Turnos de Trabajo y la Capacidad Normal

[4]

Políticas (PO)

Las decisiones en cuanto a Turnos de Trabajo comprometen varios periodos

[5]

Almacenamiento_2

Producción_1

Limitaciones de Recursos (LR)

Control del Flujo de Activación de los Hornos (sección Hornos) entre distintos periodos.

[6]

Las decisiones en cuanto a Activación de los Hornos comprometen varios periodos

[7]

Límite superior de la Capacidad Normal de cada Horno

[8]

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

La Capacidad Normal de Transporte (en Kg) entre Almacenes Centrales y Centros Logísticos está determinada por la cantidad de camiones que se decide utilizar a nivel táctico.

[9]

Existe un número máximo de camiones asignado a cada ruta Almacenes Centrales – Centros Logísticos.

[10]

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

A.1.1.1.4.2 Campo de Decisión por Interdependencias

CD^{Te}

$CDT=6:$

Condición de Consistencia en la Coordinación para la cantidad a Comprar de cada una de las familias de productos en los Almacenes Centrales (relación entre la cantidad a Vender por el propio CDT4 y la cantidad a Comprar objetivo calculada por CDT6).

[11]

CD^{Bt} (anticipado)

$CDO=4:$

Ligadas a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de Inventario de cada materia prima en las Plantas de Fabricación (N7.1, N7.2 y N8)

[12]

Producción_2

Limitaciones de Recursos (LR)

El consumo de Capacidad Normal en las Líneas de Fabricación debido a la producción de las familias de productos, a los cambios de partida entre las mismas y al nº medio de productos finales que se prevee (anticipa) lanzar para cada familia de productos, ha de ser menor que la Capacidad Normal que se decide instalar a nivel táctico.

[13]

Relación entre el número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada familia en las Líneas y la cantidad producida de estos últimos.

[14]

La cantidad de cada familia de productos a producir en cada Línea de Fabricación (anticipada) ha de ser igual o superior a un lote mínimo.

[15]

Sólo se contabiliza como cambio de partida de una familia de productos en cierta Línea de Fabricación si no se fabricó en el período anterior y sí en el actual.

[16]

Es posible ahorrar un cambio de partida de una familia de productos si ésta se fabricó en el período anterior y también se va a fabricar en el actual.

[17]

Almacenamiento_2

Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de inventario de las familias de productos en cada una de los almacenes intermedios de las plantas.

[18]

Limitaciones de Recursos (LR)

El Inventario de cada familia de productos en los almacenes intermedios de las plantas no debe ser superior a la capacidad máxima de almacenamiento individual de cada familia.

[19]

Producción_1

Limitaciones de Recursos (LR)

El consumo de Capacidad Normal en los Hornos debido a la producción de las familias de productos, a los cambios de partida entre las mismas y al n° medio de productos finales que se prevee (anticipa) lanzar para cada familia de productos, ha de ser menor que la Capacidad Normal que se decide instalar a nivel táctico.

[20]

Relación entre el número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada familia en los Hornos y la cantidad producida de estos últimos.

[21]

Sólo se contabiliza como cambio de partida de una familia de productos en cierta Horno si no se produjo en el período anterior y sí en el actual.

[22]

Es posible ahorrar un cambio de partida de una familia de productos si ésta se produjo en el período anterior y también se va a producir en el actual.

[23]

Políticas (PO)

El consumo de Capacidad Normal en los Hornos debido a la producción de las familias de productos, a los cambios de partida entre las mismas y al n° medio de productos finales que se prevee (anticipa) lanzar para cada familia de productos, ha de ser mayor que cierta cantidad considerada como un rendimiento aceptable de estos.

[24]

Transporte

No todos los productos finales que se producen en las Plantas de Fabricación se transportan a los Almacenes Centrales. Sólo se transportan los de 1ª calidad y además aquellos que no tienen mermas.

[25]

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de inventario de las familias de productos que no se pueden subcontratar en los Almacenes Centrales.

[26]

Balance de inventario de las familias de productos que se pueden subcontratar parcialmente en los Almacenes Centrales.

[27]

Balance de inventario de las familias de productos que se subcontratan totalmente en los Almacenes Centrales.

[28]

Limitaciones de Recursos (LR)

El Inventario de familias de productos en los Almacenes Centrales no debe ser superior a la capacidad máxima de almacenamiento, que es compartida por todos las familias de productos que allí se almacenan.

[29]

El Inventario de cada familia de productos en los Almacenes Centrales no debe ser superior a la capacidad máxima de almacenamiento individual de cada familia.

[30]

Ligado a las AIs

Compras

CDTV

La cantidad a comprar de cada materia prima a cada Proveedor coincide con la cantidad transportada a las distintas Plantas de Fabricación.

[31]

Ventas

Se pueden diferir ventas de familias de productos en los Almacenes Centrales.

[32]

Sólo se puede diferir un cierto porcentaje sobre la demanda.

[33]

CDO=6:

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹*Transporte*

La cantidad a transportar del conjunto de familias de productos que se transportan desde cada Almacén Central a cada Centro Logístico está acotado superiormente por la capacidad normal de transporte (en peso) que se decida instalar a nivel táctico.

[34]

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de Inventario de familias de productos en los Centros Logísticos

[35]

Limitaciones de Recursos (LR)

El Inventario de familias de productos en los Centros Logísticos no debe ser superior a la capacidad máxima de almacenamiento, que es compartida por todos las familias de productos que allí se almacenan.

[36]

El Inventario de cada familia de productos en los Centros Logísticos no debe ser superior a la capacidad máxima de almacenamiento individual de cada familia.

[37]

Ligado a las AIs*Compras*

*Ventas**GPV:*

Se pueden diferir ventas de familias de productos en los Centros Logísticos.

[38]

Sólo se puede diferir un cierto porcentaje sobre la demanda.

[39]

CD^{Be} (anticipado)

CDT=1, CDT=2, CDT=3

Condición de Consistencia en la Coordinación en la que se considera que la cantidad a Comprar de cada una de las materias primas por parte de CDT4 a los distintos CDT1, CDT2 y CDT3 ha de ser inferior a cierto límite.

[40]

Condición de Consistencia en la Coordinación en la que se considera que la cantidad a Comprar de cada una de las materias primas por parte de CDT4 a los distintos CDT1, CDT2 y CDT3 ha de ser superior a cierto límite (lote mínimo de compras).

[41]

CDT=5

Condición de Consistencia en la Coordinación en la que se considera que la cantidad a Comprar de cada una de las familias de productos por parte de CDT4 al CDT5 ha de ser inferior a cierto límite.

[42]

Condición de Consistencia en la Coordinación en la que se considera que la cantidad a Comprar de cada una de las familias de productos por parte de CDT4 al CDT5 ha de ser superior a cierto límite (lote mínimo de subcontratación)

[43]

A.1.1.2 Visión Informacional (Micro)

A.1.1.2.1 ¿Cuál es la información de entrada?

A.1.1.2.1.1 Parámetros Locales

Ítems en general

Coefficiente de mermas de cada grupo de productos finales.

Coefficiente de 1ª calidad de cada grupo de productos finales.

Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada grupo de productos finales.

Peso (kgrs) por m² de cada grupo de productos finales.

Ligadas a las ATs

Etapas Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

Capacidad normal disponible por turno de cada línea de fabricación en cada planta.

Numero de turnos en cada línea de fabricación de cada planta al inicio del primer periodo.

Número máximo de turnos en cada línea de fabricación de cada planta.

Coste de mantener un turno en cada línea de fabricación en cada planta.

Coste de incrementar un turno en una línea de fabricación de una planta.

Coste de reducir un turno en una línea de fabricación de una planta.

Número de periodos congelados en cuando a la reconsideración de las decisiones sobre capacidad productiva.

Almacenamiento_2

Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada planta.

Producción_1

Capacidad máxima (por período) de producción de cada horno de cada planta.

Coste de mantener activo un horno de una planta por periodo de “npc”.

Coste de activar un horno de una planta.

Coste de desactivar un horno de una planta.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Capacidad máxima de almacenamiento de cada almacén.

Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada almacén.

Transporte

Capacidad de transporte (Kgr) de cada vehiculo².

Coste fijo de transporte por vehículo que se “contrata” para el trayecto entre cada almacén y cada centro logístico.

Número máximo de vehículos que se “contrata” para el trayecto entre cada almacén y cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Capacidad máxima de almacenamiento en cada centro logístico.

Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Ligadas a las AIs

Compras

Ventas

A.1.1.2.1.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Te}

$CDT=6:$

Cantidad requerida de compras “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte del centro de decisión táctico 6 en cada periodo.

CD^{Bt} (anticipados)

$CDO=4:$

Ligados a las AT s

Etapa Proveedores

Transporte

Coste de transporte de las materias primas desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Coste unitario de almacenamiento de cada materia prima en cada planta.

Inventario inicial de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Lote mínimo de fabricación de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Almacenamiento_2

Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada planta.

Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada planta

Producción_1

Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta

Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Porcentaje deseado de productividad de cada horno de cada planta.

Transporte

Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada almacén.

Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada almacén.

Ligadas a las AIs

Compras

CDTV:

Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor con respecto a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

Coste de compra/subcontratar cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

Ventas

CDTC:

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “compradores”.

PV:

Demanda de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada punto de venta en cada periodo.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los almacenes a cada punto de venta en cada período.

Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta durante cada periodo.

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta.

CDO=6:

Ligadas a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*

Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Ligadas a las AIs*Compras*

CDTV:

Ventas

GPV:

Demanda de cada grupo de productos finales en cada centro logístico por parte de cada grupo de puntos de venta en cada periodo.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los centros logísticos a cada grupo de puntos de venta en cada período.

Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta durante cada periodo.

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.

CD^{Be} (anticipados)

CDT=1, CDT=2, CDT=3:

Capacidad de ventas (anual) de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor”.

Lote mínimo de ventas de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.

CDT=5:

Capacidad de ventas (anual) de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” .

Lote mínimo de ventas de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.

A.1.2 Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 6

A.1.2.1 Sub-Visión Micro-Decisional

A.1.2.1.1 Características Temporales

Las características temporales del NDO-CD6 son:

- Horizonte: 1 mes
- Período de Planificación: 1 semana
- Período de Replanificación: 1 semana

A.1.2.1.2 ¿Qué tipo de decisiones se toman?

A.1.2.1.2.1 Variables de Decisión Locales

Ligadas a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada período´.

Cantidad a transportar de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico en cada periodo´.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Cantidad a almacenar de cada producto final en cada centro logístico en cada período´.

Transporte

Cantidad a transportar de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta en cada periodo´.

Ligadas a las AIs

Compras

CDOV:

Cantidad a comprar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo´.

Ventas

PV:

Cantidad a vender de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo´.

Cantidad a diferir de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo´.

A.1.2.1.2.2 Variables de Decisión por Interdependencia

CD^{Ti}

$CDT=4:$

Desviación positiva sobre capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada periodo.

CD^{Be} (anticipadas)

$CDO=4:$

A.1.2.1.3 ¿Cuáles son los objetivos?

La Función Criterio [1] expresa la maximización de beneficios (ingresos menos costes) en el conjunto de los períodos considerados en el Horizonte de Planificación.

Dicha Función se subdivide en Criterio Local y Criterio por Interdependencias.

A.1.2.1.3.1 Criterio Local

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Costes de transporte variables de los productos finales y costes fijos (por la utilización de los distintos vehículos disponibles) desde los Almacenes Centrales a los Centros Logísticos.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Costes de almacenamiento de los productos finales en los Centros Logísticos.

Transporte

Costes de transporte de los productos finales desde los Centros Logísticos a cada una de las Tiendas.

Ligado a las AIs*Compras*

CDOV

Costes de compra de los productos finales al NDO-CD4.

Ventas

PV

Ingresos por ventas y costes de diferir productos finales en cada una de las Tiendas.

A.1.2.1.3.2 Criterio por Interdependencias CD^{Ti} $CDT=4:$

Costes por desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.

 CD^{Be} (anticipado) $CDO=4:$

A.1.2.1.4 ¿Qué tipo de limitaciones existen?**A.1.2.1.4.1 Campo de Decisión Local****Ligado a las ATs****Sub-Etapa Distribución¹***Transporte*

La cantidad a transportar del conjunto de productos finales que se transportan desde cada Almacén Central a cada Centro Logístico está acotado superiormente por la capacidad normal de transporte (en peso).

[2]

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de Inventario de productos finales en los Centros Logísticos

[3]

Limitaciones de Recursos (LR)

Existe una capacidad máxima de almacenamiento en los Centros Logísticos que es compartida por todos los productos finales que allí se almacenan.

[4]

Políticas

Se considera cierto stock de seguridad de productos finales en los Centros Logísticos para contrarrestar la variabilidad de la demanda de las Tiendas.

[5]

Transporte

Ligado a las AIs

Compras

CDOV:

La cantidad a comprar de cada producto final a cada Almacén Central coincide con la cantidad transportada a las distintos Centros Logísticos.

[6]

Ventas

PV:

La cantidad transportada de cada producto final desde los Centros Logísticos a cada Tienda es exactamente la cantidad a Vender.

[7]

Se pueden diferir ventas de productos finales en las Tiendas.

[8]

Sólo se puede diferir un cierto porcentaje sobre la demanda.

[9]

A.1.2.1.4.2 Campo de Decisión por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4:$

Condición de Consistencia en la Desagregación para la Capacidad de Transporte entre Almacenes Centrales y Centros Logísticos (relación entre la Capacidad de Transporte actual a nivel operativo y la Capacidad de Transporte objetivo calculada a nivel táctico).

[10]

Existe un límite máximo en cuanto a la desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.

[11]

CD^{Be} (anticipado)

$CDO=4:$

La cantidad a Comprar por CDO6 de cada producto final a CDO4 ha de ser igual o superior a una cantidad mínima.

[12]

A.1.2.2 Visión Informacional (Micro)

A.1.2.2.1 ¿Cuál es la información de entrada?

A.1.2.2.1.1 Parámetros Locales

Ítems en general

Peso de cada producto final

Ligados a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Coste de transportar un m² de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico.

Coste fijo de transporte

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Capacidad (m²) de almacenamiento de cada centro logístico.

Coste de almacenar cada producto final en cada centro logístico.

Stock de seguridad de cada producto final en cada centro logístico.

Inventario inicial de cada producto final en cada centro logístico.

Transporte

Coste de transportar un m² de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta.

Ligados a las AIs

CDOV:

Compras

Coste de compra de cada producto final en cada almacén respecto a cada centro de decisión perteneciente al entorno decisional “vendedor”.

Ventas

PV:

Demanda de cada producto final en cada punto de venta en cada periodo’.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada punto de venta en cada periodo’.

Coste de diferir cada producto final en cada punto de venta durante cada periodo’.

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada punto de venta.

A.1.2.2.1.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Ti}

CDT=4:

Capacidad de transporte “objetivo” entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.

Máxima desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.

Coste por desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.

CD^{Be} (anticipados)

CDO=4:

Lote mínimo de ventas de cada producto final en cada almacén del centro de decisión operativo 4.

A.1.3 Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 4

A.1.3.1 Sub-Visión Micro-Decisional

A.1.3.1.1 Características Temporales

Las características temporales del NDO-CD4 son:

- Horizonte: 1 mes
- Período de Planificación: 1 semana
- Período de Replanificación: 1 semana

A.1.3.1.2 ¿Qué tipo de decisiones se toman?

A.1.3.1.2.1 Variables de Decisión Locales

Ligadas a las ATs

Etapas Proveedores

Transporte

Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada período´.

Etapas Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada período´.

Producción_2

Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.

Capacidad extra (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período´.

Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada período´

Cantidad a producir de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta en cada período´

Transporte

Cantidad a transportar de cada producto final desde cada planta a cada almacén en cada período´

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Cantidad a almacenar de cada producto final en cada almacén en cada período´.

Ligadas a las AIs

Compras

CDOV:

Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período´.

Cantidad a comprar/subcontratar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período´.

Ventas

CDOC:

Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “comprador” en cada período´.

PV:

Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada período´.

Cantidad a diferir de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada período´.

A.1.3.1.2.2 Variables de Decisión por Interdependencia

CD^{Ti}

$CDT=4:$

Desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

Desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

CD^{Te}

$CDO=6, CDO=7:$

CD^{Be} (anticipadas)

$CDO=1, CDO=2, CDO=3, CDO=5:$

A.1.3.1.3 ¿Cuáles son los objetivos?

La Función Criterio [1] expresa la maximización de beneficios (ingresos menos costes) en el conjunto de los períodos considerados en el Horizonte de Planificación.

Dicha Función se subdivide en Criterio Local y Criterio por Interdependencias.

A.1.3.1.3.1 Criterio Local

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Costes de transporte desde cada uno de los Proveedores (N3,N4 y N1) a cada una de las Plantas de Fabricación (N7.1, N7.2 y N8).

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Costes de almacenamiento de materia prima en las Plantas de Fabricación.

Producción_2

Costes de producción de productos finales, costes de cambios de partida de productos finales, costes de cambios de partida de familias de productos finales y costes de capacidad extra en la sección de prensado/esmaltado.

Transporte

Costes de transporte de los productos finales desde las Plantas de Fabricación a los Almacenes Centrales.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Costes de almacenamiento de los productos finales en los Almacenes Centrales.

Ligado a las AIs

Compras

Costes de compra de las materias primas a los NDO-CD1, NDO-CD2, NDO-CD3, así como de productos finales al NDO-CD5.

Ventas

Ingresos por ventas de productos finales en los Almacenes Centrales a los NDO-CD6 y NDO-CD7 y por ventas de productos finales en los puntos de venta (en los que se vende a otros Distribuidores Independientes y Empresas Constructoras) considerados en los Almacenes Centrales. En este último también se considera el coste de diferir en dichos puntos de venta.

A.1.3.1.3.2 Criterio por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4$:

Costes por desviaciones positivas o negativas sobre el “Inventario objetivo” en Almacenes Centrales proveniente del NDT-CD4.

CD^{Te}

$CDO=6, CDO=7$:

CD^{Be} (anticipado)

$CDO=1, CDO=2, CDO=3, CDO=5$:

A.1.3.1.4 ¿Cuáles son las limitaciones?

El Campo de Decisión se subdivide en Campo de Decisión Local y por Interdependencias, los cuales a su vez están formados por un conjunto de funciones.

A.1.3.1.4.1 Campo de Decisión Local

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de Inventario de cada materia prima en las Plantas de Fabricación (N7.1, N7.2 y N8)

[2]

Políticas (PO)

Se considera cierto stock de seguridad de materia prima para asegurar que la sección de prensado-esmaltado siempre está en marcha.

[3]

Producción_2

Limitaciones de Recursos (LR)

El consumo de capacidad debido a los cambios de partida de las diferentes familias de productos y a su vez dentro de éstas, de los productos finales en las diferentes Líneas de Fabricación (sección prensado-esmaltado), más el consumo de capacidad debido a la producción propiamente, ha de ser menor que la capacidad normal instalada más cierta capacidad extra.

[4]

La capacidad extra no ha de exceder un 30% de la capacidad normal.

[5]

La cantidad producida de cada familia de productos en cada Línea de Fabricación ha de ser igual a la suma de los productos finales de dicha familia producidos

[6]

Sólo se contabiliza como cambio de partida de una familia de productos en cierta Línea de Fabricación si no se fabricó en el período anterior y sí en el actual.

[7]

Es posible ahorrar un cambio de partida de una familia de productos si ésta se fabricó en el período anterior y también se va a fabricar en el actual.

[8]

Sólo se contabiliza como cambio de partida de un producto final en cierta Línea de Fabricación si no se fabricó en el período anterior y sí en el actual.

[9]

Es posible ahorrar un cambio de partida de una familia de productos si ésta se fabricó en el período anterior y también se va a fabricar en el actual.

[10]

Limitaciones de Materiales (LM).

No todos los productos finales que se fabrican en las Plantas de Fabricación se transportan a los Almacenes Centrales. Sólo se transportan los de 1ª calidad y además aquellos que no tienen mermas.

[11]

Políticas (PO)

El lote mínimo de productos finales en cada Línea de Fabricación viene marcado por una cantidad mínima a fabricar.

[12]

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

Balance de inventario de los productos finales que no se pueden subcontratar en los Almacenes Centrales.

[13]

Balance de inventario de los productos finales que se pueden subcontratar parcialmente en los Almacenes Centrales.

[14]

Balance de inventario de los productos finales que se subcontratan totalmente en los Almacenes Centrales.

[15]

Ligado a las AIs

Compras

CDOV:

La cantidad a comprar de cada materia prima a cada Proveedor coincide con la cantidad transportada a las distintas Plantas de Fabricación.

[16]

Ventas

PV:

Se pueden diferir ventas de productos finales en los Almacenes Centrales.

[17]

Sólo se puede diferir un cierto porcentaje sobre la demanda.

[18]

A.1.3.1.4.2 Campo de Decisión por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4$:

Condición de Consistencia en la Desagregación para la Capacidad Normal de cada una de las Líneas de Fabricación (relación entre la Capacidad Normal actual a nivel operativo y la Capacidad Normal objetivo calculada a nivel táctico).

[19]

Condición de Consistencia en la Desagregación para el Inventario en cada uno de los Almacenes Centrales (relación entre el Inventario actual a nivel operativo y el Inventario objetivo calculado a nivel táctico).

[20]

El Inventario actual calculado a nivel operativo puede ser menor que el Inventario objetivo calculado a nivel táctico, pero hasta un límite máximo.

[21]

El Inventario actual calculado a nivel operativo puede ser mayor que el Inventario objetivo calculado a nivel táctico, pero hasta un límite máximo.

[22]

CD^{Te}

$CDO=6$:

Condición de Consistencia en la Coordinación para la cantidad a Comprar de cada uno de los productos finales en los Almacenes Centrales (relación entre la cantidad a Vender por el propio CDO4 y la cantidad a Comprar objetivo calculada por CDO6).

[23]

$CDO=7$:

Condición de Consistencia en la Coordinación para la cantidad a Comprar de cada uno de los productos finales en los Almacenes Centrales (relación entre la cantidad a Vender por el propio CDO4 y la cantidad a Comprar objetivo calculada por CDO7).

[24]

CD^{Be} (anticipado)

$CDO=1, CDO=2, CDO=3$

La cantidad de materia prima comprada a CDO1, CDO2 y CDO3 (de manera independiente) ha de ser inferior a una cantidad máxima en cada período.

[25]

$CDO=5:$

La cantidad de producto final subcontratado (parcialmente) a CDO5 ha de ser inferior a una cantidad máxima en cada período.

[26]

La cantidad de producto final subcontratado (totalmente) a CDO5 ha de ser inferior a una cantidad máxima en cada período.

[27]

A.1.3.2 Visión Informacional (Micro)

A.1.3.2.1 ¿Cuál es la información de entrada?

A.1.3.2.1.1 Parámetros Locales

Ítems en general

Coefficiente de mermas de cada producto final.

Coefficiente de 1ª calidad de cada producto final.

Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada productos final.

Ligados a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Coste de transporte de una unidad de materia prima desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Coste de almacenar cada materia prima en cada planta

Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

Tiempo unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

Tiempo de setup de cada producto final en cada la línea de fabricación de cada planta.

Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

Coste unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

Coste de setup de cada producto final en cada línea de fabricación en cada planta.

Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

Lote mínimo de fabricación de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

Tiempo mínimo de fabricación de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Transporte

Coste de transporte de cada producto final desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Coste de almacenar cada producto final en cada almacén.

Inventario inicial de cada producto final en cada almacén.

Ligados a las AIs

Compras

CDOV:

Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor con respecto a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

Coste de compra/subcontratar cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

Ventas

CDOC:

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “compradores”.

PV:

Demanda de cada producto final en cada almacén por cada punto de venta en cada periodo´.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo´.

Coste de diferir cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

A.1.3.2.1.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Ti}

$CDT=4:$

Capacidad normal “objetivo” en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo

Cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.

Máxima desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

Máxima desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

Coste por desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

Coste por desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

CD^{Te}

$CDO=6:$

Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 6 en cada periodo´.

$CDO=7:$

Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 7 en cada periodo´.

CD^{Be} (anticipados)

$CDO=1: CDO=2: CDO=3:$

Capacidad de Ventas máxima de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión operativo “vendedor” en cada período.

$CDO=5$:

Capacidad de Ventas máxima de cada producto final en cada almacén por parte del centro de decisión operativo 5 en cada período.

A.2 Formulación detallada de los Modelos PLEM de cada uno de los CDs seleccionados.

A.2.1 Nivel Decisional Táctico - Centro de Decisión 4

A.2.1.1 PLEM - Parte de Definición (I)

A.2.1.1.1 Indices

Índices Locales

Ítems en general

mp Grupos de Materia prima ($gmp=1\dots gmp$) = Materia prima ($mp=1\dots mp$)

gpf Grupos de Productos finales ($gpf=1\dots gpf$)

Recursos

f Nodos en la Etapa Fabricación/Montaje-1 (ó Plantas) ($f=1\dots f$)

l Alternativas de la etapa intra-nodo 2 de cada una de las Plantas (ó Líneas de fabricación) ($l=1\dots l$)

h Alternativas de la etapa intra-nodo 1 de cada una de las Plantas (ó Hornos) ($h=1\dots h$)

d^1 Nodos en la Subetapa 1 de Distribución (ó Almacenes) ($d^1=1\dots d1$)

d^2 Nodos en la Subetapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos) ($d^2=1\dots d2$)

$v2$ Alternativas de transporte entre Almacenes y Centros Logísticos (ó vehiculos2) ($v2 = 1\dots v2$)

pv Puntos de venta ($pv=1\dots pv$)

gpv Grupos de puntos de venta ($gpv=1\dots gpv$)

Periodos de Planificación

t (Grupos de) Periodos de Planificación (t [meses]= $1\dots t$)

Índices por Interdependencia*Ítems en general*

Recursos

p Nodos en la Etapa Proveedores (p=1...p)

cdt Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional (cdt =1...cdt)

cdo Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional (cdo =1...cdo)

Períodos de Planificación

*Figura I. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (I): Índices***A.2.1.1.2 Conjuntos****Conjuntos Locales****Conjuntos Locales Básicos***Ítems en general*

GMP Conjunto de Grupos de Materia prima = Materia prima

GPF Conjunto de Grupos de Productos finales

GPF1 Conjunto de Grupos de Productos finales que no se subcontratan

GPF2 Conjunto de Grupos de Productos finales que pueden subcontratarse

GPF3 Conjunto de Grupos de Productos finales que se subcontratan totalmente

Recursos

F Conjunto de Nodos en la Etapa Fabricación/Montaje-1 (ó Plantas)

H Conjunto de Alternativas de la etapa intra-nodo 1 de cada una de las Plantas (ó Hornos)

L Conjunto de Alternativas de la etapa intra-nodo 2 de cada una de las Plantas (ó Líneas de fabricación)

D¹ Conjunto de Nodos en la Subetapa 1 de Distribución (ó Almacenes)D² Conjunto de Nodos en la Subetapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos)

V2 Conjunto de Alternativas de transporte entre Almacenes y Centros Logísticos (ó vehículos2)

PV	Conjunto de Puntos de venta
GPV	Conjunto de Grupos de punto de venta
<i>Periodos de Planificación</i>	
T'	Conjunto de (Grupos de) Períodos de Planificación
Conjuntos Locales Relacionales	
<i>Ítems en general-Items en general</i>	
GPF(mp)	Conjunto de grupos de productos finales que contienen cada materia prima.
<i>Recursos-Recursos</i>	
L(f)	Conjunto de líneas de fabricación ubicadas en cada planta.
H(f)	Conjunto de hornos ubicados en cada planta.
F(d ¹)	Conjunto de plantas que envían a cada almacén.
D ¹ (f)	Conjunto de almacenes a los que suministra cada planta.
D ¹ (d ²)	Conjunto de almacenes que suministran a cada centro logístico.
D ² (d ¹)	Conjunto de centros logísticos a los que suministra cada almacén.
<i>Periodos de Planificación-Periodos de Planificación</i>	

<i>Ítems en general-Recursos</i>	
GPF(f)	Conjunto de grupos de productos finales que se fabrican en cada planta.
GPF(l)	Conjunto de grupos de productos finales que pueden fabricarse en cada línea de fabricación.
GPF(h)	Conjunto de grupos de productos finales que pueden fabricarse en cada horno.
GPF(d ¹)	Conjunto de grupos de productos finales que pueden transportarse a cada almacén.
GPF(d ²)	Conjunto de grupos de productos finales que pueden transportarse a cada centro logístico.
GPF(pv)	Conjunto de grupos de productos finales que solicita cada punto de venta.
GPF(gp v)	Conjunto de grupos de productos finales que solicita cada grupo de puntos de venta.
<i>Ítems en general-Periodos de Planificación</i>	

<i>Recursos -Periodos de Planificación</i>	

Conjuntos por Interdependencia**Conjuntos por Interdependencia Básicos***Ítems en general*

Recursos

- P Conjunto de Nodos en la Etapa Proveedores
- CDT Conjunto de Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional
- CDTC Conjunto de Centros de decisión tácticos pertenecientes al entorno decisional “compradores”
- CDTV Conjunto de Centros de decisión tácticos pertenecientes al entorno decisional “vendedores”
- CDO Conjunto de Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional

Períodos de Planificación

Conjuntos por Interdependencia Relacionales*Ítems en general-Items en general*

Recursos-Recursos

- P(f) Conjunto de proveedores que pueden aprovisionar a cada planta.
- P (cdtv) Conjunto de proveedores que pertenecen a cada centro de decisión táctico perteneciente a su Entorno Decisional “vendedor”
- D¹(cdtc) Conjunto de almacenes que “venden” a cada centro de decisión táctico pertenecientes a su Entorno Decisional “comprador”
- D¹(pv) Conjunto de almacenes que “venden” a cada punto de venta.
- D²(gpv) Conjunto de centros logísticos que “venden” a cada grupo de puntos de venta.

Períodos de Planificación-Períodos de Planificación

Ítems en general-Recursos

- MP(p) Conjunto de materia prima que puede suministrar cada proveedor.

<p>P(mp) Conjunto de proveedores que pueden suministrar cada materia prima.</p> <p><i>Ítems en general-Periodos de Planificación</i></p> <p>---</p> <p><i>Recursos -Periodos de Planificación</i></p> <p>---</p>

Figura II.. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (I): Conjuntos

A.2.1.2 PLEM - Parte de Definición (II)

A.2.1.2.1 Variables de Decisión

<p><u>Variables Locales</u></p> <p><u>Ligadas a las ATs</u></p> <p>Etapa Proveedores</p> <p><i>Transporte</i></p> <p>---</p> <p>Etapa Fabricación-Montaje</p> <p><i>Almacenamiento_3</i></p> <p>---</p> <p><i>Producción_2</i></p> <p>$C_{l,f,t}$ Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.</p> <p>$NT_{l,f,t}$ Número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.</p> <p>$T_{l,f,t}^+$ Incremento del número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.</p> <p>$T_{l,f,t}$ Disminución número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.</p> <p><i>Almacenamiento_2</i></p> <p>---</p> <p><i>Producción_1</i></p> <p>$C_{h,f,t}$ Capacidad normal (horas) a asignar a cada horno de cada planta en cada periodo.</p>

$Y_{h,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si un horno de una planta está activado en un periodo, y su valor es 0 en caso contrario.

$YA_{h,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si un horno de una planta está activado en un periodo y estaba desactivado en el periodo anterior, y su valor es 0 en caso contrario.

$YD_{h,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si un horno de una planta está desactivado en un periodo y estaba activado en el periodo anterior, y su valor es 0 en caso contrario.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

$CTR_{d^1, d^2, t}$ Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.

$YTR_{v2, d^1, d^2, t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se “demanda” un vehículo² para transportar desde un almacén a un centro logístico en un período, y su valor es de 0 en caso contrario.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Ligadas a las AIs

Compras

Ventas

Variables por Interdependencia

CD^{Te}

$CDT=6:$

CD^{Bt}

$CDO=4$:

Ligadas a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

$ant_TR_{mp,p,f,t}$ Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada periodo.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

$ant_IN_{mp,f,t}$ Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada periodo.

Producción_2

$ant_PR_{gpf,l,f,t}$ Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada período

$ant_YPR_{gpf,l,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si un grupo de productos finales se ha decidido fabricar en una línea de fabricación de una planta en un periodo, y su valor es de 0 en caso contrario.

$ant_YFPR_{gpf,l,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se efectúa un cambio de partida de un grupo de productos finales en una línea de fabricación de una planta en un periodo, y su valor es 0 en caso contrario.

$ant_NL_{gpf,l,f,t}$ Número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Almacenamiento_2

$ant_IN_{gpf,f,t}$ Cantidad a inventariar de cada grupo de productos finales en cada planta en cada período.

Producción_1

$ant_PR_{gpf,h,f,t}$ Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta en cada período.

$ant_NL_{gpf,h,f,t}$ Número de lanzamientos de los productos finales pertenecientes a cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta en cada periodo.

$ant_YPR_{gpf,h,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si un grupo de productos finales se ha decidido fabricar en un horno de una planta en un periodo, y su valor es de 0 en caso contrario.

$ant_YFPR_{gpf,l,f,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se efectúa un cambio de partida de un grupo de productos finales en un horno de una planta en un periodo, y su valor es 0 en caso contrario.

Transporte

$ant_TR_{gpf,d}^1$ Cantidad a transportar de cada grupo de productos finales desde cada planta a cada almacén en cada período

Sub-Etapa Distribución¹*Almacenamiento*

$ant_IN_{gpf,d}^1$ Cantidad a inventariar de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.

Ligadas a las AIs*Compras**CDTV:*

$ant_CO_{mp,p,cdtv,t}$ Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión táctico perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo.

$ant_YCO_{mp,p,cdtv,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se compra una materia prima en un proveedor a un centro de decisión táctico perteneciente al entorno decisional “vendedor” en un periodo, y su valor es 0 en caso contrario.

$ant_CO_{gpf,d}^1,cdtv,t$ Cantidad a comprar/subcontratar de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión táctico perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo.

$ant_YCO_{gpf,d}^1,cdtv,t$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se compra/subcontrata un grupo de productos finales en un almacén a un centro de decisión táctico “vendedor” en un periodo, y su valor es 0 en caso contrario.

*Ventas**CDTC:*

$ant_VE_{gpf,d}^1,cdtc,t$ Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión perteneciente al entorno decisional “comprador” en cada periodo.

PV:

$ant_VE_{gpf,d}^1,pv,t$ Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo.

$ant_DIF_{gpf,d}^1,pv,t$ Cantidad a diferir de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo.

*CDO=6:***Ligadas a las ATs****Sub-Etapa Distribución¹**

<p><i>Transporte</i></p> <p>$ant_{TR_{gpf,d}^1,d^2,t}$ Cantidad a transportar de cada grupo de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico en cada periodo</p> <p>Sub-Etapa Distribución²</p> <p><i>Almacenamiento</i></p> <p>$ant_{IN_{gpf,d}^2,t}$ Cantidad a almacenar de cada grupo de productos finales en cada centro logístico al final de cada periodo.</p> <p><u>Ligadas a las AIs</u></p> <p><i>Compras</i></p> <p>---</p> <p><i>Ventas</i></p> <p><i>GPV:</i></p> <p>$ant_{VE_{gpf,d}^2,gpv,t}$ Cantidad a vender de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta en cada periodo.</p> <p>$ant_{DIF_{gpf,d}^2,gpv,t}$ Cantidad a diferir de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta en cada periodo.</p> <p>CD^{Be}</p> <p>$CDT=1: CDT=2: CDT=3: CDT=5:$</p> <p>---</p>

Figura III. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (II): Variables de Decisión

A.2.1.2.2 Parámetros

<p><u>Parámetros Locales</u></p> <p>MI Valor entero muy grande.</p> <p>Ítems en general</p> <p>$rendm_{gpf}$ Coeficiente de mermas de cada grupo de productos finales.</p> <p>$rendb_{gpf}$ Coeficiente de 1ª calidad de cada grupo de productos finales.</p> <p>$lismat_{mp,gpf}$ Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada grupo de productos finales.</p>

pes_{gpf} Peso (kgrs) por m^2 de cada grupo de productos finales.

Ligados a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

ct_{lf} Capacidad normal disponible por turno de cada línea de fabricación en cada planta.

$nt0_{lf}$ Numero de turnos en cada línea de fabricación de cada planta al inicio del primer periodo.

nt_{lf} Número máximo de turnos en cada línea de fabricación de cada planta.

$costt_{lf}$ Coste de mantener un turno en cada línea de fabricación en cada planta.

$costt^+_{lf}$ Coste de incrementar un turno en una línea de fabricación de una planta.

$costt^-_{lf}$ Coste de reducir un turno en una línea de fabricación de una planta.

npc Número de periodos congelados en cuando a la reconsideración de las decisiones sobre capacidad productiva.

Almacenamiento_2

cin_{gpf} Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada planta.

Producción_1

$c_{h,f}$ Capacidad máxima (por período) de producción de cada horno de cada planta.

$costy_{h,f}$ Coste de mantener activo un horno de una planta por periodo de “npc”.

$costya_{h,f}$ Coste de activar un horno de una planta.

$costyd_{h,f}$ Coste de desactivar un horno de una planta.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

cin_d^1 Capacidad máxima de almacenamiento de cada almacén.

$cin_{gpf,d}^1$ Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada planta.

Transporte

ctr_{v2} Capacidad de transporte (Kgr) de cada vehículo2.

$costftr_{v2,d}^1,d^2$ Coste fijo de transporte por vehículo2 que se “contrata” para el trayecto entre cada almacén y cada centro logístico.

$nmaxv2_{d^1,d^2}$ Número máximo de vehículos disponibles entre cada almacén y cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

cin_d^2 Capacidad máxima de almacenamiento de cada centro logístico.

$cin_{gpf,d}^2$ Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Ligados a las AIs

Compras

Ventas

Parámetros por Interdependencia

CD^{Te}

$CDT=6:$

$oco_{gpf,d^1,cdt6,t}$ Cantidad requerida de compras “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte del centro de decisión táctico 6 en cada periodo.

CD^{Bt}

$CDO=4:$

Ligados a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

$ant_costr_{mp,p,f}$ Coste de transporte de las materia primas desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje*Almacenamiento_3*

$ant_costin_{mp,f}$ Coste unitario de almacenamiento de cada materia prima en cada planta.

$ant_in0_{mp,f}$ Inventario inicial de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

$ant_tpr_{gpf,l,f}$ Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

$ant_tfpr_{gpf,l,f}$ Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

$ant_tmfpr_{gpf,l,f}$ Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

$ant_costfpr_{gpf,l,f}$ Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

$ant_costmfpr_{gpf,l,f}$ Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

$ant_lminpr_{gpf,l,f}$ Lote mínimo de fabricación de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

$ant_lmedpr_{gpf,l,f}$ Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Almacenamiento_2

$ant_costin_{gpf,f}$ Coste de almacenar (almacén intermedio) cada grupo de productos finales en cada planta.

$ant_in0_{gpf,f}$ Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada planta.

Producción_1

$ant_tpr_{gpf,h,f}$ Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

$ant_tfpr_{gpf,h,f}$ Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

$ant_tmfpr_{gpf,h,f}$ Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta

$ant_costfpr_{gpf,h,f}$ Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

$ant_costm_{gpf,h,f}$ Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

$ant_lmed_{gpf,h,f}$ Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

$ant_rend_{h,f}$ Porcentaje deseado de productividad de cada horno de cada planta.

Transporte

$ant_costtr_{gpf,d}^1$ Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

$ant_costin_{gpf,d}^1$ Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada almacén.

$ant_in0_{gpf,d}^1$ Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada almacén.

Ligados a las AIs

Compras

CDTV:

$ant_costco_{mp,p,cdtv}$ Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor con respecto a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisonal “vendedores”.

$ant_costco_{gpf,d}^1,cdtv$ Coste de compra/subcontratar cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisonal “vendedores”.

Ventas

CDTC:

$ant_ing_{gpf,d}^1,cdtc$ Ingreso obtenido (por m^2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisonal “compradores”.

PV:

$ant_dem_{gpf,d}^1,pv,t$ Demanda de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada punto de venta en cada periodo.

$ant_maxdif_{gpf,d}^1,pv$ Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los almacenes a cada punto de venta .

$ant_costdif_{gpf,d}^1,pv$ Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta.

$ant_ing_{gpf,d^1,pv}$ Ingreso obtenido (por m^2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta.

$CDO=6$:

Ligados a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

ant_costtr_{gpf,d^1,d^2} Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

ant_costin_{gpf,d^2} Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

ant_in0_{gpf,d^2} Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Ligados a las AIs

Compras

$CDTV$:

Ventas

GPV :

$ant_dem_{gpf,d^2,gpv,t}$ Demanda de cada grupo de productos finales en cada centro logístico por parte de cada grupo de puntos de venta en cada periodo.

$ant_maxdif_{gpf,d^2,gpv}$ Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los centros logísticos a cada grupo de puntos de venta .

$ant_costdif_{gpf,d^2,gpv}$ Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.

$ant_ing_{gpf,d^2,gpv}$ Ingreso obtenido (por m^2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.

CD^{Be}

$CDT=1; CDT=2; CDT=3$:

$ant_cve_{mp,p,cdtv}$ Capacidad de ventas (anual) de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor” .

$ant_lminve_{mp,p,cdtv}$ Lote mínimo de ventas de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.

$CDT=5$:

$ant_cve_{gpf,d^l,cdtv}$ Capacidad de ventas (anual) de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” .

$ant_lminve_{gpf,d^l,cdtv}$ Lote mínimo de ventas de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período.

Figura IV. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Definición (II): Parámetros

A.2.1.3 PLEM - Parte de Modelado

A.2.1.3.1 Criterio

Criterio Local

Max [z]=

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Producción_2

$$-\sum_t \sum_f \sum_{l \in L(f)} \text{cost}t_{l,f}^- * NT_{l,f,t} - \sum_t \sum_f \sum_{l \in L(f)} \text{cost}t_{l,f}^+ * T_{l,f,t}^+ - \sum_t \sum_f \sum_{l \in L(f)} \text{cost}t_{l,f}^- * T_{l,f,t}^-$$

Almacenamiento_2

Producción_1

$$-\sum_t \sum_f \sum_{h \in H(f)} \text{cost}_y y_{h,f} * Y_{h,f,t} - \sum_t \sum_f \sum_{h \in H(f)} \text{cost}_y a_{h,f} * Y_{h,f,t} - \sum_t \sum_f \sum_{h \in H(f)} \text{cost}_y d_{h,f} * Y_{h,f,t}$$

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

$$-\sum_t \sum_{d^1} \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} \sum_{v2} \text{cost}_{ftr} y_{v2,d^1,d^2} * Y_{TR_{v2,d^1,d^2,t}}$$

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

Criterio por Interdependencias

CD^{Te}

$CDT=6:$

CD^{Bt}

$CDO=4:$

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

$$-\sum_t \sum_f \sum_{p \in P(f)} \sum_{mp \in MP(p)} ant_costtr_{mp,p,f} * ant_TR_{mp,p,f,t}$$

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

$$-\sum_t \sum_f \sum_{mp} ant_costin_{mp,f} * ant_IN_{mp,f,t}$$

Producción_2

$$-\sum_t \sum_f \sum_{l \in L(f)} \sum_{gpf \in GPF(l)} ant_costfpr_{gpf,l,f} * ant_YFPR_{gpf,l,f,t} -$$

$$\sum_t \sum_f \sum_{l \in L(f)} \sum_{gpf \in GPF(l)} ant_costmfpr_{gpf,l,f} * ant_NL_{gpf,l,f,t}$$

Almacenamiento_2

$$-\sum_t \sum_f \sum_{gpf \in GPF(f)} ant_costin_{gpf,f} * ant_IN_{gpf,f,t}$$

Producción_1

$$-\sum_t \sum_f \sum_{h \in H(f)} \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_costfpr_{gpf,h,f} * ant_YFPR_{gpf,h,f,t} -$$

$$\sum_t \sum_f \sum_{h \in H(f)} \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_costmfpr_{gpf,h,f} * ant_NL_{gpf,h,f,t}$$

Transporte

$$-\sum_t \sum_f \sum_{d^1 \in D^1(f)} \sum_{gpf \in GPF(f)} ant_costtr_{gpf,f,d^1} * ant_TR_{gpf,f,d^1,t}$$

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

$$-\sum_t \sum_{d^1} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} ant_costin_{gpf,d^1} * ant_IN_{gpf,d^1,t}$$

Ligado a las AIs

Compras

CDTV:

$$-\sum_t \sum_{cdtv} \sum_{p \in P(cdtv)} \sum_{mp \in MP(p)} ant_costco_{mp,p,cdtv} * ant_CO_{mp,p,cdtv,t}$$

$$-\sum_t \sum_{cdtv} \sum_{d^1 \in D^1(cdtv)} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} ant_costco_{gpf,d^1,cdtv} * ant_CO_{gpf,d^1,cdtv,t}$$

Ventas

CDTC:

$$+ \sum_t \sum_{cdtc} \sum_{d^1 \in D^1(cdtc)} \sum_{gpf} \text{ant_ing}_{gpf, d^1, cdtc} * \text{ant_VE}_{gpf, d^1, cdtc, t}$$

PV:

$$+ \sum_t \sum_{pv} \sum_{d^1 \in D^1(pv)} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \text{ant_ing}_{gpf, d^1, pv} * \text{ant_VE}_{gpf, d^1, pv, t} -$$

$$\sum_t \sum_{pv} \sum_{d^1} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \text{ant_costdif}_{gpf, d^1, pv} * \text{ant_DIF}_{gpf, d^1, pv, t}$$

CDO=6:

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

$$- \sum_t \sum_{d^1} \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \text{ant_costtr}_{gpf, d^1, d^2} * \text{ant_TR}_{gpf, d^1, d^2, t}$$

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

$$- \sum_t \sum_{d^2} \sum_{gpf \in GPF(d^2)} \text{ant_costin}_{gpf, d^2} * \text{ant_IN}_{gpf, d^2, t}$$

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

GPV:

$$+ \sum_t \sum_{gpv} \sum_{d^1 \in D^1(gpv)} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \text{ant_ing}_{gpf, d^1, gpv} * \text{ant_VE}_{gpf, d^1, gpv, t} -$$

$$\sum_t \sum_{gpv} \sum_{d^1} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \text{ant_costdif}_{gpf, d^1, gpv} * \text{ant_DIF}_{gpf, d^1, gpv, t}$$

CD^{Be} $CDT=1, CDT=2, CDT=3, CDT=5$ ---	[1]
--------------------------------------------------	-----

Figura V. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Modelado: Criterio

A.2.1.3.2 Campo de Decisión

<u>Campo de Decisión Local</u>	
<u>Ligado a las ATs</u>	
Etapa Proveedores	
<i>Transporte</i>	

Etapa Fabricación-Montaje	
<i>Almacenamiento_3</i>	

<i>Producción_2</i>	
<u>Limitaciones de Recursos (LR)</u>	
Control del Flujo de Capacidad	
$NT_{l,f,t} = NT_{l,f,t-1} + T^+_{l,f,t} - T^-_{l,f,t}, \forall f, l \in L(f), t$	[2]
$NT_{l,f,t} \leq nt_{l,f}, \forall f, l \in L(f), t$	[3]
Capacidad	
$C_{l,f,t} = ct_{l,f} * NT_{l,f,t}, \forall f, l \in L(f), t$	[4]

Políticas

$$NT_{l,f,t} = NT_{l,f,t'} \quad \forall f, l \in L(f), t = 1, 1+n* npc \text{ tal que } n* npc \leq T, t'=t+1, \dots, t+ npc - 1$$

[5]

Almacenamiento_2

Producción_1

Limitaciones de Recursos (LR)

Control del Flujo de Capacidad

$$Y_{h,f,t} = Y_{h,f,t-1} + YA_{h,f,t} - YD_{h,f,t} \quad \forall f, h \in H(f), t$$

[6]

Políticas

$$Y_{h,f,t} = Y_{h,f,t'} \quad \forall f, h \in H(f), t = 1, 1+n* npc \text{ tal que } n* npc \leq T, t'=t+1, \dots, t+ npc - 1$$

[7]

Capacidad

$$C_{h,f,t} = c_{h,f} * Y_{h,f,t}, \quad \forall f, h \in H(f), t$$

[8]

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

$$CTR_{d^1,d^2,t} = \sum_{v2} ctr_{v2} * YTR_{v2,d^1,d^2,t}, \quad \forall d^1, d^2 \in D^2(d^1), t$$

[9]

$$\sum_{v2} YTR_{v2,d^1,d^2,t} \leq n \max_{d^1,d^2} v2_{d^1,d^2} \quad \forall d^1, d^2 \in D^2(d^1), t$$

[10]

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*

Ligado a las AIs*Compras*

Ventas

Campo de Decisión por Interdependencias CD^{Te} $CDT=6:$

$$VE_{gpf, d^1, cdt6, t} = co_{gpf, d^1, cdt6, t}, \forall gpf, d^1, t$$

[11]

 CD^{Bt} $CDO=4:$ **Ligado a las ATs****Etapa Proveedores***Transporte*

Etapa Fabricación-Montaje*Almacenamiento₃***Limitaciones de Materiales (LM).**

$$\sum_{p \in P(mp)} ant_TR_{mp, p, f, t} + ant_IN_{mp, f, t-1} = \sum_{gpf \in GPF(mp)} \sum_{l \in L(f)} (lismat_{mp, gpf} * ant_PR_{gpf, l, f, t})$$

$$+ ant_IN_{mp, f, t}$$

 $\forall f, mp, t$

[12]

*Producción_2*Limitaciones de Recursos (LR)

$$\sum_{gpf \in GPF(l)} ant_tpr_{gpf,l,f} * ant_PR_{gpf,l,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(l)} ant_tfpr_{gpf,l,f} * ant_YFPR_{gpf,l,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(l)} ant_tmfpr_{gpf,l,f} * ant_NL_{gpf,l,f,t} \leq C_{l,f,t}$$

$$\forall f, l \in L(f), t$$

[13]

$$ant_PR_{gpf,l,f,t} = ant_NL_{gpf,l,f,t} * ant_lmedpr_{gpf,l,f} \quad \forall f, l \in L(f), t$$

[14]

$$ant_PR_{gpf,l,f,t} \geq ant_lminpr_{gpf,l,f} * ant_YPR_{gpf,l,f,t} \quad \forall f, l \in L(f), gpf \in GPF(l), t$$

[15]

$$ant_YFPR_{gpf,l,f,t} \geq ant_YPR_{gpf,l,f,t} - ant_YPR_{gpf,l,f,t-1} \quad \forall f, l \in L(f), gpf \in GPF(l), t$$

[16]

$$\sum_{gpf} ant_YFPR_{gpf,l,f,t} \geq \sum_{gpf} ant_YPR_{gpf,l,f,t} - 1 \quad \forall f, l \in L(f), gpf \in GPF(l), t$$

[17]

Almacenamiento_2

$$\sum_{l \in L(f)} ant_PR_{gpf,l,f,t} + ant_IN_{gpf,f,t-1} = \sum_{h \in H(f)} ant_PR_{gpf,h,f,t} + ant_IN_{gpf,f,t} \quad \forall gpf, f, t$$

[18]

$$ant_IN_{gpf,f,t} \leq cin_{gpf,f} \quad \forall gpf, f, t$$

[19]

*Producción_1*Limitaciones de Recursos (LR)

$$\sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tpr_{gpf,h,f} * ant_PR_{gpf,h,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tfpr_{gpf,h,f} * ant_YFPR_{gpf,h,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tmfpr_{gpf,h,f} * ant_NL_{gpf,h,f,t} \leq C_{h,f,t}$$

$\forall f, h \in H(f), t$

[20]

$$ant_PR_{gpf,h,f,t} = ant_NL_{gpf,h,f,t} * ant_lmedpr_{gpf,h,f} \quad \forall f, h \in H(f), t$$

[21]

$$ant_YFPR_{gpf,l,h,t} \geq ant_YPR_{gpf,l,h,t} - ant_YPR_{gpf,l,h,t-1} \quad \forall f, h \in H(f), gpf \in GPF(h), t$$

[22]

$$\sum_{gpf} ant_YFPR_{gpf,l,h,t} \geq \sum_{gpf} ant_YPR_{gpf,l,h,t} - 1 \quad \forall f, h \in H(f), gpf \in GPF(h), t$$

[23]

Políticas (PO)

$$\sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tpr_{gpf,h,f} * ant_PR_{gpf,h,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tfpr_{gpf,h,f} * ant_YFPR_{gpf,h,f,t} + \sum_{gpf \in GPF(h)} ant_tmfpr_{gpf,h,f} * ant_NL_{gpf,h,f,t} \geq rend_{h,f} * c_{h,f} * Y_{h,f,t}$$

$\forall f, h \in H(f), t$

[24]

Transporte

$$\sum_{d^1 \in D^1(f)} ant_TR_{gpf,f,d^1,t} = \sum_{h \in H(f)} (ant_PR_{gpf,h,f,t} * rendb_{gpf} * (1 - rendm_{gpf})),$$

$\forall f, gpf \in GPF(f), t$

[25]

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

$$\sum_{f \in F(d^1)} ant_TR_{gpf,f,d^1,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t-1} = \sum_{cdtc \in CDTC(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,cdtc,t} + \sum_{pv \in PV(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,pv,t} + \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} ant_TR_{gpf,d^1,d^2,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t}$$

$\forall d^1, gpf \in GPF1, t$

[26]

$$\sum_{f \in F(d^1)} ant_TR_{gpf,f,d^1,t} + \sum_{cdtv \in CDTV(d^1)} ant_CO_{gpf,d^1,cdtv,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t-1} = \sum_{cdtc \in CDTC(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,cdtc,t} + \sum_{pv \in PV(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,pv,t} + \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} ant_TR_{gpf,d^1,d^2,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t}$$

$\forall d^1, gpf \in GPF2, t$

[27]

$$\sum_{cdtv \in CDTV(d^1)} ant_CO_{gpf,d^1,cdtv,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t-1} = \sum_{cdtc \in CDTC(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,cdtc,t} + \sum_{pv \in PV(d^1)} ant_VE_{gpf,d^1,pv,t} + \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} ant_TR_{gpf,d^1,d^2,t} + ant_IN_{gpf,d^1,t}$$

$\forall d^1, gpf \in GPF3, t$

[28]

Limitaciones de Recursos (LR)

$$ant_IN_{gpf,d^1,t} \leq cin_{gpf,d^1} \quad \forall d^1, gpf \in GPF(d^1), t$$

[29]

$$\sum_{gpf \in GPF(d^1)} ant_IN_{gpf,d^1,t} \leq cin_{d^1}, \quad \forall d^1, t$$

[30]

Ligado a las AIs

Compras

CDTV

$$ant_CO_{mp,p,cdtv,t} = \sum_{f \in F(p)} ant_TR_{mp,p,f,t}, \quad \forall mp, p \in P(mp), t$$

[31]

Ventas

PV:

$$\text{ant_VE}_{gpf,d^1,pv,t} + \text{ant_DIF}_{gpf,d^1,pv,t} = \text{ant_dem}_{gpf,d^1,pv,t} + \text{ant_DIF}_{gpf,d^1,pv,t-1},$$

$$\forall gpf, d^1, pv \in PV(d^1), t$$

[32]

$$\text{ant_DIF}_{gpf,d^1,pv,t} \leq \text{ant_max dif}_{gpf,d^1,pv,t} * \text{ant_dem}_{gpf,d^1,pv,t}, \forall gpf, d^1, pv \in PV(d^1), t$$

[33]

CDO=6:

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

$$\sum_{gpf \in GPF(d^1)} (\text{ant_TR}_{gpf,d^1,d^2,t} * \text{pes}_{gpf}) \leq CTR_{d^1,d^2,t}, \forall d^1, d^2 \in D^2(d^1), t$$

[34]

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

$$\sum_{d^1 \in D^1(d^2)} \text{ant_TR}_{gpf,d^1,d^2,t} + \text{ant_IN}_{gpf,d^2,t-1} = \sum_{gpf \in GPF(d^2)} \text{ant_VE}_{gpf,d^2,gpv,t} + \text{ant_IN}_{gpf,d^2,t}$$

$$\forall d^2, gpf \in GPF(d^2), t$$

[35]

Limitaciones de Recursos (LR)

$$\sum_{gpf \in GPF(d^2)} \text{ant_IN}_{gpf,d^2,t} \leq \text{cin}_{d^2}, \forall d^2, t$$

[36]

$$\text{ant_IN}_{gpf,d^2,t} \leq \text{cin}_{gpf,d^2} \quad \forall d^2, gpf \in GPF(d^2), t$$

[37]

Ligado a las AIs

Compras

Ventas

GPV:

$$\text{ant_VE}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t} + \text{ant_DIF}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t} = \text{ant_dem}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t} + \text{ant_DIF}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t-1},$$

$$\forall \text{gpf}, d^2, \text{gpv} \in \text{GPV}(d^2), t$$

[38]

$$\text{ant_DIF}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t} \leq \text{ant_max dif}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t} * \text{ant_dem}_{\text{gpf},d^2,\text{gpv},t},$$

$$\forall \text{gpf}, d^2, \text{gpv} \in \text{GPV}(d^2), t$$

[39]

 CD^{Be}

CDT=1.; CDT=2.; CDT=3:

$$\sum_{t \in T} \text{ant_CO}_{\text{mp},p,\text{cdtv},t} \leq \text{ant_cve}_{\text{mp},p,\text{cdtv}}, \forall \text{mp}, p \in P(\text{mp})$$

[40]

$$\text{ant_CO}_{\text{mp},p,\text{cdtv},t} \geq \text{ant_l min ve}_{\text{mp},p,\text{cdtv}} * \text{ant_YCO}_{\text{mp},p,\text{cdtv},t}, \forall \text{mp}, p \in P(\text{mp}), t$$

[41]

CDT=5:

$$\sum_{t \in T} \text{ant_CO}_{\text{gpf},d^1,\text{cdtv},t} \leq \text{ant_cve}_{\text{gpf},d^1,\text{cdtv}}, \forall \text{gpf} \in \text{GPF2} \cup \text{GPF3}, d^1$$

[42]

$$\text{ant_CO}_{\text{gpf},d^1,\text{cdtv},t} \geq \text{ant_l min ve}_{\text{gpf},d^1,\text{cdtv}} * \text{ant_YCO}_{\text{gpf},d^1,\text{cdtv},t}, \forall \text{gpf} \in \text{GPF2} \cup \text{GPF3}, d^1, t$$

[43]

Campo de Decisión (Restricciones Lógicas)

$$\text{ant_PR}_{\text{gpf},l,f,t} \leq M1 * \text{ant_YPR}_{\text{gpf},l,f,t}, \forall f, l \in L(f), \text{gpf} \in \text{GPF}(l), t$$

$$ant_PR_{gpf,h,f,t} \leq M2 * ant_YPR_{gpf,h,f,t}, \quad \forall f, h \in H(f), gpf \in GPF(h), t \quad [44]$$

$$ant_CO_{mp,p,cdtv,t} \leq M3 * ant_YCO_{mp,p,cdtv,t}, \quad \forall mp, p \in P(mp), t \quad [45]$$

$$ant_CO_{gpf,d^1,cdtv,t} \leq M4 * ant_YCO_{gpf,d^1,cdtv,t}, \quad \forall gpf \in GPF2 \cup GPF3, d^1, t \quad [46]$$

Campo de Decisión (Restricciones Técnicas)

$$C_{l,f,t}, C_{h,f,t}, CTR_{d^1,d^2,t}, ant_CO_{mp,p,cdtv,t}, ant_CO_{gpf,d^1,cdtv,t}, ant_VE_{gpf,d^1,cdtc,t}, ant_VE_{gpf,d^1,pv,t},$$

$$ant_DIF_{gpf,d^1,pv,t}, ant_VE_{gpf,d^2,gpv,t}, ant_DIF_{gpf,d^2,gpv,t}, ant_TR_{mp,p,f,t}, ant_IN_{mp,f,t}$$

$$, ant_PR_{gpf,l,f,t}, ant_PR_{gpf,h,f,t}, ant_TR_{gpf,d^1,t}, ant_IN_{gpf,d^1,t}, ant_TR_{gpf,d^1,d^2,t}, ant_IN_{gpf,d^2,t} \geq 0$$

$$NT_{l,f,t}, T_{l,f,t}^+, T_{l,f,t}, ant_NL_{gpf,l,f,t}, ant_NL_{gpf,h,f,t} \geq 0 \text{ (enteras)}$$

$$Y_{h,f,t}, YA_{h,f,t}, YD_{h,f,t}, YTR_{v2,d^1,d^2,t}, ant_YCO_{mp,p,cdtv,t}, ant_YCO_{gpf,d^1,cdtv,t}, ant_YPR_{gpf,l,f,t}, ant_YFPR_{gpf,l,f,t}$$

$$\geq 0 \text{ (binarias)}$$

[47]

[48]

Figura VI. Modelo PLEM asociado a NDT-CD4. Parte de Modelado: Campo de Decisión

A.2.2 Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 6

A.2.2.1 PLEM - Parte de Definición (I)

A.2.2.1.1 Indices

Índices Locales

Ítems en general

pf Productos finales (pf=1...pf)

Recursos

d² Nodos en la Sub-Etapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos) (d²=1...d)

pv	Puntos de venta (pv= 1...pv)
<i>Períodos de Planificación</i>	
t'	Períodos de Planificación (t' [semanas]=1...t')
<u>Índices por Interdependencia</u>	
<i>Ítems en general</i>	

<i>Recursos</i>	
d ¹	Nodos en la Sub-Etapa 1 de Distribución (ó Almacenes) (d ¹ =1... d ¹)
cdt	Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional (cdt =1...cdt)
cdo	Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional (cdo =1...cdo)
<i>Períodos de Planificación</i>	
t	(Grupos de) Períodos de Planificación (t [meses]=1...t)

Figura VII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (I): Indices

A.2.2.1.2 Conjuntos

<u>Conjuntos Locales</u>	
Conjuntos Locales Básicos	
<i>Ítems en general</i>	
PF	Conjunto de Productos finales
<i>Recursos</i>	
D ²	Conjunto de Nodos en la Sub-Etapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos)
PV	Conjunto de Puntos de venta
<i>Períodos de Planificación</i>	
T'	Conjunto de Períodos de Planificación

Conjuntos Locales Relacionales*Ítems en general-Ítems en general*

*Recursos-Recursos*PV(d²) Conjunto de puntos de venta a los que vende cada centro logístico.*Periodos de Planificación-Periodos de Planificación*

*Ítems en general-Recursos*PF(d²) Conjunto de productos finales que pueden transportarse a cada centro logístico.

PF(pv) Conjunto de productos finales que solicita cada punto de venta.

Ítems en general-Periodos de Planificación

Recursos -Periodos de Planificación

Conjuntos por Interdependencia**Conjuntos por Interdependencia Básicos***Ítems en general*

*Recursos*D¹ Conjunto de Nodos en la Sub-Etapa 1 de Distribución (ó Almacenes)

CDT Conjunto de Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional

CDO Conjunto de Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional

CDOV Conjunto de Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional “vendedores”

Periodos de Planificación

T Conjunto de (Grupos de) Periodos de Planificación

Conjuntos por Interdependencia Relacionales*Ítems en general-Ítems en general*

<i>Recursos-Recursos</i>
$D^1 (d^2)$ Conjunto de almacenes que suministran a cada centro logístico.
$D^2 (d^1)$ Conjunto de centros logísticos a los que suministra cada almacén.
<i>Periodos de Planificación-Periodos de Planificación</i>
$T(t)$ Conjunto de Periodos de Planificación que contiene cada (Grupo) de Periodos de Planificación.
<i>Ítems en general-Recursos</i>

<i>Ítems en general-Periodos de Planificación</i>

<i>Recursos -Periodos de Planificación</i>

Figura VIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (I): Conjuntos

A.2.2.2 PLEM - Parte de Definición (II)

A.2.2.2.1 Variables de Decisión

<u>Variables Locales</u>
<u>Ligadas a las ATs</u>
Sub-Etapa Distribución¹
<i>Transporte</i>
$CTR_{d^1, d^2, t'}$ Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada período'.
$TR_{pf, d^1, d^2, t'}$ Cantidad a transportar de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico en cada período'.
$YTR_{d^1, d^2, t'}$ Si existe o no transporte entre un almacén y un centro logístico en cada período'.
Sub-Etapa Distribución²
<i>Almacenamiento</i>
$IN_{pf, d^2, t'}$ Cantidad a almacenar de cada producto final en cada centro logístico en cada período'.

<p><i>Transporte</i></p> <p>$TR_{pf,d^2,pv,t}$ Cantidad a transportar de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta en cada periodo'.</p> <p><u>Ligadas a las AIs</u></p> <p><i>Compras</i></p> <p><i>CDOV:</i></p> <p>$CO_{pf,d^1,cdov,t}$ Cantidad a comprar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo'.</p> <p>$YCO_{pf,d^1,cdov,t}$ Variable binaria cuyo valor es 1 si se compra un producto final en un almacén a un centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en un periodo', y su valor es 0 en caso contrario.</p> <p><i>Ventas</i></p> <p><i>PV:</i></p> <p>$VE_{pf,pv,t}$ Cantidad a vender de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo'.</p> <p>$DIF_{pf,pv,t}$ Cantidad a diferir de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo'.</p> <p><u>Variables por Interdependencia</u></p> <p>CD^{Ti}</p> <p>$CDT=4:$</p> <p>$CTR^+_{d^1,d^2,t}$ Desviación positiva sobre capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período.</p> <p>CD^{Be}</p> <p>$CDO=4:$</p> <p>---</p>

Figura IX. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (II): Variables de Decisión

A.2.2.2.2 Parámetros

Parámetros Locales

M1,M2 Valores enteros muy grandes.

Ítems en general

v_{pf} Peso de cada producto final

Ligados a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

$cost_{tr_{pf,d}}^1$ Coste de transportar un m² de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico.

$cost_{tr_d}^1$ Coste fijo de transporte

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

cin_d^2 Capacidad (m²) de almacenamiento de cada centro logístico.

$cost_{in_{pf,d}}^2$ Coste de almacenar cada producto final en cada centro logístico.

$ss_{pf,d}^2$ Stock de seguridad de cada producto final en cada centro logístico.

$in0_{pf,d}^2$ Inventario inicial de cada producto final en cada centro logístico.

Transporte

$cost_{tr_{pf,d,pv}}^2$ Coste de transportar un m² de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta.

Ligados a las AIs

Compras

CDOV:

$cost_{co_{pf,d},cdov}^1$ Coste de compra de cada producto final en cada almacén respecto a cada centro de decisión perteneciente al entorno decisional “vendedor”.

Ventas

PV:

$dem_{pf,pv,t}$ Demanda de cada producto final en cada punto de venta en cada periodo’.

$maxdif_{pf,pv}$ Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada punto de venta.

$costdif_{pf,pv}$ Coste de diferir cada producto final en cada punto de venta.

$ing_{pf,pv}$ Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada punto de venta.

Parámetros por Interdependencia CD^{Ti} $CDT=4:$ ${}^{\circ}ctr_{d^1, d^2, t}$ Capacidad de transporte “objetivo” entre cada almacén y cada centro logístico en cada período. ${}^{\circ}maxctr^+_{d^1, d^2, t}$ Máxima desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período. ${}^{\circ}costctr^+_{d^1, d^2, t}$ Coste por desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período. CD^{Be} $CDO=4:$ $ant_lminve_{pf, d^1, cdo4}$ Lote mínimo de ventas de cada producto final en cada almacén del centro de decisión operativo 4.*Figura X. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Definición (II): Parámetros***A.2.2.3 PLEM - Parte de Modelado****A.2.2.3.1 Criterio****Criterio Local**

Max [z]=

Ligado a las ATs**Sub-Etapa Distribución¹***Transporte*

$$-\sum_{i'} \sum_{d^1} \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} \sum_{pf \in PF(d^2)} \text{costtr}_{pf, d^1, d^2} * TR_{pf, d^1, d^2, i'}$$

$$-\sum_{i'} \sum_{d^1} \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} \text{costftr}_{d^1, d^2} * YTR_{d^1, d^2, i'}$$

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*

$$-\sum_{i'} \sum_{d^2} \sum_{pf \in PF(d^2)} \text{costin}_{pf, d^2} * IN_{pf, d^2, i'}$$

Transporte

$$-\sum_{t'} \sum_{d^2} \sum_{pv \in PV(d^2)} \sum_{pf \in PF(pv)} \cos ttr_{pf, d^2, pv} * TR_{pf, d^2, pv, t'}$$

Ligado a las AIs

Compras

CDOV:

$$-\sum_{t'} \sum_{cdov} \sum_{d^1 \in D^1(cdov)} \sum_{pf \in PF(d^1)} \cos tco_{pf, d^1, cdov} * CO_{pf, d^1, cdov, t'}$$

Ventas

PV:

$$+\sum_{t'} \sum_{pv} \sum_{pf \in PF(pv)} \text{ing}_{pf, pv} * VE_{pf, pv, t'} - \sum_{t'} \sum_{pv} \sum_{pf \in PF(pv)} \cos tdif_{pf, pv, t'} * DIF_{pf, pv, t'}$$

Criterio por Interdependencias

CD^{Tr}

CDT=4:

$$-\sum_{t=1}^1 \sum_{d^2} \sum_{d^1 \in D^1(d^2)} \text{costctr}^+_{d^1, d^2} * CTR^+_{d^1, d^2, t}$$

CD^{Be}

CDO=4:

[1]

Figura XI. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Modelado: Criterio

A.2.2.3.2 Campo de Decisión

Campo de Decisión Local

Ligado a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

$$\sum_{pf \in PF(d^1)} (TR_{pf,d^1,d^2,t'} * v_{pf}) \leq CTR_{d^1,d^2,t'}, \forall d^1, d^2 \in D^2(d^1), t'$$

[2]

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

$$\sum_{d^1 \in D^1(d^2)} TR_{pf,d^1,d^2,t'} + IN_{pf,d^2,t'-1} = \sum_{pv \in PV(d^2)} TR_{pf,d^2,pv,t'} + IN_{pf,d^2,t'}, \forall d^2, pf \in PF(d^2), t'$$

[3]

Limitaciones de Recursos (LR)

$$\sum_{pf \in PF(d^2)} IN_{pf,d^2,t'} \leq cin_{d^2}, \forall d^2, t'$$

[4]

Políticas

$$IN_{pf,d^2,t'} \geq ss_{pf,d^2}, \forall d^2, pf \in PF(d^2), t'$$

[5]

Transporte

Ligado a las AIs

Compras

CDOV:

$$CO_{pf,d^1,cdov,t'} = \sum_{d^2 \in D^2(d^1)} TR_{pf,d^1,d^2,t'}, \forall pf, d^1 \in D^1(pf), t'$$

[6]

Ventas

PV:

$$TR_{pf,d^2,pv,t'} = VE_{pf,pv,t'}, \forall pv, d^2 \in D^2(pv), pf \in PF(pv), t'$$

$$VE_{pf,pv,t'} + DIF_{pf,pv,t'} = dem_{pf,pv,t'} + DIF_{pf,pv,t'-1}, \quad \forall pf, pv, t' \quad [7]$$

$$DIF_{pf,pv,t'} \leq \max dif_{pf,pv} * dem_{pf,pv,t'}, \quad \forall pf, p, t' \quad [8]$$

$$DIF_{pf,pv,t'} \leq \max dif_{pf,pv} * dem_{pf,pv,t'}, \quad \forall pf, p, t' \quad [9]$$

Campo de Decisión por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4:$

$$CTR_{d^1,d^2,t'} - CTR^+_{d^1,d^2,t'} = \text{ctr}_{d^1,d^2,t'} / 4, \quad \forall d^1, d^2 \in D^2(d^1), t' \in T'(t), t=1 \quad [10]$$

$$CTR^+_{d^1,d^2,t'} \leq \max ctr^+_{d^1,d^2,t'} * CTR_{d^1,d^2,t'}, \quad \forall d^1, d^2, t' \quad [11]$$

CD^{Be}

$CDO=4:$

$$CO_{pf,d^1,cdo4,t'} \geq ant - l \min ve_{pf,d^1,cdo4} * YCO_{pf,d^1,cdo4,t'}, \quad \forall pf, d^1 \in D^1(pf), t' \quad [12]$$

Campo de Decisión (Restricciones Lógicas)

$$CO_{pf,d^1,cdo4,t'} \leq M1 * YCO_{pf,d^1,cdo4,t'}, \quad \forall pf, d^1 \in D^1(pf), t' \quad [13]$$

$$\sum_{pf \in PF(d^1)} TR_{pf,d^1,d^2,t'} \leq M2 * YTR_{d^1,d^2,t'}, \quad \forall d^1 \in D^1(pf), d^2 \in D^2(d^1), t' \quad [14]$$

Campo de Decisión (Restricciones Técnicas)

$$CO_{pf,d^1,cdo4,t'}, TR_{pf,d^1,d^2,t'}, IN_{pf,d^2,t'}, TR_{pf,d^2,pv,t'}, VE_{pf,pv,t'}, DIF_{pf,pv,t'} \geq 0$$

$$YCO_{pf,d',edov,t'}, YTR_{d',d',t'} \geq 0 \text{ (binarias)}$$

[15]

Figura XII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD6. Parte de Modelado: Campo de Decisión

A.2.3 Nivel Decisional Operativo - Centro de Decisión 4

A.2.3.1 PLEM - Parte de Definición (I)

A.2.3.1.1 Indices

Índices Locales

Ítems en general

mp Materia prima (mp=1...mp)

pf Productos finales (pf=1...pf)

Recursos

F Nodos en la Etapa Fabricación/Montaje-1 (ó Plantas) (f=1...f)

d¹ Nodos en la Sub-Etapa 1 de Distribución (ó Almacenes) (d¹=1...d¹)

l Alternativas de Producción de la etapa intra-nodo 2 de cada una de las Plantas (ó Líneas de fabricación) (l=1...l)

pv Puntos de venta (pv= 1...pv)

Periodos de Planificación

t' Períodos de Planificación (t' [semanas]=1...t')

Índices por Interdependencia

Ítems en general

gpf Grupos de Productos finales (gpf=1...gpf)

Recursos

p Nodos en la Etapa Proveedores (p=1...p)

s Subcontratistas (s=1...s)

d² Nodos en la Sub-Etapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos) (d²=1...d²)

cdt	Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional (cdt =1...cdt)
cdo	Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional (cdo =1...cdo)
<i>Períodos de Planificación</i>	
t	(Grupos de) Períodos de Planificación (t [meses]=1...t)

Figura XIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (I): Indices

A.2.3.1.2 Conjuntos

<u>Conjuntos Locales</u>	
Conjuntos Locales Simples	
<i>Ítems en general</i>	
MP	Conjunto de Materia prima
MPF	Conjunto de Productos finales
PF1	Conjunto de Productos finales que no se subcontratan
PF2	Conjunto de Productos finales que pueden subcontratarse
PF3	Conjunto de Productos finales que se subcontratan totalmente
<i>Recursos</i>	
F	Conjunto de Nodos en la Etapa Fabricación/Montaje-1 (ó Plantas)
D ¹	Conjunto de Nodos en la Sub-Etapa 1 de Distribución (ó Almacenes)
L	Conjunto de Alternativas de Producción de la etapa intra-nodo 2 de cada una de las Plantas (ó Líneas de fabricación)
PV	Conjunto de Puntos de Venta
<i>Períodos de Planificación</i>	
T'	Conjunto de Períodos de Planificación
Conjuntos Locales Relacionales	
<i>Ítems en general-Items en general</i>	

<i>Recursos-Recursos</i>	

L(f)	Conjunto de líneas de fabricación ubicadas en cada planta.
F(d ¹)	Conjunto de plantas que envían a cada almacén.
<i>Periodos de Planificación-Periodos de Planificación</i>	

<i>Ítems en general-Recursos</i>	
PF(f)	Conjunto de productos finales que pueden fabricarse en cada planta.
PF(l)	Conjunto de productos finales que pueden fabricarse en cada línea de fabricación.
PF(d ¹)	Conjunto de productos finales que pueden almacenarse en cada almacén.
PF(pv)	Conjunto de productos finales que solicita cada punto de venta.
<i>Ítems en general-Periodos de Planificación</i>	

<i>Recursos -Periodos de Planificación</i>	

<u>Conjuntos por Interdependencia</u>	
Conjuntos por Interdependencia Simples	
<i>Ítems en general</i>	
GPF	Conjunto de Grupos de Productos finales
<i>Recursos</i>	
P	Conjunto de Nodos en la Etapa Proveedores
S	Conjunto de Subcontratistas
D ²	Conjunto de Nodos en la Sub-Etapa 2 de Distribución (ó Centros Logísticos)
CDT	Conjunto de Centros de Decisión Tácticos pertenecientes al Entorno Decisional
CDO	Conjunto de Centros de Decisión Operativos pertenecientes al Entorno Decisional
CDOC	Conjunto de Centros de decisión operativos pertenecientes al entorno decisional “compradores”
CDOV	Conjunto de Centros de decisión operativos pertenecientes al entorno decisional “vendedores”
<i>Periodos de Planificación</i>	
T	Conjunto de (Grupos de) Periodos de Planificación
Conjuntos por Interdependencia Relacionales	

<p><i>Ítems en general-Items en general</i></p> <p>PF(mp) Conjunto de productos finales de los que forma parte cada materia prima.</p> <p>PF(gpf) Conjunto de productos finales que pertenecen a cada grupo de productos finales.</p> <p><i>Recursos-Recursos</i></p> <p>P(f) Conjunto de proveedores que pueden aprovisionar a cada planta.</p> <p>S(f) Conjunto de subcontratistas que pueden aprovisionar a cada planta.</p> <p>D² (d¹) Conjunto de centros logísticos que son aprovisionados por cada planta.</p> <p><i>Periodos de Planificación-Periodos de Planificación</i></p> <p>T'(t) Conjunto de Periodos de Planificación que contiene cada (Grupo) de Periodos de Planificación.</p> <p><i>Ítems en general-Recursos</i></p> <p>P(mp) Conjunto de proveedores que pueden suministrar cada materia prima.</p> <p>GPF(l) Conjunto de grupos de productos finales que pueden fabricarse en cada línea de fabricación.</p> <p><i>Ítems en general-Periodos de Planificación</i></p> <p>---</p> <p><i>Recursos -Periodos de Planificación</i></p> <p>---</p>

Figura XIV. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (I): Conjuntos

A.2.3.2 PLEM - Parte de Definición (II)

A.2.3.2.1 Variables de Decisión

<p><u>Variables Locales</u></p> <p><u>Ligadas a las ATs</u></p> <p>Etapa Proveedores</p> <p><i>Transporte</i></p> <p>$TR_{mp,p,f,t}$ Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada periodo'.</p> <p>Etapa Fabricación-Montaje</p>

Almacenamiento_3

$IN_{mp,ft}$: Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada período’.

Producción_2

$C_{l,ft}$: Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período’.

$CEX_{l,ft}$: Capacidad extra (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada período’.

$PR_{gpf,l,ft}$: Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada período’

$PR_{p,l,ft}$: Cantidad a producir de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta en cada período’

$YPR_{gpf,l,ft}$: Variable binaria cuyo valor es 1 si un grupo de productos finales se ha decidido fabricar en una línea de fabricación de una planta en un período’, y su valor es de 0 en caso contrario.

$YPR_{p,l,ft}$: Variable binaria cuyo valor es 1 si un producto final se ha decidido fabricar en una línea de fabricación de una planta en un período’, y su valor es de 0 en caso contrario.

$YFPR_{gpf,l,ft}$: Variable binaria cuyo valor es 1 si se efectúa un cambio de partida de un grupo de productos finales en una línea de fabricación de una planta en un período’, y su valor es 0 en caso contrario.

$YFPR_{p,l,ft}$: Variable binaria cuyo valor es 1 si se efectúa un cambio de partida de un producto final en una línea de fabricación de una planta en un período’, y su valor es 0 en caso contrario.

Transporte

TR_{pfd}^1 : Cantidad a transportar de cada producto final desde cada planta a cada almacén en cada período’

Sub-Etapa Distribución¹**Almacenamiento**

IN_{pfd}^1 : Cantidad a almacenar de cada producto final en cada almacén en cada período’.

Ligadas a las AIs**Compras****CDOV:**

$CO_{mp,p,cdov,t}$: Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período’.

CO_{pfd}^1 : Cantidad a comprar/subcontratar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada período’.

<p><i>Ventas</i></p> <p><i>CDOC:</i></p> <p>$VE_{pf,d}^1$, $_{,cdoc,t}$ Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “comprador” en cada periodo’.</p> <p><i>PV:</i></p> <p>$VE_{pf,d}^1$, $_{,pv,t}$ Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo’.</p> <p>$DIF_{pf,d}^1$, $_{,pv,t}$ Cantidad a diferir de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta en cada periodo’.</p> <p><u>Variables por Interdependencia</u></p> <p>CD^{Ti}</p> <p><i>CDT=4:</i></p> <p>$IN_{gpf,d}^+$, $_{,t}$ Desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada periodo.</p> <p>$IN_{gpf,d}^-$, $_{,t}$ Desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada periodo.</p> <p>CD^{Te}</p> <p><i>CDO=6:</i></p> <p>---</p> <p><i>CDO=7:</i></p> <p>---</p> <p>CD^{Be}</p> <p><i>CDO=1, CDO=2, CDO=3, CDO=5:</i></p> <p>---</p>

Figura XV. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (II): Variables de Decisión

A.2.3.2.2 Parámetros

Parámetros Locales

$M1, M2$ enteros muy grandes.

Ítems en general

$rendm_{pf}$ Coeficiente de mermas de cada producto final.

$rendb_{pf}$ Coeficiente de 1ª calidad de cada producto final.

$lismat_{mp,pf}$ Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada productos final.

Ligados a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

$costtr_{mp,pf}$ Coste de transporte de una unidad de materia prima desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

$costin_{mp,f}$ Coste de almacenar cada materia prima en cada planta.

$ss_{mp,f}$ Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

$tpr_{pf,l,f}$ Tiempo unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

$tfpr_{gp,l,f}$ Tiempo de setup de cada producto final en cada la línea de fabricación de cada planta.

$tfpr_{gp,l,f}$ Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

$costpr_{pf,l,f}$ Coste unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

$costfpr_{pf,l,f}$ Coste de setup de cada producto final en cada línea de fabricación en cada planta.

$costfpr_{gp,l,f}$ Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

$lminpr_{pf,l,f}$ Lote mínimo de fabricación de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

Transporte

$costtr_{,pf,d}^1$ Coste de transporte desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

$costin_{pf,d}^1$ Coste de almacenar cada producto final en cada almacén.

$in0_{pf,d}^1$ Inventario inicial de cada producto final en cada almacén.

Ligados a las AIs*Compras**CDOV:*

$costco_{mp,p,cdtv}$ Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

$costco_{gpf,s,cdtv}$ Coste de compra/subcontratar cada producto final a cada subcontratista de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

*Ventas**CDOC:*

$ing_{pf,d}^1,cdoc$ Ingreso obtenido (por m^2) por la venta de cada producto final en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “compradores”.

PV:

$dem_{pf,d}^1,pv,t'$ Demanda de cada producto final en cada almacén por cada punto de venta en cada periodo’.

$maxdif_{pf,d}^1,pv$ Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta .

$costdif_{pf,d}^1,pv$ Coste de diferir cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

$ing_{pf,d}^1,pv$ Ingreso obtenido (por m^2) por la venta de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

Parámetros por Interdependencia CD^{Ti} $CDT=4:$

$^o c_{l,f,t}$ Capacidad normal “objetivo” en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo

$^o in_{gpf,d}^1,t$ Cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.

$^o maxin^-_{gpf,d}^1,t$ Máxima desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

$^o maxin^+_{gpf,d}^1,t$ Máxima desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.

<p>${}^{\circ}costin^{-}_{gpf,d,t}$ Coste por desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.</p> <p>${}^{\circ}costin^{+}_{gpf,d,t}$ Coste por desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período.</p> <p>CD^{Te}</p> <p>$CDO=6:$</p> <p>${}^{\circ}co_{pfd}^{1}_{cdo6,t}$ Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 6 en cada período’.</p> <p>$CDO=7:$</p> <p>${}^{\circ}co_{pfd}^{1}_{cdo7,t}$ Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 7 en cada período’.</p> <p>CD^{Be}</p> <p>$CDO=1, CDO=2, CDO=3:$</p> <p>$ant_cve_{mp,p}$ Capacidad máxima de ventas (mensual) de cada materia prima de cada proveedor perteneciente a dichos centros de decisión operativos.</p> <p>$CDO=5:$</p> <p>ant_cve_{pfs} Capacidad máxima de ventas (mensual) de cada producto final por parte de cada subcontratistas del centro de decisión operativo 5.</p>

Figura XVI. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Definición (II): Parámetros

A.2.3.3 PLEM - Parte de Modelado

A.2.3.3.1 Criterio

Criterio Local

Max [z]=

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

$$-\sum_{t'} \sum_f \sum_{p \in P(f)} \sum_{mp \in MP(p)} costtr_{mp,p,f} * TR_{mp,p,f,t'}$$

Etapa Fabricación-Montaje*Almacenamiento_3*

$$- \sum_{t'} \sum_f \sum_{mp} \cos tin_{mp,f} * IN_{mp,f,t'}$$

Producción_2

$$- \sum_{t'} \sum_f \sum_{l \in L(f)} \sum_{pf \in PF(l)} \cos tpr_{pf,l,f} * PR_{pf,l,f,t'}$$

$$- \sum_{t'} \sum_f \sum_{l \in L(f)} \sum_{gpf \in GPF(l)} \cos tfpr_{gpf,l,f} * YFPR_{gpf,l,f,t'} - \sum_{t'} \sum_f \sum_{l \in L(f)} \sum_{pf \in PF(l)} \cos tfpr_{pf,l,f} * YFPR_{pf,l,f,t'}$$

$$- \sum_{t'} \sum_f \sum_{l \in L(f)} \cos tcex_{l,f} * CEX_{l,f,t}$$

Transporte

$$- \sum_{t'} \sum_f \sum_{d^1 \in D^1(f)} \sum_{pf \in PF(f)} \cos ttr_{pf,f,d^1} * TR_{pf,f,d^1,t'}$$

Sub-Etapa Distribución¹*Almacenamiento*

$$- \sum_{t'} \sum_{d^1} \sum_{pf \in PF(d^1)} \cos tin_{pf,d^1} * IN_{pf,d^1,t'}$$

Ligado a las AIs*Compras**CDOV:*

$$- \sum_{t'} \sum_{cdov} \sum_{p \in P(cdov)} \sum_{mp \in MP(p)} \cos tco_{mp,p,cdov} * CO_{mp,p,cdov,t'}$$

$$- \sum_{t'} \sum_{cdov} \sum_{d^1 \in D^1(cdov)} \sum_{pf \in PF(d^1)} \cos tco_{pf,d^1,cdov} * CO_{pf,d^1,cdov,t'}$$

*Ventas**CDOC:*

$$+ \sum_{t'} \sum_{cdoc} \sum_{d^1 \in D^1(cdoc)} \sum_{pf} \text{ing}_{pf,d^1,cdoc} * VE_{pf,d^1,cdoc,t'}$$

PV:

$$+ \sum_{t'} \sum_{pv} \sum_{d^1 \in D^1(pv)} \sum_{pf \in PF(d^1)} \text{ing}_{pf,d^1,pv} * VE_{pf,d^1,pv,t'} - \sum_{t'} \sum_{pv} \sum_{d^1} \sum_{pf \in PF(d^1)} \cos \text{tdif}_{pf,d^1,pv} * DIF_{pf,d^1,pv,t'}$$

Criterio por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4:$

$$- \sum_{t=1}^2 \sum_{d^1} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \cos \text{tin}^+_{gpf,d^1} * IN^+_{gpf,d^1,t} - \sum_{t=1}^2 \sum_{d^1} \sum_{gpf \in GPF(d^1)} \cos \text{tin}^-_{gpf,d^1} * IN^-_{gpf,d^1,t}$$

CD^{Te}

$CDO=6: CDO=7:$

CD^{Be}

$CDO=1, CDO=2, CDO=3, CDO=5:$

[1]

Figura XVII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Modelado: Criterio

A.2.3.3.2 Campo de Decisión

Campo de Decisión Local

Ligado a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Limitaciones de Materiales (LM).

$$\sum_{p \in P(mp)} TR_{mp,p,f,t'} + IN_{mp,f,t'-1} = \sum_{pf \in PF(mp)} \sum_{l \in L(f)} (lismat_{mp,pf} * PR_{pf,l,f,t'}) + IN_{mp,f,t'}$$

$\forall f, mp \in MP(f), t'$

[2]

Políticas (PO)

$$IN_{mp,f,t'} \geq SS_{mp,f}, \forall f, mp \in MP(f), t'$$

[3]

Producción_2Limitaciones de Recursos (LR)

$$\sum_{gpf \in GPF(l)} tfpr_{gpf,l,f} * YFPR_{gpf,l,f,t'} + \sum_{pf \in PF(l)} (tfpr_{pf,l,f} * YFPR_{pf,l,f,t'} + tpr_{pf,l,f} * PR_{pf,l,f,t'}) \leq C_{l,f,t'} + CEX_{l,f,t'}$$

$$\forall f, l \in L(f), t'$$

[4]

$$CEX_{l,f,t'} \leq 0.3 * C_{l,f,t'} \quad \forall f, l \in L(f), t'$$

[5]

$$PR_{gpf,l,f,t'} = \sum_{pf \in PF(gpf)} PR_{pf,l,f,t'}, \forall f, l \in L(f), gpf \in GPF(l), t'$$

[6]

$$YFPR_{gpf,l,f,t'} \geq YPR_{gpf,l,f,t'} - YPR_{gpf,l,f,t'-1}$$

[7]

$$\sum_{gpf} YFPR_{gpf,l,f,t'} \geq \sum_{gpf} YPR_{gpf,l,f,t'} - 1$$

[8]

$$YFPR_{pf,l,f,t'} \geq YPR_{pf,l,f,t'} - YPR_{pf,l,f,t'-1}$$

[9]

$$\sum_{pf} YFPR_{pf,l,f,t'} \geq \sum_{pf} YPR_{pf,l,f,t'} - 1$$

[10]

Limitaciones de Materiales (LM)

$$\sum_{d^1 \in D^1(f)} TR_{pf,f,d^1,t'} = \sum_{l \in L(f)} (PR_{pf,l,f,t'} * rendb_{pf} * (1 - rendm_{pf})), \forall f, pf \in PF(f), t'$$

[11]

Políticas (PO)

$$PR_{pf,l,f,t'} \geq l \min pr_{pf,l,f} * YPR_{pf,l,f,t'} \quad \forall f, l \in L(f), pf \in PF(l), t'$$
[12]

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Limitaciones de Materiales (LM).

$$\sum_{f \in F(d^1)} TR_{pf,f,d^1,t'} + IN_{pf,d^1,t'-1} = \sum_{cdoc \in CDOC(d^1)} VE_{pf,d^1,cdoc,t'} + \sum_{pv \in PV(d^1)} VE_{pf,d^1,pv,t'} + IN_{pf,d^1,t'}$$

$$\forall d^1, pf \in CPF1, t'$$
[13]

$$\sum_{f \in F(d^1)} TR_{pf,f,d^1,t'} + \sum_{cdov \in CDOV(d^1)} CO_{pf,d^1,cdov,t'} + IN_{pf,d^1,t'-1} =$$

$$\sum_{cdoc \in CDOC(d^1)} VE_{pf,d^1,cdoc,t'} + \sum_{pv \in PV(d^1)} VE_{pf,d^1,pv,t'} + IN_{pf,d^1,t'}$$

$$, \quad \forall d^1, pf \in CPF2, t'$$
[14]

$$\sum_{cdov \in CDOV(d^1)} CO_{pf,d^1,cdov,t'} + IN_{pf,d^1,t'-1} = \sum_{cdoc \in CDOC(d^1)} VE_{pf,d^1,cdoc,t'} + \sum_{pv \in PV(d^1)} VE_{pf,d^1,pv,t'} + IN_{pf,d^1,t'}$$

$$, \quad \forall d^1, pf \in CPF3, t'$$
[15]

Ligado a las AIs

Compras

CDOV:

$$CO_{mp,p,cdov,t'} = \sum_{f \in F(p)} TR_{mp,p,f,t'} \quad , \quad \forall mp, p \in P(mp), t'$$
[16]

Ventas

PV:

$$VE_{pf,d^1,pv,t'} + DIF_{pf,d^1,pv,t'} = dem_{pf,d^1,pv,t'} + DIF_{pf,d^1,pv,t'-1} \quad , \quad \forall pf, d^1, pv, t'$$
[17]

$$DIF_{pf,d^1,pv,t'} \leq \max dif_{pf,d^1,pv,t'} * dem_{pf,d^1,pv,t'} \quad , \quad \forall pf, d^1, pv, t' \quad [18]$$

Campo de Decisión por Interdependencias

CD^{Ti}

$CDT=4:$

$$C_{l,f,t'} = c_{l,f,t} / 4 \quad , \quad \forall l, f, t' \in T'(t), t=1 \quad [19]$$

$$\sum_{t' \in T'(t)} \sum_{pf \in PF(gp f)} IN_{pf,d^1,t'} + IN^-_{gp f,d^1,t} - IN^+_{gp f,d^1,t} = in_{gp f,d^1,t} \quad , \quad \forall gp f, d^1, t \quad [20]$$

$$IN^-_{gp f,d^1,t} \leq \max in^-_{gp f,d^1} * in_{gp f,d^1,t} \quad , \quad \forall gp f, d^1, t \quad [21]$$

$$IN^+_{gp f,d^1,t} \leq \max in^+_{gp f,d^1} * in_{gp f,d^1,t} \quad , \quad \forall gp f, d^1, t \quad [22]$$

CD^{Te}

$CDO=6:$

$$VE_{pf,d^1,cdo6,t'} = co_{pf,d^1,cdo6,t'} \quad , \quad \forall pf, d^1, t \quad [23]$$

$CDO=7:$

$$VE_{pf,d^1,cdo7,t'} = co_{pf,d^1,cdo7,t'} \quad , \quad \forall pf, d^1, t' \quad [24]$$

CD^{Be}

$CDO=1$; $CDO=2$; $CDO=3$:

$$\sum_{t' \in T'(t)} CO_{mp,p,t'} \leq ant_cve_{mp,p,t}, \forall mp, p \in P(mp), t=1 \quad [25]$$

$CDO=5$:

$$\sum_{t' \in T'(t)} \sum_{d^1 \in D^1(s)} CO_{pf,d^1,s,t'} \leq ant_cve_{pf,s,t}, \forall pf \in CPF2, s \in S(pf), t=1 \quad [26]$$

$$\sum_{t' \in T'(t)} \sum_{d^1 \in D^1(s)} CO_{pf,d^1,s,t'} \leq ant_cve_{pf,s,t}, \forall pf \in CPF3, s \in S(pf), t=1 \quad [27]$$

Campo de Decisión (Restricciones Lógicas)

$$PR_{gpf,l,f,t'} \leq M1 * YPR_{gpf,l,f,t'}, \forall f, l \in L(f), gpf \in GPF(l), t' \quad [28]$$

$$PR_{pf,l,f,t'} \leq M2 * YPR_{pf,l,f,t'}, \forall f, l \in L(f), pf \in PF(l), t' \quad [29]$$

Campo de Decisión (Restricciones Técnicas)

$$TR_{mp,p,f,t'}, IN_{mp,f,t'}, C_{l,f,t'}, CEX_{l,f,t'}, PR_{gpf,l,f,t'}, PR_{pf,l,f,t'}, TR_{pff,d^1,t'}, IN_{pff,d^1,t'}, CO_{mp,p,cdov,t'}, CO_{pff,d^1,cdov,t'}, \\ VE_{pff,d^1,cdoc,t'}, VE_{pff,d^1,pv,t'}, DIF_{pff,d^1,pv,t'}, IN^+_{gpf,d^1,t'}, IN^-_{gpf,d^1,t'} \geq 0 \\ YPR_{gpf,l,f,t'}, YPR_{pf,l,f,t'}, YFPR_{gpf,l,f,t'}, YFPR_{pf,l,f,t'} \geq 0 \text{ (binarias)} \quad [30]$$

Figura XVIII. Modelo PLEM asociado a NDO-CD4. Parte de Modelado: Campo de Decisión

A.3 Herramientas empleadas para el Modelado y Resolución de los diferentes Modelos.

Para poder llevar a cabo la ejecución de los diferentes Modelos PLEM, correspondientes a CDT4, CDO6 y CDO4, se ha diseñado un fichero MPL para cada uno de ellos y dos ficheros como bases de

datos, siendo utilizado el primero de ellos por CDT4 y el segundo por CDO6 y CDO4. En ellos se almacenan tanto los valores de los índices/conjuntos y parámetros del modelo como los resultados de las variables de decisión una vez ejecutado dichos modelos.

Para la ejecución de los modelos se ha empleado la herramienta informática MPL Solver System 4.2 conjuntamente con el motor de resolución GUROVI 4.5.1. Dicha herramienta informática lee los ficheros MPL, en los cuales se han traducido los modelos matemáticos según la sintaxis específica de la herramienta, y efectúa la lectura de los datos necesarios para la resolución de los modelos de la correspondiente base de datos, volcando en la misma los resultados obtenidos para las diversas Variables de Decisión definidas.

A continuación se describen las distintas bases de datos definidas para la ejecución de los distintos Modelos, así como sus ficheros MPL correspondientes.

A.3.1 Estructura de las Bases de Datos

Se han diseñado dos Bases de Datos, empleando la herramienta informática Microsoft Office Access 2002.

Dichas Bases de Datos (una asociada al Modelo PLEM asociado al CDT4 y la otra a los Modelos PLEM de CDO6 y CDO4) dan soporte a la ejecución de los mismos y almacenan toda la información referente a los índices/conjuntos y parámetros necesaria para su resolución. Asimismo, también contienen las tablas necesarias para recuperar los resultados generados por su ejecución mediante el empleo de la herramienta informática MPL Solver System.

A continuación se muestran todas las tablas definidas en la base de datos para almacenar la información relativa a los índices/conjuntos, parámetros, variables de decisión y el valor de la Función Objetivo y de las diferentes Macros definidas en el fichero MPL.

Como se puede observar, se ha empleado un prefijo al inicio del nombre de cada tabla para indicar a qué tipo de elemento del Modelo PLEM corresponde la información almacenada en dicha tabla, por ejemplo el prefijo “In” indica que la tabla se corresponde con un índice, el prefijo “Ci” con un conjunto de índices, el prefijo “Pr” con un parámetro, el prefijo “VarDec” con una variable de decisión y la tabla nombrada como “Funcion_Objetivo” almacena el valor de la Función Objetivo y las correspondientes Macros definidas.

Todas las tipologías de tablas mencionadas, menos las referentes a variables de decisión y a la Función Objetivo/Macros, almacenan Información de Entrada para la resolución de los Modelos, mientras que el resto de tablas, las correspondientes a las Variables de Decisión y a la Función Objetivo/Macros, son tablas donde se vuelca la información generada a partir de la ejecución de los mismos.

A.3.1.1 Base de Datos asociada a CDT4

A continuación se muestran algunos “pantallazos” de las diferentes Tablas definidas para CDT4.

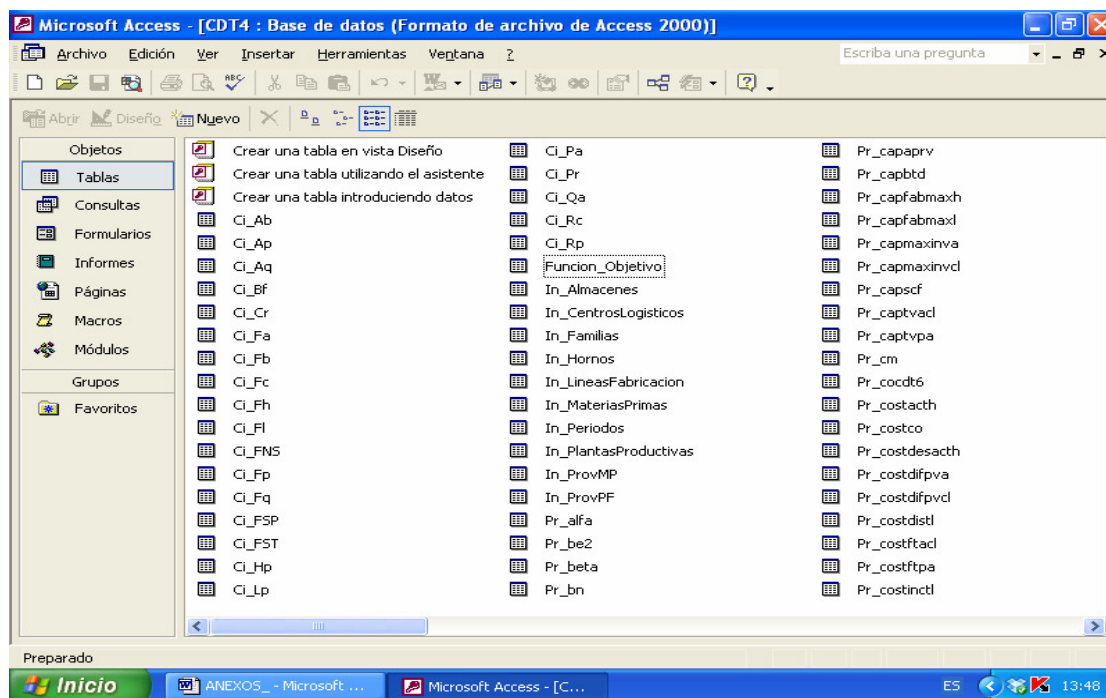


Figura XIX. Base de datos asociada a CDT4 (I)

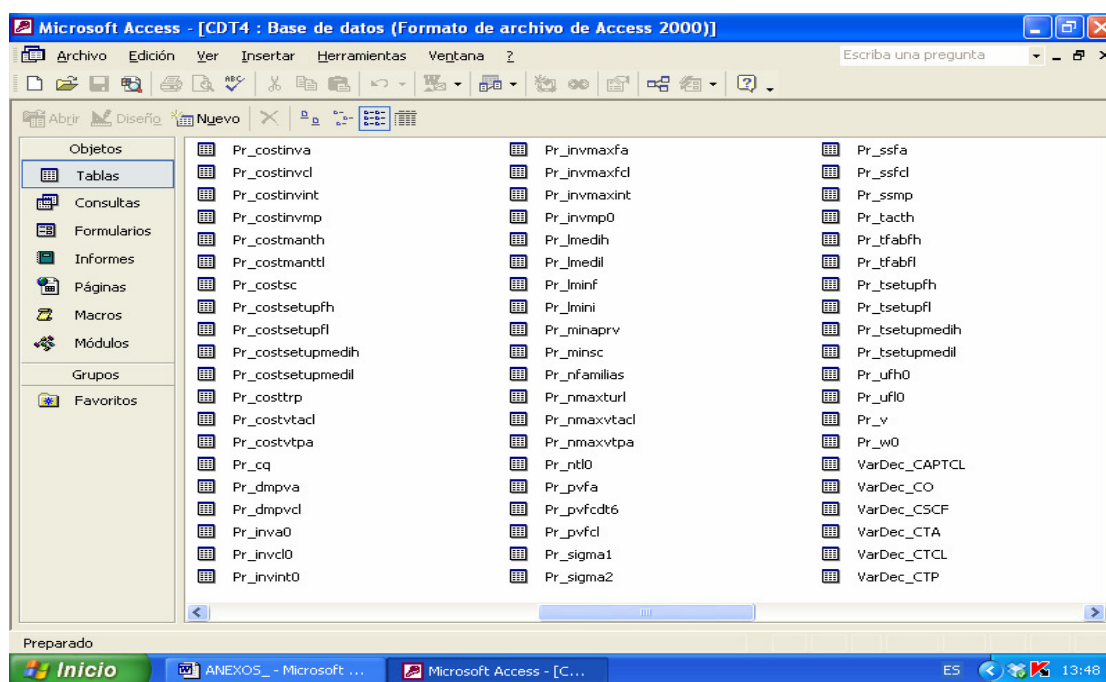


Figura XX. Base de datos asociada a CDT4 (II)

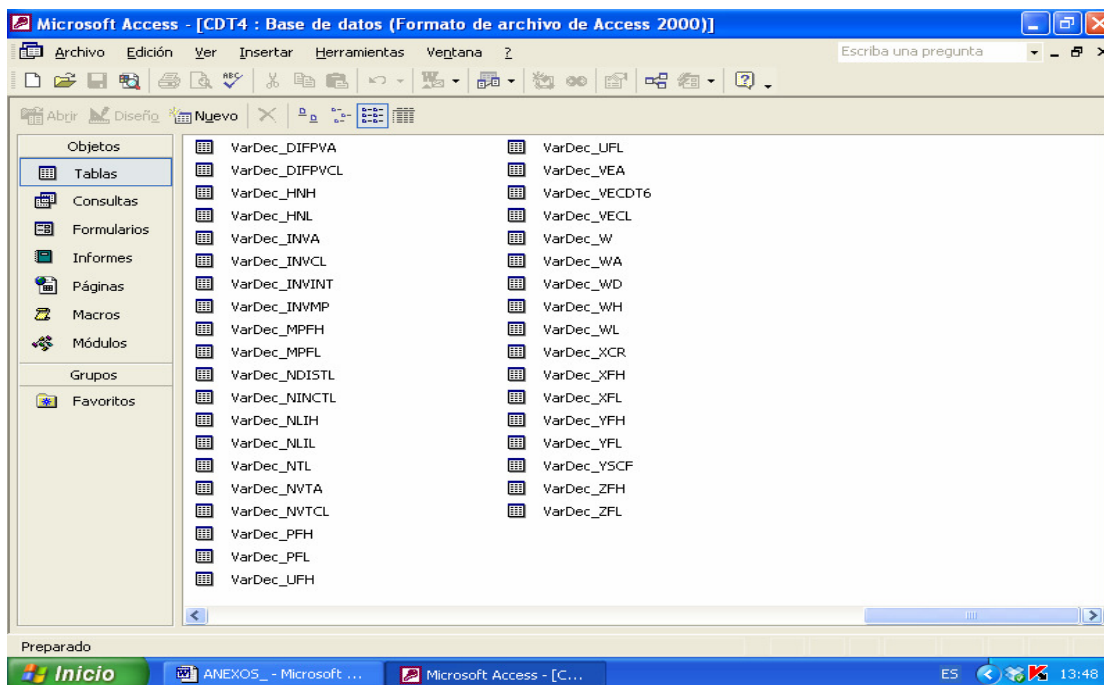


Figura XXI. Base de datos asociada a CDT4 (III)

A.3.1.2 Base de Datos asociada a CDO6 y CDO4

A continuación se muestran algunos “pantallazos” de las Tablas definidas para CDO6 y CDO4.

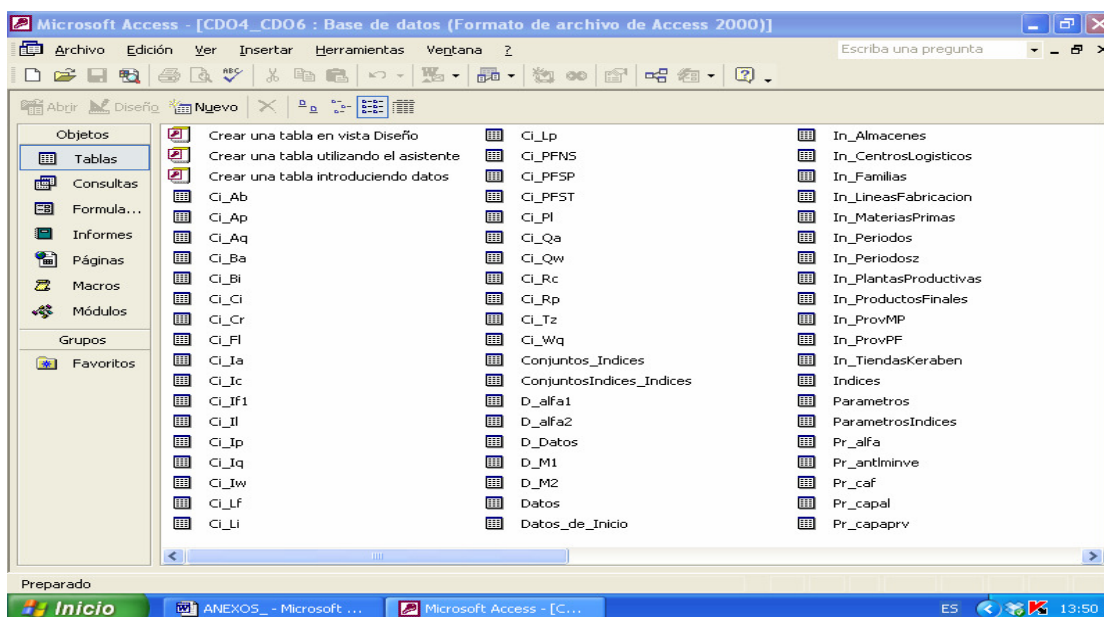


Figura XXII. Base de datos asociada a CDO6 y CDO4 (I)

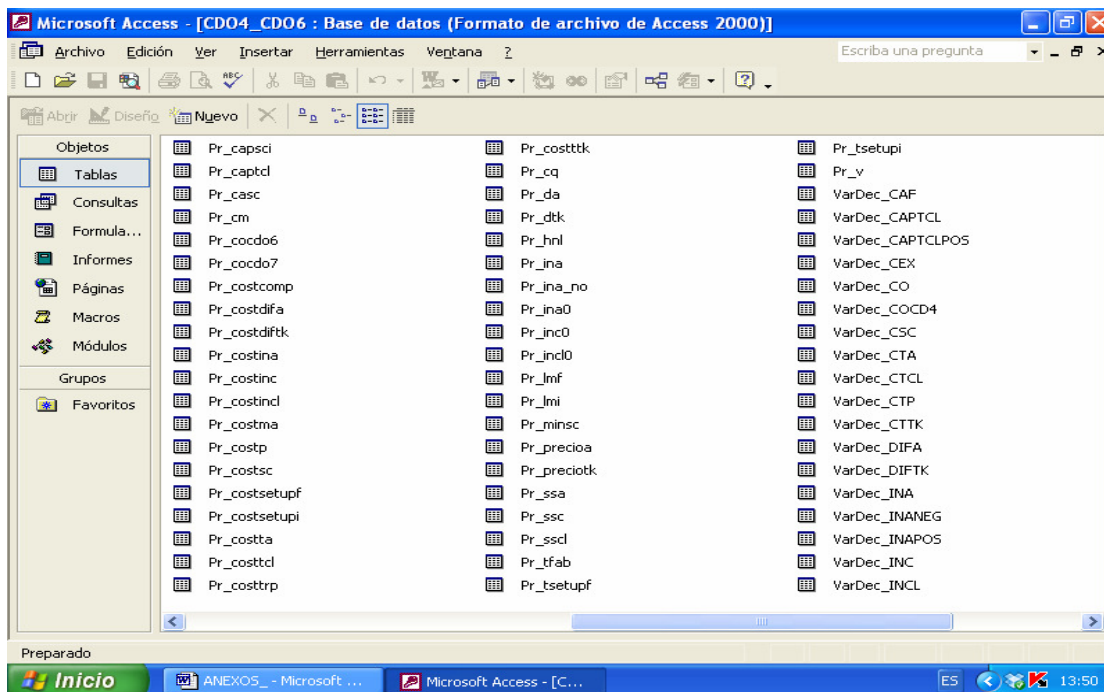


Figura XXIII. Base de datos asociada a CDO6 y CDO4 (II)

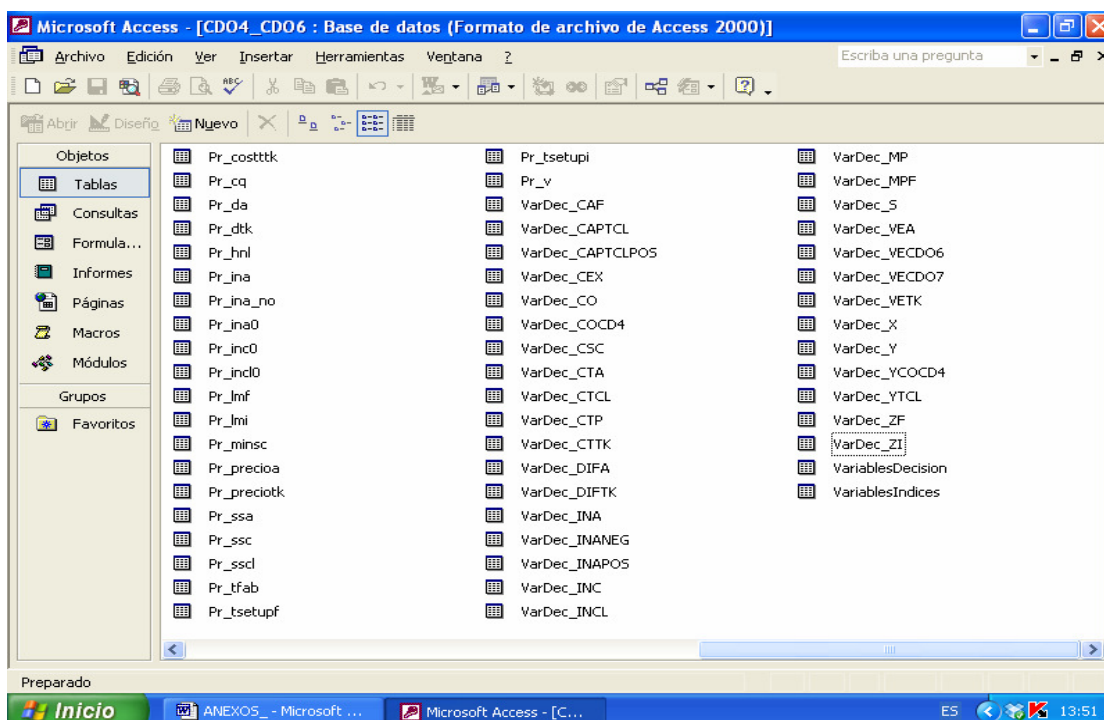


Figura XXIV. Base de datos asociada a CDO6 y CDO4 (III)

A.3.2 Ficheros MPL.

A.3.2.1 Estructura general

Los ficheros MPL se dividen en 12 secciones:

- **Title:** donde se indica el nombre del fichero.
- **Options:** en los que se indica el motor de base de datos que se va a utilizar y el nombre de la base de datos a utilizar.
- **Index:** donde se definen, con la sintaxis adecuada, los Índices considerados en el modelo matemático y su correspondiente conexión con la base de datos desde donde se leerán.
 - En este apartado, también se define “**Sets**”, que equivalen a los Conjuntos de índices.
- **Data:** donde se definen, con la sintaxis adecuada, los Parámetros considerados en el modelo matemático y su correspondiente conexión con la base de datos desde donde se leerán.
 - En esta sección se distingue entre aquellos que son Locales y aquellos por Interdependencias.
- **Decision Variables:** donde se definen, con la sintaxis adecuada, las Variables de Decisión consideradas en el modelo matemático y su correspondiente conexión con la base de datos donde se volcarán los resultados obtenidos.
 - En esta sección se distingue entre aquellas que son Locales y aquellas por Interdependencias.
- **Macros:** donde se definen operaciones matemáticas para el cálculo de valores globales.
- **Model:** donde se especifica, con la adecuada sintaxis, la Función Objetivo (Criterio) del modelo matemático.
- **Subject to:** donde se detallan, con la sintaxis adecuada, las restricciones (Campo de Decisión) del modelo matemático.
 - En esta sección se distingue entre aquellas que son Locales y aquellas por Interdependencias.
 - También se incluyen las restricciones “lógicas” y las “técnicas”.
- **Bounds:** donde se especifica los valores mínimos y/o máximos correspondientes a las variables de decisión.
- **Integers:** donde se enumeran las variables de decisión que deben ser consideradas como enteras por el motor de resolución.
- **Binary:** donde se enumeran las variables de decisión que deben ser consideradas como binarias por el motor de resolución.
- **End:** indica el fin del fichero.

A.3.2.2 Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDT4

TITLE

"CDT4"

OPTIONS

DatabaseType = Access

DatabaseAccess = "CDT4.mdb"

INDEX

obj:= (Beneficios, Ingresos, CosteAprovisionamiento, CosteInvMP, CosteMantTurnoLinea, CosteHorasExtras1Lineas, CosteHorasExtras2Lineas, CosteIncTurnoLinea, CosteDisTurnoLinea, CosteSetupFLinea, CosteSetupPFLinea, CosteMantHornoActivo, CosteActivarHorno, CosteDesactivarHorno, CosteSetupFHorno, CosteSetupPFHorno, CosteInvInt, CosteInvAlm, CosteFijoTransPA, CosteVarTransPA, CosteDifpvA, CosteInvCL, CosteFijoTransACL, CosteVarTransACL, CosteDifpvCL, CosteSubCont, CostTotal);

f := DATABASE("In_Familias", "Familias");

p := DATABASE("In_PlantasProductivas", "PlantasProductivas");

l := DATABASE("In_LineasFabricacion", "LineasFabricacion");

h := DATABASE("In_Hornos", "Hornos");

a := DATABASE("In_Almacenes", "Almacenes");

q := DATABASE("In_CentrosLogisticos", "CentrosLogisticos");

c := DATABASE("In_MateriasPrimas", "MateriasPrimas");

r := DATABASE("In_ProvMP", "ProvMP");

b := DATABASE("In_ProvPF", "ProvPF");

t := DATABASE("In_Periodos", "Periodos");

! SET

ta[t] := (1,2); !las decisiones de cap en lineas y hornos comprometen 3 meses

tb[t] := (4,5);

tc[t] := (7,8);

td[t] := (10,11);

```
FNS[f] := DATABASE("Ci_FNS", f="Familias");
FSP[f] := DATABASE("Ci_FSP", f="Familias");
FST[f] := DATABASE("Ci_FST", f="Familias");
Lp[p,l] := DATABASE("Ci_Lp", p="PlantasProductivas", l="LineasFabricacion");
Fp[p,f] := DATABASE("Ci_Fp", p="PlantasProductivas", f="Familias");
Fl[l,f] := DATABASE("Ci_Fl", l="LineasFabricacion", f="Familias");
Hp[p,h] := DATABASE("Ci_Hp", p="PlantasProductivas", h="Hornos");
Fh[h,f] := DATABASE("Ci_Fh", h="Hornos", f="Familias");
Fc[c,f] := DATABASE("Ci_Fc", c="MateriasPrimas", f="Familias");
Cr[r,c] := DATABASE("Ci_Cr", r="ProvMP", c="MateriasPrimas");
Rc[c,r] := DATABASE("Ci_Rc", c="MateriasPrimas", r="ProvMP");
Rp[p,r] := DATABASE("Ci_Rp", p="PlantasProductivas", r="ProvMP");
Pr[r,p] := DATABASE("Ci_Pr", r="ProvMP", p="PlantasProductivas");
Bf[f,b] := DATABASE("Ci_Bf", f="Familias", b="ProvPF");
Fb[b,f] := DATABASE("Ci_Fb", b="ProvPF", f="Familias");
Fa[a,f] := DATABASE("Ci_Fa", a="Almacenes", f="Familias");
Ab[b,a] := DATABASE("Ci_Ab", b="ProvPF", a="Almacenes");
Ap[p,a] := DATABASE("Ci_Ap", p="PlantasProductivas", a="Almacenes");
Pa[a,p] := DATABASE("Ci_Pa", a="Almacenes", p="PlantasProductivas");
Aq[q,a] := DATABASE("Ci_Aq", q="CentrosLogisticos", a="Almacenes");
Qa[a,q] := DATABASE("Ci_Qa", a="Almacenes", q="CentrosLogisticos");
Fq[q,f] := DATABASE("Ci_Fq", q="CentrosLogisticos", f="Familias");
```

DATA

! LOCALES

! AT

! Plantas

!Líneas

```

bn[l,p] := DATABASE("Pr_bn", "bn");
nmaxturl[l,p] := DATABASE("Pr_nmaxturl", "nmaxturl");
costmantl[l,p] := DATABASE("Pr_costmantl", "costmantl");
costinctl[l,p] := DATABASE("Pr_costinctl", "costinctl");
costdistl[l,p] := DATABASE("Pr_costdistl", "costdistl");
ntl0[p, l IN Lp] := DATABASE("Pr_ntl0", "ntl0");

```

!Hornos

```

capfabmaxh[h,p] := DATABASE("Pr_capfabmaxh", "capfabmaxh");
beta[h,p] := DATABASE("Pr_beta", "beta");
costmanth[h,p] := DATABASE("Pr_costmanth", "costmanth");
costacth[h,p] := DATABASE("Pr_costacth", "costacth");
costdesacth[h,p] := DATABASE("Pr_costdesacth", "costdesacth");
w0[p, h IN Hp] := DATABASE("Pr_w0", "w0");

```

! Almacenes y Centros Logísticos

```

costftacl[a,q] := DATABASE("Pr_costftacl", "costftacl");
captvacl[a,q] := DATABASE("Pr_captvacl", "captvacl");
nmaxvtacl[a,q] := DATABASE("Pr_nmaxvtacl", "nmaxvtacl");

```

! AI

! COMPRAS a Proveedores y Subcontrata

! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos

!INTERDEPENDENCIAS !todos los parámetros de Down (temp y/o espac) son del tipo "ant_parámetro"

!Interdependencia Temporal respecto de CDO4 y CDO6 (Down)

! AT

! Plantas

```

costtrp[c,r,p] := DATABASE("Pr_costtrp", "costtrp");
invmp0[c,p] := DATABASE("Pr_invmp0", "invmp0");
costinvmp[c,p] := DATABASE("Pr_costinvmp", "costinvmp");

```

```
alfa[c,f] := DATABASE("Pr_alfa", "alfa");
```

```
!Líneas
```

```
tfabfl[f,l,p] := DATABASE("Pr_tfabfl", "tfabfl");
```

```
tsetupfl[f,l,p] := DATABASE("Pr_tsetupfl", "tsetupfl");
```

```
tsetupmedil[f,l,p] := DATABASE("Pr_tsetupmedil", "tsetupmedil");
```

```
costsetupfl[f,l,p] := DATABASE("Pr_costsetupfl", "costsetupfl");
```

```
costsetupmedil[f,l,p] := DATABASE("Pr_costsetupmedil", "costsetupmedil");
```

```
lminf[f,l,p] := DATABASE("Pr_lminf", "lminf");
```

```
lmedil[f,l,p] := DATABASE("Pr_lmedil", "lmedil");
```

```
invint0[f,p] := DATABASE("Pr_invint0", "invint0");
```

```
invmaxint [f,p] := DATABASE("Pr_invmaxint", "invmaxint");
```

```
costinvint [f] := (0.3,0.22,0.34,0);
```

```
!Hornos
```

```
tfabfh[f,h,p] := DATABASE("Pr_tfabfh", "tfabfh");
```

```
tsetupfh[f,h,p] := DATABASE("Pr_tsetupfh", "tsetupfh");
```

```
tsetupmedih[f,h,p] := DATABASE("Pr_tsetupmedih", "tsetupmedih");
```

```
costsetupfh[f,h,p] := DATABASE("Pr_costsetupfh", "costsetupfh");
```

```
costsetupmedih[f,h,p] := DATABASE("Pr_costsetupmedih", "costsetupmedih");
```

```
lmedih[f,h,p] := DATABASE("Pr_lmedih", "lmedih");
```

```
cm[f] := DATABASE("Pr_cm", "cm");
```

```
cq[f] := DATABASE("Pr_cq", "cq");
```

```
M1=150000;
```

```
M2=150000;
```

```
costvtpa [f,p,a] := DATABASE("Pr_costvtpa", "costvtpa");
```

```
! Almacenes y Centros Logísticos
```

```
v[f] := DATABASE("Pr_v", "v");
```

```
inva0[f,a] := DATABASE("Pr_inva0", "inva0");
```

```

invmaxfa[f,a] := DATABASE("Pr_invmaxfa", "invmaxfa");
costinva[f] := (0.36,0.28,0.4,0.24)
capmaxinva[a] := DATABASE("Pr_capmaxinva", "capmaxinva");
costvtac[f,a,q] := DATABASE("Pr_costvtac", "costvtac");
invcl0[f,q] := DATABASE("Pr_invcl0", "invcl0");
invmaxfcl[f,q] := DATABASE("Pr_invmaxfcl", "invmaxfcl");
costinvc[f,q] := DATABASE("Pr_costinvc", "costinvc");
capmaxinvc[q] := DATABASE("Pr_capmaxinvc", "capmaxinvc");

```

! AI

! COMPRAS a Proveedores (CDT1, CDT2 y CDT3) y Subcontrata (CDT5)

```

costco[c,r] := DATABASE("Pr_costco", "costco");
costsc[f,b] := DATABASE("Pr_costsc", "costsc");

```

! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos y CDT6

```

dmpva[f,a,t] := DATABASE("Pr_dmpva", "dmpva");
pvfa[f,a] := DATABASE("Pr_pvfa", "pvfa");
costdifpva[f,a] := DATABASE("Pr_costdifpva", "costdifpva");
sigma1[f,a] := DATABASE("Pr_sigma1", "sigma1");
dmpvc[f,q,t] := DATABASE("Pr_dmpvc", "dmpvc");
pvfcl[f,q] := DATABASE("Pr_pvfcl", "pvfcl");
costdifpvc[f,q] := DATABASE("Pr_costdifpvc", "costdifpvc");
sigma2[f,q] := DATABASE("Pr_sigma2", "sigma2");
pvfcdt6[f,a] := DATABASE("Pr_pvfcdt6", "pvfcdt6");

```

!Interdependencia Espacial respecto de CDT6 (Top)

```

cocdt6[f,a,t] := DATABASE("Pr_cocdt6", "cocdt6");

```

!Interdependencia Espacial respecto de (Proveedores) CDT1,CDT2,CDT3 y (Subcontrata) CDT5 (Down)

```

capaprvc[c,r] := DATABASE("Pr_capaprvc", "capaprvc"); !CDT1,CDT2,CDT3
minaprvc[c,r] := DATABASE("Pr_minaprvc", "minaprvc");

```

capscf[f,b] := DATABASE("Pr_capscf", "capscf"); !CDT5

minsc[f,b] := DATABASE("Pr_minsc", "minsc");

M :=1000000

DECISION VARIABLES

! LOCALES

! AT

! Plantas

!Líneas

NTL[p, l IN Lp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NTL", "NTL");

NINCTL[p, l IN Lp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NINCTL", "NINCTL");

NDISTL[p, l IN Lp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NDISTL", "NDISTL");

HNL[p, l IN Lp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_HNL", "HNL");

!Hornos

W[p, h IN Hp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_W", "W");

WA[p, h IN Hp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_WA", "WA");

WD[p, h IN Hp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_WD", "WD");

HNH[p, h IN Hp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_HNH", "HNH");

! Almacenes y Centros Logísticos

NVTCL[a, q IN Qa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NVTCL", "NVTCL");

CAPTCL [a, q IN Qa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CAPTCL", "CAPTCL");

! AI

! COMPRAS a Proveedores y Subcontrata !se anticipan cantidades de compras medio plazo

! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos !se anticipan cantidades de ventas medio plazo

! INTERDEPENDENCIAS !todos las variables de Down (temp y/o espac) son del tipo "ant_variable"

!Interdependencia Temporal respecto de CDO4 y CDO6 (Down)

! AT

! PLANTAS

CTP[c, r IN Rc, p IN Pr, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTP", "CTP");

INVMP[c, p, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INVMP", "INVMP");

!Líneas

MPFL[p, l IN Lp, f IN Fl, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_MPFL", "MPFL");

NLIL[p, l IN Lp, f IN Fl, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NLIL", "NLIL");

YFL[p, l IN Lp, f IN Fl, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YFL", "YFL");

ZFL[p, l IN Lp, f IN Fl, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_ZFL", "ZFL");

INVINT[p, f IN Fp, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INVINT", "INVINT");

!Hornos

MPFH[p, h IN Hp, f IN Fh, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_MPFH", "MPFH");

NLIH[p, h IN Hp, f IN Fh, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NLIH", "NLIH");

YFH[p, h IN Hp, f IN Fh, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YFH", "YFH");

ZFH[p, h IN Hp, f IN Fh, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_ZFH", "ZFH");

CTA[p, a IN Ap, f IN Fp,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTA", "CTA");

! Almacenes y Centros Logísticos

INVA[a, f IN Fa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INVA", "INVA");

CTCL[a, q IN Qa, f IN Fa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTCL", "CTCL");

INVCL[q, f IN Fq, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INVCL", "INVCL");

! AI

! COMPRAS a Proveedores (CDT1, CDT2 y CDT3) y Subcontrata (CDT5)

CO[c,r,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CO","CO");

XCR[c, r, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_XCR", "XCR");

CSCF[b, a IN Ab, f IN Fa,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CSCF", "CSCF");

YSCF[b, f IN Fb, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YSCF", "YSCF");

! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos y CDT6

VEA[a, f IN Fa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VEA", "VEA");

DIFPVA[a, f IN Fa, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_DIFPVA", "DIFPVA");

```
VECL[q, f IN Fq, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VECL", "VECL");
DIFPVCL[q, f IN Fq, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_DIFPVCL", "DIFPVCL");
VECDT6[a=2, f, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VECDT6", "VECDT6");
X[obj] EXPORT REFILL TO DATABASE("Funcion_Objetivo", "Solucion");
```

MACROS**! LOCALES****! AT****! Plantas****! Lineas**

```
CosteMantTurnoLinea := SUM(t,p, l IN Lp: costmantl * NTL);
```

```
CosteIncTurnoLinea := SUM(t,p, l IN Lp: costinctl * NINCTL);
```

```
CosteDisTurnoLinea := SUM(t,p, l IN Lp: costdistl * NDISTL);
```

! Hornos

```
CosteMantHornoActivo := SUM(t,p, h IN Hp: costmanth * W);
```

```
CosteActivarHorno := SUM(t,p, h IN Hp: costacth * WA);
```

```
CosteDesactivarHorno := SUM(t,p, h IN Hp: costdesacth * WD);
```

! Almacenes y Centros Logísticos

```
CosteCAPTransACL := SUM(t, a, q IN Qa: costftacl * NVTCL);
```

! AI**! COMPRAS a Proveedores y Subcontrata****! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos y a CDT6****! INTERDEPENDENCIAS****! Interdependencia Temporal respecto de CDO4 y CDO6 (Down)****! AT****! Plantas**

```
CosteVarTransRP := SUM(t, p, r IN Rp, c IN Cr: costtrp * CTP);
```

```
CosteInvMP := SUM(t,p,c: costinvmp * INVMP);
```

!Lineas

CosteSetupFLinea := SUM(t,p,l IN Lp, f IN Fl: costsetupfl * ZFL);

CosteSetupPFLinea := SUM(t, p, l IN Lp, f IN Fl: costsetupmedil * NLIL);

CosteInvInt := SUM(t, p, f IN Fp: costinvint * INVINT);

!Hornos

CosteSetupFHorno := SUM(t,p,h IN Hp, f IN Fh: costsetupfh * ZFH);

CosteSetupPFHorno := SUM(t, p, h IN Hp, f IN Fh: costsetupmedih * NLIH);

!Almacenes y Centros Logísticos

CosteVarTransPA := SUM(t, p, a IN Ap, f IN Fp: costvtpa * CTA);

CosteInvAlm := SUM(t,a, f: costinva * INVA);

CosteVarTransACL := SUM(t, a, q IN Qa, f IN Fa: costvtacl * CTCL);

CosteInvCL := SUM(t,q,f: costinvcl * INVCL);

! AI

! COMPRAS a Proveedores (CDT1, CDT2 y CDT3) y Subcontrata (CDT5)

CosteCompra := SUM(t, r, c IN Cr: costco * CO);

CosteSubCont := SUM(t,f,b IN Bf: costsc * SUM (a IN Ab: CSCF));

! VENTAS en Almacenes y Centros Logísticos y a CDT6

CosteDifpvA := SUM(t,a,f IN Fa: costdifpva * DIFPVA);

CosteDifpvCL := SUM(t,q,f IN Fq: costdifpvcl * DIFPVCL);

Ingresos_anticipados := SUM(t,f,a: pvfa * VEA) + SUM (t,f,a=2: pvfcdt6*VECDT6)+ SUM(t,f,q: pvfel * VECL);

CosteINTTEMPDOWN := CosteVarTransRP + CosteInvMP + CosteSetupFLinea + CosteSetupPFLinea + CosteInvInt + CosteSetupFHorno + CosteSetupPFHorno + CosteSetupPFHorno + CosteVarTransPA + CosteInvAlm + CosteVarTransACL + CosteInvCL + CosteCompra + CosteSubCont + CosteDifpvA + CosteDifpvCL ;

! Interdependencia Espacial (no existen conceptos de la F.O. en este campo)

CostLOCAL := CosteMantTurnoLinea + CosteIncTurnoLinea + CosteDisTurnoLinea + CosteMantHornoActivo + CosteActivarHorno + CosteDesactivarHorno + CosteCAPTransACL ;

CostTotal := CostLOCAL + CosteINTTEMPDOWN ;

Beneficios = Ingresos_anticipados - CostTotal;

MODEL

MAX Beneficios;

SUBJECT TO

Res1[obj]: X[1] = Beneficios;

Res2[obj]: X[2] = Ingresos_anticipados;

Res3[obj]: X[3] = CosteCompra;

Res3a[obj]: X[4] = CosteVarTransRP;

Res4[obj]: X[5] = CosteInvMP;

Res5[obj]: X[6] = CosteMantTurnoLinea;

Res8[obj]: X[7] = CosteIncTurnoLinea;

Res9[obj]: X[8] = CosteDisTurnoLinea;

Res10[obj]: X[9] = CosteSetupFLinea;

Res11[obj]: X[10] = CosteSetupPFLinea;

Res12[obj]: X[11] = CosteMantHornoActivo;

Res13[obj]: X[12] = CosteActivarHorno;

Res14[obj]: X[13] = CosteDesactivarHorno;

Res15[obj]: X[14] = CosteSetupFHorno;

Res16[obj]: X[15] = CosteSetupPFHorno;

Res17[obj]: X[16] = CosteInvInt;

Res18[obj]: X[17] = CosteInvAlm;

Res20[obj]: X[18] = CosteVarTransPA;

Res21[obj]: X[19] = CosteDifpvA;

Res22[obj]: X[20] = CosteInvCL;

Res23[obj]: X[21] = CosteCAPTransACL;

Res24[obj]: X[22] = CosteVarTransACL;

Res25[obj]: X[23] = CosteDifpvCL;

Res26[obj]: $X[24] = \text{CosteSubCont};$

Res27[obj]: $X[25] = \text{CostTotal};$

! AT

! LOCALES

! Plantas

! Líneas

DimCap1a[p, l IN Lp, t = 1] : $\text{NTL} = \text{ntl0} + \text{NINCTL} - \text{NDISTL};$

DimCap1b[p, l IN Lp, t > 1] : $\text{NTL} = \text{NTL}[t-1] + \text{NINCTL} - \text{NDISTL};$

FabPPLF2[p, l IN Lp, t] : $\text{NTL} \leq \text{nmaxturl};$

DimCap3a[p, l IN Lp, ta, t = ta] : $\text{NTL} = \text{NTL}[t+1];$

DimCap3b[p, l IN Lp, tb, t = tb] : $\text{NTL} = \text{NTL}[t+1];$

DimCap3c[p, l IN Lp, tc, t = tc] : $\text{NTL} = \text{NTL}[t+1];$

DimCap3d[p, l IN Lp, td, t = td] : $\text{NTL} = \text{NTL}[t+1];$

FabPPLF3[p, l IN Lp, t] : $\text{HNL} = \text{bn} * \text{NTL};$

! Hornos

DimCap2a[p, h IN Hp, t = 1] : $\text{W} = \text{w0} + \text{WA} - \text{WD}[t-1];$

DimCap2b[p, h IN Hp, t > 1] : $\text{W} = \text{W}[t-1] + \text{WA} - \text{WD}[t-1];$

DimCap4a[p, h IN Hp, ta, t = ta] : $\text{W} = \text{W}[t+1];$

DimCap4b[p, h IN Hp, tb, t = tb] : $\text{W} = \text{W}[t+1];$

DimCap4c[p, h IN Hp, tc, t = tc] : $\text{W} = \text{W}[t+1];$

DimCap4d[p, h IN Hp, td, t = td] : $\text{W} = \text{W}[t+1];$

FabPPH3[p, h IN Hp, t] : $\text{HNH} = \text{capfabmaxh} * \text{W};$

! Almacenes

! Centros Logísticos

CL1a_1[a, q IN Qa, t] : $\text{CAPTCL} = \text{NVTCL} * \text{captvacl};$

CL1b[a, q IN Qa, t] : $\text{NVTCL} \leq \text{nmaxvtac};$

!AI

! COMPRAS a Proveedores (CDT1, CDT2 y CDT3) y Subcontrata (CDT5)

ProvMP6 [c, r IN Rc, t] : SUM (p IN Pr: CTP) = CO;

! VENTAS en Almacenes y Centros de Distribución y CDT6

Alm9[a, f, t] : VEA = dmpva + DIFPVA[t-1] - DIFPVA;

Alm11[a, f,t] : DIFPVA <= sigma1 * dmpva;

CL7[q, f IN Fq, t] : VECL = dmpvcl + DIFPVCL[t-1] - DIFPVCL;

CL8[q, f IN Fq, t] : DIFPVCL <= sigma2 * dmpvcl;

! INTERDEPENDENCIAS

!Interdependencia Temporal respecto de CDO4 y CDO6 (Down)

! AT

! Plantas

ProvMP1a[p, c, t = 1] : INVMP = invmp0 + SUM(r IN Rc: CTP) - SUM(f IN Fc: alfa * SUM(l IN Lp: MPFL));

ProvMP1b[p, c, t > 1] : INVMP = INVMP[t-1] + SUM(r IN Rc: CTP) - SUM(f IN Fc: alfa * SUM(l IN Lp: MPFL));

! Lineas de Fabricacion

FabPPLF1[p, l IN Lp, t] : SUM(f IN Fl: tfabl * MPFL) + SUM(f IN Fl: tsetupfl * ZFL) + SUM(f IN Fl: tsetupmedil * NLIL) <= HNL ;

FabPPLF1b[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : MPFL = NLIL*lmedil;

Setupf1[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : MPFL <= M1 * YFL;

Setupf2[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : MPFL >= lminf * YFL;

Setupf3[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : ZFL >= YFL- YFL[t-1];

Setupf4[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : SUM(f IN Fl: ZFL) >= SUM(f IN Fl: YFL)- 1;

FabPP1a[p, f IN Fp, t=1] : INVINT = invint0 + SUM(l IN Lp: MPFL) - SUM(h IN Hp: MPFH);

FabPP1b[p, f IN Fp, t>1] : INVINT = INVINT[t-1] + SUM(l IN Lp: MPFL) - SUM(h IN Hp: MPFH);

AlmInt[f, p, t] : INVINT <= invmaxint;

! Hornos

FabPPH1[p, h IN Hp, t] : SUM(f IN Fh: tfabfh * MPFH) + SUM(f IN Fh: tsetupfh * ZFH) + SUM(f IN Fh: tsetupmedih * NLIH) <= HNH;

FabPPH1a[p, h IN Hp, t] : SUM(f IN Fh: tfabfh * MPFH) + SUM(f IN Fh: tsetupfh * ZFH) + SUM(f IN Fh: tsetupmedih * NLIH) >= beta * HNH;

FabPPH1b[p, h IN Hp, f IN Fh, t] : MPFH = NLIH * lmedih;

Setuph1[p, h IN Hp, f IN Fh, t] : MPFH <= M2 * YFH;

Setuph3[p, h IN Hp, f IN Fh, t] : ZFH >= YFH - YFH[t-1];

Setuph4[p, h IN Hp, f IN Fh, t] : SUM(f IN Fh: ZFH) >= SUM(f IN Fh: YFH) - 1;

! Almacenes

Alm1[p, f IN Fp, t] : SUM(a IN Ap: CTA) = SUM(h IN Hp: MPFH * cq * cm);

Alm3a[a, f IN FNS, t=1] : INVA = inva0 + SUM(p IN Pa: CTA) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm3b[a, f IN FNS, t > 1] : INVA = INVA[t-1] + SUM(p IN Pa: CTA) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm4a[a, f IN FSP, t=1] : INVA = inva0 + SUM(p IN Pa: CTA) + SUM(b IN Bf: CSCF) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm4b[a, f IN FSP, t > 1] : INVA = INVA[t-1] + SUM(p IN Pa: CTA) + SUM(b IN Bf: CSCF) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm5a[a, f IN FST, t=1] : INVA = inva0 + SUM(b IN Bf: CSCF) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm5b[a, f IN FST, t > 1] : INVA = INVA[t-1] + SUM(b IN Bf: CSCF) - VEA - SUM(q IN Qa: CTCL) - VECDT6;

Alm7[f, a, t] : INVA <= invmaxfa;

Alm8[a, t] : SUM(f IN Fa: INVA) <= capmaxinva;

! Centros Logísticos

CL1a [a, q IN Qa, t] : SUM(f IN Fa: CTCL * v) <= CAPTCL;

CL2a[q, f IN Fq, t=1] : INVCL = invcl0 + SUM(a IN Aq: CTCL) - VECL;

CL2b[q, f IN Fq, t > 1] : INVCL = INVCL[t-1] + SUM(a IN Aq: CTCL) - VECL;

CL4[q, f IN Fq, t] : INVCL <= invmaxfel;

CL5[q, t] : SUM(f IN Fq: INVCL) <= capmaxincl;

!Interdependencia Espacial respecto de CDT6 (Top)

CCC1 [a=2, f, t] : VECDT6 = cocdt6;

!Interdependencia Espacial respecto Proveedores; CDT1,CDT2,CDT3 y (Subcontrata) CDT5 (Down)

ProvMP3[c, r IN Rc] : SUM (t: CO) <= capapr; ! CDT1,CDT2,CDT3

ProvMP4[c, r IN Rc, t] : CO <= XCR * SUM(f IN Fc, a, t: alfa * dmpva);

ProvMP5[c, r IN Rc, t] : CO >= minapr * XCR;

ProvCCF1[f IN FSP, b IN Bf] : SUM(a IN Ab, t: CSCF) <= capscf; ! CD5

ProvCCF2[f IN FSP, b IN Bf, t] : SUM(a IN Ab: CSCF) <= YSCF * M;

ProvCCF3[f IN FSP, b IN Bf, t] : SUM(a IN Ab: CSCF) >= minsc * YSCF;

ProvCCF4[f IN FST, b IN Bf] : SUM(a IN Ab, t: CSCF) <= capscf; ! CD5

ProvCCF5[f IN FST, b IN Bf, t] : SUM(a IN Ab: CSCF) <= YSCF * M;

ProvCCF6[f IN FST, b IN Bf, t] : SUM(a IN Ab: CSCF) >= minsc * YSCF;

! Logicas

! Técnicas

BOUNDS

CO >= 0;

CSCF >= 0;

CTP >= 0;

INVMP >= 0;

MPFL >= 0;

NINCTL >= 0;

NDISTL >= 0;

HNL >= 0;

NLIL >= 0;

INVINT >= 0;

MPFH >= 0;

HNH >= 0;

NLIH >= 0;

CTA >= 0;

INVA >= 0;

CTCL >= 0;

INVCL >= 0;

NVTCL >= 0;

VEA >= 0;

DIFPVA >= 0;

VECL >= 0;

DIFPVCL >= 0;

VECDT6 >= 0;

INTEGER

NTL;

NLIL;

NLIH;

NVTCL;

BINARY

YFL;

ZFL;

W;

WA;

WD;

YFH;

ZFH;

XCR;

YSCF;

END

A.3.2.3 Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDO6

TITLE

"CDO6"

OPTIONS

DatabaseType = Access

DatabaseAccess = "C:\Documents and Settings\dapepe\Mis documentos\Dropbox\Liverpool-al grano\Experimentos_Tesis\CDO4_CDO6\CDO4_CDO6.mdb "

INDEX

i := DATABASE("In_ProductosFinales", "ProductosFinales");

a := DATABASE("In_Almacenes", "Almacenes");

q := DATABASE("In_CentrosLogisticos", "CentrosLogisticos");

w := DATABASE("In_TiendasKeraben", "TiendasKeraben");

t := DATABASE("In_Periodos", "Periodos");

z := DATABASE("In_Periodosz", "Periodosz");

i SETS

Tz[z,t] := DATABASE("Ci_Tz",z="Periodosz",t="Periodos");

Ia[a,i] := DATABASE("Ci_Ia",a="Almacenes",i="ProductosFinales");

Iq[q,i] := DATABASE("Ci_Iq",q="CentrosLogisticos",i="ProductosFinales");

Iw[w,i] := DATABASE("Ci_Iw",w="TiendasKeraben",i="ProductosFinales");

Aq[q,a] := DATABASE("Ci_Aq",q="CentrosLogisticos",a="Almacenes");

Qa[a,q] := DATABASE("Ci_Qa",a="Almacenes",q="CentrosLogisticos");

Wq[q,w] := DATABASE("Ci_Wq",q="CentrosLogisticos",w="TiendasKeraben");

Qw[w,q] := DATABASE("Ci_Qw",w="TiendasKeraben",q="CentrosLogisticos");

DATA

!AT

! Centros Logísticos y Tiendas

```
v[i] = (16.2,16.2,18.8,18,17.5);  
costtcl[i,a,q] := DATABASE("Pr_costtcl","costtcl");  
costftcl[a,q] = 500;  
capalcl[q] := (2880,2200,1850) ;  
costincl [i,q] := DATABASE ("Pr_costincl","costincl");  
sscl[i,q] := DATABASE("Pr_sscl","sscl");  
incl0 [i,q] := DATABASE ("Pr_incl0","incl0");  
costttk[i,q,w] := DATABASE("Pr_costttk","costttk");  
  
!AI  
  
! COMPRAS  
costcocd4[i] = (5,5,4,5.9,3.1);  
M1 = 100000;  
M2 = 100000;  
alfa2 = 0.10;  
  
! VENTAS  
dtk[i,w,t] := DATABASE("Pr_dtk","dtk");  
preciotk[i,w] := DATABASE("Pr_preciotk","preciotk");  
costdifk[i,w] = 25;  
  
! INTERDEPENDENCIAS  
  
!interdependencia temporal proveniente de CDT4  
captcl[a,q,z] := DATABASE("Pr_captcl","captcl");  
maxcaptclpos = 0.2 ;  
costcaptclpos = 0.01 ;  
  
!interdependencia espacial respecto de CDO4  
antlminve [i,a]:= DATABASE("Pr_antlminve","antlminve");  
M3 = 2000;  
  
DECISION VARIABLES
```

! LOCALES

!AT

! Centros Logísticos y Tiendas

CTCL[i,a,q,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTCL","CTCL");

YTCL [a,q,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YTCL","YTCL");

INCL [i,q,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INCL","INCL");

CAPTCL[a,q,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CAPTCL","CAPTCL");

CTTK[i,q,w,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTTK","CTTK");

!AI

! COMPRAS

COCD4 [i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_COCD4","COCD4");

YCOCD4 [i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YCOCD4","YCOCD4");

! VENTAS

VETK[i,w,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VETK","VETK");

DIFTK[i,w,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_DIFTK","DIFTK");

! INTERDEPENDENCIAS

!Interdependencia Temporal respecto de CDT4 y CDO6 (Top)

CAPTCLPOS[a,q,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CAPTCLPOS","CAPTCLPOS");

MACROS

!AT

! Centros Logísticos y Tiendas

CostTRACL := SUM(t,a, q IN Qa, i IN Iq: costtcl * CTCL);

CostfTRACL := SUM(t,a, q IN Qa : costftcl * YTCL);

CostINCL := SUM(t,q, i IN Iq: costincl * INCL);

CostTRCLTK := SUM(t,q, w IN Wq, i IN Iw: costttk * CTTK);

!AI

! COMPRAS

CostCOCD4 := SUM(t,a, i : costcocd4 * COCD4);

! VENTAS

CostDifTK := SUM(t, w,i IN Iw: costdiftk * DIFTK);

Ingresos := SUM(t,i,w: preciotk[i,w] * VETK[i,w,t]);

! INTERDEPENDENCIAS

!Interdependencia temporal respecto CDT4

CostITTPOS := SUM(a,q,t: costcaptclpos * CAPTCLPOS);

CostITTCDT4 := CostITTPOS;

CostTotal := CostINCL + CostTRACL + CostfTRACL + CostTRCLTK + CostCOCD4 + CostDifTK
+ CostITTCDT4 ;

MODEL

MAX Beneficios = Ingresos - CostTotal;

SUBJECT TO

! LOCALES

!AT

! Centros Logísticos y Tiendas

CapTCL[q, a IN Aq,t] : SUM(i IN Ia: CTCL*v) <= CAPTCL; ! (está en peso, suponiendo solo un viaje de un camión de 8000 kg por trayecto)

InvCL [q, i IN Iq, t=1] : INCL = incl0 + SUM(a IN Aq: CTCL) - SUM(w IN Wq: CTTK);

InvCL [q, i IN Iq, t>1] : INCL = INCL[t-1] + SUM(a IN Aq: CTCL) - SUM(w IN Wq: CTTK);

CapAlm[q,t] : SUM(i IN Iq: INCL) <= capalm;

InvSSA[q, i IN Iq, t] : INCL >= sscl;

!AI

ComprasA[i, a, t] : COCD4 = SUM(q IN Qa : CTCL) ;

VentasTK[w, q IN Qw, i IN Iw, t] : CTTK = VETK;

VentaDifTK[w, i IN Iw, t] : VETK + DIFTK - DIFTK[t-1] = dtk;

LimDifTK[w, i IN Iw, t] : DIFTK <= alfa2 * dtk;

! INTERDEPENDENCIAS

!Interdependencia temporal proveniente de CDT4

CCD1 [a, q IN Qa, z, t IN Tz] WHERE (z=1) : CAPTCL - CAPTCLPOS = captcl*0.25*0.1;
! capacidad mensual llevada a semanas y Prod1,2,3,4 y 5 suponen un 10% total

CCD22 [a, q IN Qa, z, t IN Tz] WHERE (z=1): CAPTCLPOS <= maxcaptclpos*captcl*0.25*0.1 ;

! Interdependencia espacial respecto de CDO4

LoteminimoVentasCD4 [i,a,t] : COCD4 >= antlminve*YCOCD4 ;

! Logicas

LogicaTCL[q, a IN Aq,t] : SUM(i IN Ia: CTCL) <= M1*YTCL;

LoteminimoVentasCD4bin [i, a, t] : COCD4 <= M3 * YCOCD4 ;

BOUNDS

CAPTCL >=0;

CTCL >= 0;

INCL >=0;

CTTK >= 0;

COCD4>=0;

VETK >= 0;

DIFTK >= 0;

INTEGER

BINARY

YTCL;

YCOCD4;

END

A.3.2.4 Fichero MPL del Modelo PLEM asociado a CDO4

TITLE

"CDO4"

OPTIONS

DatabaseType = Access

DatabaseAccess = "C:\Documents and Settings\dapepe\Mis documentos\Dropbox\Liverpoolalgrano\Experimentos_Tesis\CDO4_CDO6\CDO4_CDO6.mdb"

INDEX

```

i := DATABASE("In_ProductosFinales", "ProductosFinales");
c := DATABASE("In_MateriasPrimas", "MateriasPrimas");
l := DATABASE("In_LineasFabricacion", "LineasFabricacion");
p := DATABASE("In_PlantasProductivas", "PlantasProductivas");
a := DATABASE("In_Almacenes", "Almacenes");
r := DATABASE("In_ProvMP", "ProvMP");
b := DATABASE("In_ProvPF", "ProvPF");
t := DATABASE("In_Periodos", "Periodos");
f := DATABASE("In_Familias", "Familias");
z := DATABASE("In_Periodosz", "Periodosz");

! SET

per1[t] := (t1,t2);
per2[t] := (t2,t3);
per3[t] := (t3,t4);
t1[t] := (t2,t4);

Tz[z,t] := DATABASE("Ci_Tz",z="Periodosz",t="Periodos");
Il[l,i] := DATABASE("Ci_Il",l="LineasFabricacion",i="ProductosFinales");
Fl[l,f] := DATABASE("Ci_Fl",l="LineasFabricacion",f="Familias");
Ifl[f,i] := DATABASE("Ci_Ifl",f="Familias",i="ProductosFinales");
Ip[p,i] := DATABASE("Ci_Ip",p="PlantasProductivas",i="ProductosFinales");
Ia[a,i] := DATABASE("Ci_Ia",a="Almacenes",i="ProductosFinales");
Ic[c,i] := DATABASE("Ci_Ic",c="MateriasPrimas",i="ProductosFinales");
PFNS[i] := DATABASE("Ci_PFNS",i="ProductosFinales");
PFSP[i] := DATABASE("Ci_PFSP",i="ProductosFinales");
PFST[i] := DATABASE("Ci_PFST",i="ProductosFinales");

```

```

Ci[i,c] := DATABASE("Ci_Ci",i="ProductosFinales",c="MateriasPrimas");
Li[i,l] := DATABASE("Ci_Li",i="ProductosFinales",l="LineasFabricacion");
Lf[f,l] := DATABASE("Ci_Lf",f="Familias",l="LineasFabricacion");
Lp[p,l] := DATABASE("Ci_Lp",p="PlantasProductivas",l="LineasFabricacion");
Pl[l,p] := DATABASE("Ci_Pl",l="LineasFabricacion",p="PlantasProductivas");
Ap[p,a] := DATABASE("Ci_Ap",p="PlantasProductivas",a="Almacenes");
Pa[a,p] := (A11.PI1, A11.PI2, A11.PI3, A12.PI2, A12.PI3);
Rc[c,r] := DATABASE("Ci_Rc",c="MateriasPrimas",r="ProvMP");
Rp[p,r] := DATABASE("Ci_Rp",p="PlantasProductivas",r="ProvMP");
Cr[r,c] := DATABASE("Ci_Cr",r="ProvMP",c="MateriasPrimas");
Bi[i,b] := DATABASE("Ci_Bi",i="ProductosFinales",b="ProvPF");
Ba[a,b] := DATABASE("Ci_Ba",a="Almacenes",b="ProvPF");
Ab[b,a] := DATABASE("Ci_Ab",b="ProvPF",a="Almacenes");

```

DATA

! LOCALES

! AT

```

alfa[c,i] := DATABASE("Pr_alfa", "alfa");
costtrp[c,r,p] := DATABASE("Pr_costtrp", "costtrp");
costinc[c,p] := DATABASE("Pr_costinc", "costinc");
ssc[c,p] := DATABASE("Pr_ssc", "ssc");
inc0[c,p] := DATABASE("Pr_inc0", "inc0");
porc[f] := (0.24,0.07,0.03,0.04)

```

! Plantas

! Lineas

```

cm[i] := DATABASE("Pr_cm", "cm");
cq[i] := DATABASE("Pr_cq", "cq");
costp[i,l,p] := DATABASE("Pr_costp", "costp");

```

```
costsetupf[f,l,p] := DATABASE("Pr_costsetupf","costsetupf");
costsetupi[i,l,p] := DATABASE("Pr_costsetupi","costsetupi");
costcex [l,p] = 50;
tfab[i,l,p] := DATABASE("Pr_tfab","tfab");
tsetupi[i,l,p] := DATABASE("Pr_tsetupi","tsetupi");
tsetupf[f,l,p] := DATABASE("Pr_tsetupf","tsetupf");
lmi[i] := (1000,500,1000,700,0) ;
costta[i,p,a] := DATABASE("Pr_costta","costta");
```

! Almacenes

```
capal[a] := DATABASE("Pr_capal","capal");
costina[i,a] := DATABASE("Pr_costina","costina");
ssa[i,a] := DATABASE("Pr_ssa","ssa");
ina0 [i,a] :=DATABASE("Pr_ina0","ina0");
```

!AI

!COMPRAS a Proveedores (CDT1, CDT2 y CDT3) y Subcontrata (CDT5)

```
costco[c,r] := DATABASE("Pr_costcomp","costcomp");
costsc[i,b] := DATABASE("Pr_costsc","costsc");
```

! VENTAS en Almacenes, a Centros Logísticos (CDO6) y a CDO7

```
da[i,a,t] := DATABASE("Pr_da","da");
precioa[i,a] := DATABASE("Pr_precioa","precioa");
costdifa[i,a] := DATABASE("Pr_costdifa","costdifa");
M1 = 100000;
M2 = 100000;
alfa1 = 0.10;
alfa2 = 0.10;
preciocdo6[i] = (5,5,4,5.9,3.1);
preciocdo7[i] = (5.0485,5.0485,4.049,5.9645,3.13);
```

! INTERDEPENDENCIAS

! Interdependencia temporal proveniente de CDT4

hnl[l,p,z] := DATABASE("Pr_hnl", "hnl");

ina [f,a,z] := DATABASE ("Pr_ina", "ina");

costinaneg = 0.1;

costinapos = 0.1;

maxinaneg = 0.01;

maxinapos = 0.01;

! Interdependencia espacial respecto de CDO6 y CDO7

cocdo6 [i,a,t]:= DATABASE ("Pr_cocdo6", "cocdo6");

cocdo7 [i,a=2,t]:= DATABASE ("Pr_cocdo7", "cocdo7");

! Interdependencia Espacial respecto de (Proveedores) CDT1,CDT2,CDT3 y (Subcontrata) CDT5
(Down)

capaprv[c,r] := DATABASE("Pr_capaprv", "capaprv");

capsci[i,b] := DATABASE("Pr_capsci", "capsci");

DECISION VARIABLES

! LOCALES

! AT

CTP[c,r,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTP", "CTP");

! Plantas

! Líneas

INC[c,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INC", "INC");

MPF[f,l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_MPF", "MPF");

MP[p, l IN Lp, i IN Il, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_MP", "MP");

X[i,l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_X", "X");

Y[f,l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_Y", "Y");

ZF[f,l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_ZF", "ZF");

ZI[i,l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_ZI", "ZI");

```

CAF[l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CAF","CAF");
CEX [l,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CEX","CEX");
CTA[p,a IN Ap, i IN Ip, t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CTA", "CTA");
! Almacenes
INA[i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INA","INA");
!AI
! COMPRAS en Proveedores y Subcontrata
CO[c,r,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CO","CO");
CSC[i,b,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_CSC","CSC");
! VENTAS en Almacenes, a Centros Logísticos (CDO6) y a CDO7
VEA[i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VEA","VEA");
DIFA[i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_DIFA","DIFA");
VECDO6 [i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VECDO6","VECDO6");
VECDO7 [i,a,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_VECDO7","VECDO7");
! INTERDEPENDENCIAS
! Interdependencia temporal proveniente de CDT4
INANEG[f,a,z] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INANEG","INANEG");
INAPOS[f,a,z] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_INAPOS","INAPOS");
! Interdependencia espacial respecto de CDO6 y CDO7
MACROS
! LOCALES
!AT
CostTRRP := SUM(t, p, r IN Rp, c IN Cr: costtrp * CTP);
! Plantas
! Lineas
CostINP := SUM(t,c,p: costinc * INC);
CostPR := SUM(t,p, l IN Lp, i IN Il: costp * MP);

```

CostSetupF := SUM(t,p,l IN Lp, f IN Fl: costsetupf * ZF);

CostSetupI := SUM(t,p,l IN Lp, i IN Il: costsetupi * ZI);

CostExtra := SUM(t,p, l IN Lp : costcex * CEX);

CostTRPA := SUM(t,a,p IN Pa, i IN Ip: costta * CTA);

! Almacenes

CostINA := SUM(t,a, i IN Ia: costina * INA);

!AI

! COMPRAS

CostCO := SUM(t,c,r IN Rc: costco * CO);

CostSC := SUM(t,i,b IN Bi, a IN Ab: costsc * CSC);

! VENTAS

CostDifA := SUM(t,a,i IN Ia: costdifa * DIFA);

Ingresos := SUM(t,i,a: precioa[i,a] * VEA[i,a,t]) + SUM(t,i,a: preciocdo6[i] * VECDO6[i,a,t]) +
SUM(t,i,a: preciocdo7[i] * VECDO7[i,a,t]);

! INTERDEPENDENCIAS

!Interdependencia temporal respecto CDT4

CostITTNEG := SUM(f,a, z=1: costinaneq * INANEG);

CostITTPOS := SUM(f,a, z=1: costinapos * INAPOS);

CostITTCDT4 := CostITTNEG + CostITTPOS;

CostLocal:= CostTRRP + CostINP + CostPR + CostExtra + CostSetupF + CostSetupI + CostTRPA +
CostINA + CostCO + CostSC + CostDifA ;

CostTotal := CostLocal + CostITTCDT4 ;

MODEL

MAX Beneficios = Ingresos - CostTotal;

SUBJECT TO

! LOCALES

!AT

! Plantas

! Líneas

ProvMP1a[p, c, t = 1] : INC = inc0 + SUM(r IN Rc: CTP) - SUM(i IN Ic: alfa * SUM(l IN Lp: MP));

ProvMP1b[p, c, t > 1] : INC = INC[t-1] + SUM(r IN Rc: CTP) - SUM(i IN Ic: alfa * SUM(l IN Lp: MP));

SSInC[c,p,t] : INC >= ssc;

ConsCapProd[p, l IN Lp, t] : SUM(f IN Fl: tsetupf * ZF) + SUM(f IN Fl, i IN If1: tsetupi * ZI + MP * tfab) <= CAF + CEX ;

MaxHE [p, l IN Lp, t] : CEX <= 0.3*CAF ;

MPFMP[t, p, l IN Lp, f IN Fl] : MPF=SUM(i IN If1: MP);

CamPart1[p, l IN Lp, i IN Il, t] : ZI >= X - X[t-1];

CamPart2[p, l IN Lp, t] : SUM(i IN Il: ZI) >= SUM(i IN Il: X) - 1;

CamPart3[p, l IN Lp, f IN Fl, t] : ZF >= Y - Y[t-1];

CamPart4[p, l IN Lp, t] : SUM(f: ZF) >= SUM(f: Y) - 1;

InvPP[p, i IN Ip, t] : SUM(l IN Lp: cm * cq * MP) = SUM(a IN Ap: CTA);

Asignacion2[p, l IN Lp, i IN Il, t] : MP >= lmi * X;

! Almacenes

InvPFNS[i IN PFNS, a, t=1] : INA = ina0 +SUM(p IN Pa: CTA) - VEA - VECDO6 - VECDO7 ;

InvPFNS[i IN PFNS, a, t>1] : INA = INA[t-1] +SUM(p IN Pa: CTA) - VEA - VECDO6 - VECDO7;

InvPFSP[i IN PFSP, a, t=1] : INA = ina0 +SUM(p IN Pa: CTA) + SUM(b IN Ba: CSC) - VEA - VECDO6 - VECDO7;

InvPFSP[i IN PFSP, a, t>1] : INA = INA[t-1] +SUM(p IN Pa: CTA) + SUM(b IN Ba: CSC) - VEA - VECDO6 - VECDO7;

InvPFST[a, i IN PFST, t=1] : INA = ina0 +SUM(b IN Ba: CSC) - VEA - VECDO6 - VECDO7;

InvPFST[a, i IN PFST, t>1] : INA = INA[t-1] +SUM(b IN Ba: CSC) - VEA - VECDO6 - VECDO7;

!AI

! COMPRAS en Proveedores y Subcontrata

ComprasR[c, r IN Rc, t] : CO = SUM(p : CTP) ;

! VENTAS en Almacenes

VentaDifA[a, i IN Ia, t] : VEA + DIFA - DIFA[t-1] = da;

LimDifA[a, i IN Ia, t] : DIFA <= alfa1 * da;

! INTERDEPENDENCIAS

! Interdependencia temporal proveniente de CDT4

CCD1 [p, l IN Lp, z, t IN Tz] WHERE (z=1) : CAF = hnl*0.25*0.1 ; ! capacidad mensual llevada a semanas y Prod1,2,3,4 y 5 suponen un 10% total

CCD2 [f, a, z, t=4] WHERE (z=1) : SUM(i IN If1: INA) + INANEG - INAPOS = ina * porc ;

CCD21 [f, a, z, t=4] WHERE (z=1): INANEG <= maxinaneg * ina ;

CCD22 [f, a, z, t=4] WHERE (z=1): INAPOS <= maxinapos * ina ;

! Interdependencia espacial respecto de CDO6 y CDO7

CCC1 [a, i IN Ia, t] : VECDO6 = cocdo6;

CCC2 [a, i IN Ia, t] : VECDO7 = cocdo7;

! Interdependencia espacial respecto del Proveedor (CDO1) y Subcontrata (CDO5)

CapAprov[c,r In Rc] : SUM(p,t: CTP) <= capaprv;

CapSubContPFSP[i IN PFSP, b IN Bi] : SUM(a IN Ab,t: CSC) <= capsc ;

CapSubContPFST[i IN PFST, b IN Bi] : SUM(a IN Ab,t: CSC) <= capsc ;

! Logicas

Asignacion1[p, l IN Lp, i IN Il, t] : MP <= M1 * X;

Asignacion3[p, l IN Lp, f IN Fl,t] : MPF <= M2 * Y;

! Técnicas

BOUNDS

MPF >= 0;

MP >= 0;

CEX >=0;

CTP >= 0;

CTA >= 0;

INA >= 0;

INC >= 0;

```

CO >=0;
CSC >= 0;
VEA >= 0;
DIFA >= 0;
VECD06 >= 0;
VECD07>=0 ;
CAF >=0 ;
INA >= 0;
INANEG >= 0;
INAPOS >= 0;

```

BINARY

```
X;
```

```
Y;
```

```
ZF;
```

```
ZI;
```

```
END
```

A.4 Parámetros de Entrada de los Modelos.

A.4.1 Modelo PLEM asociado a CDT4

A.4.1.1 Parámetros Locales

Ítems en general

Familias	<i>rendm_{gpf}</i>
Fm1	0,9
Fm2	0,95
Fm3	0,85

Tabla I. Coeficiente de mermas de cada grupo de productos finales.

Familias	$rendb_{gpf}$
Fm1	0,9201
Fm2	0,8451
Fm3	0,8902

Tabla II. Coeficiente de 1ª calidad de cada grupo de productos finales.

Familias	MateriasPrimas	$lismat_{mp,gpf}$
Fm1	PastaBlanca1	16,16
Fm1	Esmalte1	0,0695
Fm2	PastaBlanca2	18,72
Fm2	Esmalte2	0,0802
Fm3	PastaRoja	18
Fm3	Esmalte3	0,0615

Tabla III. Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada grupo de productos finales.

Familias	pes_{gpf}
Fm1	16,2
Fm2	18,8
Fm3	18
Fm4	17,5

Tabla IV. Peso (kgrs) por m2 de cada grupo de productos finales.

Ligados a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

cin_f Capacidad máxima de almacenamiento de cada planta.

Producción_2

LineasFabricacion	PlantasProductivas	ct_{if}
LP1	PI1	180
LP2	PI1	180
LP3	PI2	160
LP4	PI2	160
LP5	PI3	160
LP6	PI3	160
LP7	PI3	160

Tabla V. Capacidad normal disponible por turno de cada línea de fabricación en cada planta.

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$nt0_{if}$
LP1	PI1	2
LP2	PI1	2
LP3	PI2	2
LP4	PI2	2
LP5	PI3	2
LP6	PI3	2
LP7	PI3	2

Tabla VI. Numero de turnos en cada línea de fabricación de cada planta al inicio del primer periodo.

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$nt_{i,f}$
LP1	PI1	2
LP2	PI1	2
LP3	PI2	2
LP4	PI2	2
LP5	PI3	3
LP6	PI3	3
LP7	PI3	3

Tabla VII. Número máximo de turnos en cada línea de fabricación de cada planta.

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$cost_{i,f}$
LP1	PI1	4580
LP2	PI1	4220
LP3	PI2	4625
LP4	PI2	4175
LP5	PI3	4600
LP6	PI3	4700
LP7	PI3	4350

Tabla VIII. Coste de mantener un turno en cada línea de fabricación en cada planta.

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$cost_{i,f}^+$
LP1	PI1	1500
LP2	PI1	1340

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costt^+_{lf}$
LP3	PI2	1545
LP4	PI2	1485
LP5	PI3	1620
LP6	PI3	1820
LP7	PI3	1870

Tabla IX. Coste de incrementar un turno en una línea de fabricación de una planta.

LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costt^-_{lf}$
LP1	PI1	1200
LP2	PI1	1140
LP3	PI2	1245
LP4	PI2	1185
LP5	PI3	1220
LP6	PI3	1320
LP7	PI3	1370

Tabla X. Coste de reducir un turno en una línea de fabricación de una planta.

npc
3

Tabla XI. Número de periodos congelados en la reconsideración de las decisiones sobre capacidad productiva.

Almacenamiento_2

Producción_1

Hornos	PlantasProductivas	$c_{h,f}$
Hn1	PI1	672
Hn2	PI2	672
Hn3	PI3	672
Hn4	PI3	672

Tabla XII. Capacidad máxima (por periodo) de producción de cada horno de cada planta.

Hornos	PlantasProductivas	$costy_{h,f}$
Hn1	PI1	47500
Hn2	PI2	47000
Hn3	PI3	48500
Hn4	PI3	46525

Tabla XIII. Coste de mantener activo un horno de una planta por periodo de "npc".

Hornos	PlantasProductivas	$costyd_{h,f}$
Hn1	PI1	8200
Hn2	PI2	8000
Hn3	PI3	8200
Hn4	PI3	7700

Tabla XIV. Coste de activar un horno de una planta.

Hornos	PlantasProductivas	$costyd_{h,f}$
Hn1	PI1	4500

Hornos	Plantas Productivas	$costy_{d_{hf}}$
Hn2	PI2	4000
Hn3	PI3	4700
Hn4	PI3	4300

Tabla XV. Coste de desactivar un horno de una planta.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Almacenes	cin_d^1
AI1	300000
AI2	300000

Tabla XVI. Capacidad máxima de almacenamiento de cada almacén.

Transporte

Capacidad de transporte (Kgr) de cada vehículo2: $ctr_{v_2}=80000$

Almacenes	Centros Logísticos	$cost_{fr_{v_2, d^1, d^2}}$
AI1	CL1	800
AI1	CL2	800
AI2	CL2	800
AI2	CL3	800

Tabla XVII. Coste fijo de transporte por vehículo2 que se “contrata” para el trayecto entre cada almacén y cada centro logístico.

Almacenes	Centros Logísticos	$nv2_{d^1, d^2}$
-----------	--------------------	------------------

Almacenes	CentrosLogisticos	$nv2_{d,d}^1,2$
AI1	CL1	17
AI1	CL2	10
AI2	CL2	10
AI2	CL3	17

Tabla XVIII. Número máximo de vehículos disponibles entre cada almacén y cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

CentrosLogisticos	cin_d^2
CL1	28800
CL2	22000
CL3	18500

Tabla XIX. Capacidad máxima de almacenamiento en cada centro logístico.

Ligados a las AIs

Compras

Ventas

A.4.1.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Te}

$CDT=6$:

Familias	Almacenes	Periodos	${}^oCO_{gpf,d}^1,cdt6,t$
Fm1	AI2	1	5580
Fm1	AI2	2	7972
Fm1	AI2	3	7972
Fm1	AI2	4	7972

Familias	Almacenes	Periodos	${}^{\circ}CO_{gpf,d} \frac{1}{,cdt6,t}$
Fm1	Al2	5	7972
Fm1	Al2	6	7972
Fm1	Al2	7	7972
Fm1	Al2	8	5580
Fm1	Al2	9	5580
Fm1	Al2	10	7972
Fm1	Al2	11	7972
Fm1	Al2	12	5580
Fm2	Al2	1	8024
Fm2	Al2	2	11463
Fm2	Al2	3	11463
Fm2	Al2	4	11463
Fm2	Al2	5	11463
Fm2	Al2	6	11463
Fm2	Al2	7	11463
Fm2	Al2	8	8024
Fm2	Al2	9	8024
Fm2	Al2	10	11463
Fm2	Al2	11	11463
Fm2	Al2	12	8024
Fm3	Al2	1	6128
Fm3	Al2	2	8754
Fm3	Al2	3	8754

Familias	Almacenes	Periodos	${}^{\circ}CO_{gpf,d}^1_{,cdt6,t}$
Fm3	Al2	4	8754
Fm3	Al2	5	8754
Fm3	Al2	6	8754
Fm3	Al2	7	8754
Fm3	Al2	8	6128
Fm3	Al2	9	6128
Fm3	Al2	10	8754
Fm3	Al2	11	8754
Fm3	Al2	12	6128
Fm4	Al2	1	3890
Fm4	Al2	2	5558
Fm4	Al2	3	5558
Fm4	Al2	4	5558
Fm4	Al2	5	5558
Fm4	Al2	6	5558
Fm4	Al2	7	5558
Fm4	Al2	8	3890
Fm4	Al2	9	3890
Fm4	Al2	10	5558
Fm4	Al2	11	5558
Fm4	Al2	12	3890

Tabla XX. Cantidad requerida de compras “objetivo” de cada grupo de productos finales en el segundo almacén por parte del centro de decisión táctico 6 en cada periodo.

CD^{Bt}
 $CDO=4:$
Ligados a las ATs
Etapa Proveedores
Transporte

MateriasPrimas	ProvMp	PlantasProductivas	ant_costr_{mp,pf}
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI1	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI1	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI1	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI1	0,001
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI2	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI2	0,001
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI3	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI3	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI3	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI3	0,001

Tabla XXI. Coste de transporte de las materia primas desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

MateriasPrimas	PlantasProductivas	ant_SS _{mp,f}
PastaBlanca1	PI1	2100
PastaBlanca1	PI2	2100
PastaBlanca1	PI3	2100
PastaBlanca2	PI1	1800
PastaBlanca2	PI2	1800
PastaBlanca2	PI3	1800
PastaRoja	PI1	1500
PastaRoja	PI2	1500
PastaRoja	PI3	1500
Esmalte1	PI1	175
Esmalte1	PI2	175
Esmalte1	PI3	175
Esmalte2	PI1	145
Esmalte2	PI2	145
Esmalte2	PI3	145
Esmalte3	PI1	120
Esmalte3	PI2	120
Esmalte3	PI3	120

Tabla XXII. Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.

MateriasPrimas	PlantasProductivas	ant_costin _{mp,f}
----------------	--------------------	----------------------------

MateriasPrimas	PlantasProductivas	ant_costin_{mp,f}
PastaBlanca1	PI1	0,1138
PastaBlanca2	PI1	0,1319
PastaRoja	PI1	0,0486
Esmalte1	PI1	0,0313
Esmalte2	PI1	0,0545
Esmalte3	PI1	0,0356
PastaBlanca1	PI2	0,1138
PastaBlanca2	PI2	0,1319
PastaRoja	PI2	0,0486
Esmalte1	PI2	0,0313
Esmalte2	PI2	0,0545
Esmalte3	PI2	0,0356
PastaBlanca1	PI3	0,1138
PastaBlanca2	PI3	0,1319
PastaRoja	PI3	0,0486
Esmalte1	PI3	0,0313
Esmalte2	PI3	0,0545
Esmalte3	PI3	0,0356

Tabla XXIII. Coste unitario de almacenamiento de cada materia prima en cada planta.

MateriasPrimas	PlantasProductivas	ant_in0_{mp,f}
PastaBlanca1	PI1	2100

MateriasPrimas	PlantasProductivas	ant_in0_{mp,f}
PastaBlanca2	PI1	1800
PastaRoja	PI1	1500
Esmalte1	PI1	175
Esmalte2	PI1	145
Esmalte3	PI1	120
PastaBlanca1	PI2	2100
PastaBlanca2	PI2	1800
PastaRoja	PI2	1500
Esmalte1	PI2	175
Esmalte2	PI2	145
Esmalte3	PI2	120
PastaBlanca1	PI3	2100
PastaBlanca2	PI3	1800
PastaRoja	PI3	1500
Esmalte1	PI3	175
Esmalte2	PI3	145
Esmalte3	PI3	120

Tabla XXIV. Inventario inicial de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_tpr_{gp,l,f}
Fm1	LP1	PI1	0,004946
Fm1	LP2	PI1	0,005023
Fm1	LP4	PI2	0,006254

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_<i>tp</i>_{gpf,l,f}
Fm1	LP5	PI3	0,006401
Fm1	LP7	PI3	0,004626
Fm2	LP1	PI1	0,004626
Fm2	LP2	PI1	0,004329
Fm2	LP3	PI2	0,004487
Fm2	LP4	PI2	0,004847
Fm2	LP5	PI3	0,004922
Fm2	LP6	PI3	0,006272
Fm2	LP7	PI3	0,004533
Fm3	LP1	PI1	0,005427
Fm3	LP3	PI2	0,004533
Fm3	LP4	PI2	0,004242
Fm3	LP6	PI3	0,004397
Fm3	LP7	PI3	0,00475

Tabla XXV. Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_<i>tfpr</i>_{gpf,l,f}
Fm1	LP1	PI1	8
Fm1	LP2	PI1	4
Fm1	LP4	PI2	8
Fm1	LP5	PI3	6
Fm1	LP7	PI3	6

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_ $tfpr_{gpf,l,f}$
Fm2	LP1	PI1	6
Fm2	LP2	PI1	5
Fm2	LP3	PI2	6
Fm2	LP4	PI2	7
Fm2	LP5	PI3	5
Fm2	LP6	PI3	6
Fm2	LP7	PI3	5
Fm3	LP3	PI2	4
Fm3	LP4	PI2	5
Fm3	LP6	PI3	7
Fm3	LP7	PI3	6
Fm3	LP1	PI1	8

Tabla XXVI. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_ $tmfpr_{gpf,l,f}$
Fm1	LP1	PI1	1,99
Fm1	LP2	PI1	1,06
Fm1	LP4	PI2	1,84
Fm1	LP5	PI3	1,07
Fm1	LP7	PI3	1,27
Fm2	LP1	PI1	1,98
Fm2	LP2	PI1	1,75

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_tmfpr _{gpf,l,f}
Fm2	LP3	PI2	1,16
Fm2	LP4	PI2	1,11
Fm2	LP5	PI3	1,3
Fm2	LP6	PI3	1,48
Fm2	LP7	PI3	1,6
Fm3	LP3	PI2	1,03
Fm3	LP4	PI2	1,69
Fm3	LP6	PI3	1,49
Fm3	LP7	PI3	1,1
Fm3	LP1	PI1	1,99

Tabla XXVII. Tiempo de setup "medio" de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_costfpr _{gpf,l,f}
Fm1	LP1	PI1	5000
Fm1	LP2	PI1	3000
Fm1	LP4	PI2	4500
Fm1	LP5	PI3	4000
Fm1	LP7	PI3	4000
Fm2	LP1	PI1	4000

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_costfpr _{gpf,l,f}
Fm2	LP2	PI1	3500
Fm2	LP3	PI2	4000
Fm2	LP4	PI2	4500
Fm2	LP5	PI3	3500
Fm2	LP6	PI3	4000
Fm2	LP7	PI3	3500
Fm3	LP3	PI2	3000
Fm3	LP4	PI2	3500
Fm3	LP6	PI3	4500
Fm3	LP7	PI3	4000

Tabla XXVIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_costmfpr _{gpf,l,f}
Fm1	LP1	PI1	449
Fm1	LP2	PI1	310
Fm1	LP4	PI2	480
Fm1	LP5	PI3	310
Fm1	LP7	PI3	340
Fm2	LP1	PI1	447
Fm2	LP2	PI1	413
Fm2	LP3	PI2	324
Fm2	LP4	PI2	317

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_costm _{pr_gpf,l,f}
Fm2	LP5	PI3	344
Fm2	LP6	PI3	371
Fm2	LP7	PI3	390
Fm3	LP3	PI2	305
Fm3	LP4	PI2	404
Fm3	LP6	PI3	373
Fm3	LP7	PI3	316

Tabla XXIX. Coste de setup "medio" de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_lmin _{pr_gpf,l,f}
Fm1	LP1	PI1	30000
Fm1	LP2	PI1	30000
Fm1	LP3	PI2	30000
Fm1	LP4	PI2	30000
Fm1	LP5	PI3	30000
Fm1	LP6	PI3	30000
Fm1	LP7	PI3	30000
Fm2	LP1	PI1	30000
Fm2	LP2	PI1	30000
Fm2	LP3	PI2	30000
Fm2	LP4	PI2	30000
Fm2	LP5	PI3	30000

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_lminpr _{gpf,l,f}
Fm2	LP6	PI3	30000
Fm2	LP7	PI3	30000
Fm3	LP1	PI1	30000
Fm3	LP2	PI1	30000
Fm3	LP3	PI2	30000
Fm3	LP4	PI2	30000
Fm3	LP5	PI3	30000
Fm3	LP6	PI3	30000
Fm3	LP7	PI3	30000

Tabla XXX. Lote mínimo de fabricación de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_lmedpr _{gpf,l,f}
Fm1	LP1	PI1	2800
Fm1	LP2	PI1	2800
Fm1	LP3	PI2	2800
Fm1	LP4	PI2	2800
Fm1	LP5	PI3	2800
Fm1	LP6	PI3	2800
Fm1	LP7	PI3	2800
Fm3	LP1	PI1	4100
Fm3	LP2	PI1	4100
Fm3	LP3	PI2	4100

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	ant_lmedpr _{gpf,l,f}
Fm3	LP4	PI2	4100
Fm3	LP5	PI3	4100
Fm3	LP6	PI3	4100
Fm3	LP7	PI3	4100
Fm2	LP1	PI1	1900
Fm2	LP2	PI1	1900
Fm2	LP3	PI2	1900
Fm2	LP4	PI2	1900
Fm2	LP5	PI3	1900
Fm2	LP6	PI3	1900
Fm2	LP7	PI3	1900

Tabla XXXI. Lote de fabricación "medio" de los PFs de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta.

Almacenamiento_2

Familias	PlantasProductivas	ant_costin _{gpf,f}
Fm1	PI1	0,3
Fm1	PI2	0,3
Fm1	PI3	0,3
Fm2	PI1	0,22
Fm2	PI2	0,22
Fm2	PI3	0,22
Fm3	PI1	0,34
Fm3	PI2	0,34

Familias	PlantasProductivas	ant_costin _{gpf,f}
Fm3	PI3	0,34

Tabla XXXII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada planta.

Familias	PlantasProductivas	ant_cin _{gpf,f}
Fm1	PI1	5000
Fm1	PI2	5000
Fm1	PI3	5000
Fm2	PI1	5000
Fm2	PI2	5000
Fm2	PI3	5000
Fm3	PI1	4000
Fm3	PI2	4000
Fm3	PI3	4000

Tabla XXXIII. Capacidad máxima de almacenamiento de cada grupo de productos finales en cada planta.

Familias	PlantasProductivas	ant_in0 _{gpf,f}
Fm1	PI1	1550
Fm1	PI2	1670
Fm1	PI3	1820
Fm2	PI1	1800
Fm2	PI2	1540

Familias	PlantasProductivas	ant_in0 _{gpf,f}
Fm2	PI3	1380
Fm3	PI1	1560
Fm3	PI2	1140
Fm3	PI3	1320

Tabla XXXIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada planta.

Producción_1

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_tfpr _{gpf,h,f}
Fm1	Hn1	PI1	0,003316
Fm1	Hn2	PI2	0,004213
Fm1	Hn3	PI3	0,002851
Fm2	Hn1	PI1	0,003545
Fm2	Hn2	PI2	0,002898
Fm2	Hn3	PI3	0,003382
Fm2	Hn4	PI3	0,002908
Fm3	Hn1	PI1	0,004782
Fm3	Hn2	PI2	0,003368
Fm3	Hn4	PI3	0,002753

Tabla XXXV. Tiempo unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_tfpr _{gpf,h,f}
Fm1	Hn1	PI1	1,25
Fm1	Hn2	PI2	1,78

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_ $tfpr_{gpf,h,f}$
Fm1	Hn3	PI3	1,04
Fm2	Hn1	PI1	1,91
Fm2	Hn2	PI2	1,86
Fm2	Hn3	PI3	1,36
Fm2	Hn4	PI3	1,69
Fm3	Hn1	PI1	1,86
Fm3	Hn2	PI2	1,61
Fm3	Hn4	PI3	1,73

Tabla XXXVI. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_ $tmfpr_{gpf,h,f}$
Fm1	Hn1	PI1	0,57
Fm1	Hn2	PI2	1,35
Fm1	Hn3	PI3	1,04
Fm2	Hn1	PI1	1,06
Fm2	Hn2	PI2	0,52
Fm2	Hn3	PI3	1,2
Fm2	Hn4	PI3	0,6
Fm3	Hn1	PI1	1,54
Fm3	Hn2	PI2	0,97
Fm3	Hn4	PI3	1,33

Tabla XXXVII. Tiempo de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_costfpr _{gpf,h,f}
Fm1	Hn1	PI1	2774
Fm1	Hn2	PI2	2900
Fm1	Hn3	PI3	2712
Fm2	Hn1	PI1	2973
Fm2	Hn2	PI2	2956
Fm2	Hn3	PI3	2807
Fm2	Hn4	PI3	2906
Fm3	Hn1	PI1	2700
Fm3	Hn2	PI2	2882
Fm3	Hn4	PI3	2920

Tabla XXXVIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Familias	Hornos	PlantasProductivas	ant_costmfpr _{gpf,h,f}
Fm1	Hn1	PI1	1704
Fm1	Hn2	PI2	1850
Fm1	Hn3	PI3	1948
Fm2	Hn1	PI1	1975
Fm2	Hn2	PI2	1781
Fm2	Hn3	PI3	2000
Fm2	Hn4	PI3	1842
Fm3	Hn1	PI1	1950
Fm3	Hn2	PI2	1731

Familias	Hornos	PlantasProductivas	$ant_costm_{pr_{gpf,h,f}}$
Fm3	Hn4	PI3	1883

Tabla XXXIX. Coste de setup “medio” de los productos finales de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Familias	Hornos	PlantasProductivas	$ant_lmedpr_{gpf,h,f}$
Fm1	Hn1	PI1	2800
Fm2	Hn1	PI1	1900
Fm1	Hn2	PI2	2800
Fm2	Hn2	PI2	1900
Fm3	Hn2	PI2	4100
Fm1	Hn3	PI3	2800
Fm2	Hn3	PI3	1900
Fm2	Hn4	PI3	1900
Fm3	Hn4	PI3	4100

Tabla XL. Lote de fabricación “medio” de los PFs de cada grupo de productos finales en cada horno de cada planta.

Hornos	PlantasProductivas	$ant_rend_{h,f}$
Hn1	PI1	0,5
Hn2	PI2	0,5
Hn3	PI3	0,5

Hornos	PlantasProductivas	ant_rend _{h,f}
Hn4	PI3	0,5

Tabla XLI. Porcentaje deseado de productividad de cada horno de cada planta.

Transporte

Familias	PlantasProductivas	Almacenes	ant_costtr _{gp,f,d} ¹
Fm1	PI1	AI1	0,054
Fm3	PI2	AI1	0,05
Fm1	PI2	AI2	0,054
Fm2	PI2	AI2	0,054
Fm3	PI2	AI2	0,054
Fm1	PI3	AI2	0,08
Fm2	PI3	AI2	0,08
Fm3	PI3	AI2	0,08
Fm1	PI3	AI1	0,088
Fm2	PI3	AI1	0,088
Fm3	PI3	AI1	0,088
Fm2	PI1	AI1	0,054
Fm3	PI1	AI1	0,054
Fm1	PI2	AI1	0,05
Fm2	PI2	AI1	0,05

Tabla XLII. Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Familias	Almacenes	ant_costin _{gpf,d} ¹
Fm1	Al1	0,36
Fm2	Al1	0,28
Fm3	Al1	0,4
Fm4	Al1	0,24
Fm1	Al2	0,36
Fm2	Al2	0,28
Fm3	Al2	0,4
Fm4	Al2	0,24

Tabla XLIII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada almacén.

Familias	Almacenes	ant_in0 _{gpf,d} ¹
Fm1	Al1	50000
Fm2	Al1	50000
Fm3	Al1	43300
Fm4	Al1	20000
Fm1	Al2	50000
Fm2	Al2	75000
Fm3	Al2	43300
Fm4	Al2	20000

Tabla XLIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada almacén.

Ligadas a las AIs

Compras

CDTV:

MateriasPrimas	ProvMp	cdtv	$COSTCO_{mp,p,cdtv}$
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDT1	0,0604
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDT1	0,0442
PastaRoja	ProvPastaRoja	CDT2	0,017
Esmalte1	ProvEsmalte	CDT3	2,701
Esmalte2	ProvEsmalte	CDT3	2,458
Esmalte3	ProvEsmalte	CDT3	1,534

Tabla XLV. Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor con respecto a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional "vendedores".

Familias	ProvPF	cdtv	$costco_{gpf,d}^1_{,cdtv}$
Fm3	ProvCW	CDT5	5,86
Fm4	ProvCW	CDT5	2,59

Tabla XLVI. Coste de compra/subcontratar cada grupo de productos finales en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional "vendedores".

Ventas

PV:

Familias	Almacenes	$ing_{gpf,d}^1_{,pv}$
Fm1	Al1	5,6485
Fm2	Al1	4,249
Fm3	Al1	6,4645
Fm4	Al1	3,29
Fm1	Al2	5,6485
Fm2	Al2	4,249

Familias	Almacenes	$ing_{gpf,d}^1_{,pv}$
Fm3	Al2	6,4645
Fm4	Al2	3,29

Tabla XLVII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de Venta

Familias	Almacenes	Periodos	$dem_{gpf,d}^1_{,pv,t}$
Fm1	Al1	1	38344
Fm1	Al1	2	24778
Fm1	Al1	3	24778
Fm1	Al1	4	24778
Fm1	Al1	5	64778
Fm1	Al1	6	84778
Fm1	Al1	7	44778
Fm1	Al1	8	38344
Fm1	Al1	9	28344
Fm1	Al1	10	64778
Fm1	Al1	11	74778
Fm1	Al1	12	58344
Fm2	Al1	1	31014
Fm2	Al1	2	14305
Fm2	Al1	3	24305
Fm2	Al1	4	54305
Fm2	Al1	5	34305

Familias	Almacenes	Periodos	$dem_{gpf,d}^1_{,pv,t}$
Fm2	Al1	6	54305
Fm2	Al1	7	24305
Fm2	Al1	8	21014
Fm2	Al1	9	11014
Fm2	Al1	10	34305
Fm2	Al1	11	34305
Fm2	Al1	12	21014
Fm3	Al1	1	23683
Fm3	Al1	2	13833
Fm3	Al1	3	13833
Fm3	Al1	4	33833
Fm3	Al1	5	23833
Fm3	Al1	6	23833
Fm3	Al1	7	23833
Fm3	Al1	8	13683
Fm3	Al1	9	13683
Fm3	Al1	10	23833
Fm3	Al1	11	23833
Fm3	Al1	12	13683
Fm4	Al1	1	11278
Fm4	Al1	2	16110
Fm4	Al1	3	16110
Fm4	Al1	4	16110

Familias	Almacenes	Periodos	$dem_{gpf,d}^1_{,pv,t}$
Fm4	Al1	5	16110
Fm4	Al1	6	16110
Fm4	Al1	7	16110
Fm4	Al1	8	11278
Fm4	Al1	9	11278
Fm4	Al1	10	16110
Fm4	Al1	11	16110
Fm4	Al1	12	11278
Fm1	Al2	1	55809
Fm1	Al2	2	62727
Fm1	Al2	3	52727
Fm1	Al2	4	52727
Fm1	Al2	5	52727
Fm1	Al2	6	42727
Fm1	Al2	7	52727
Fm1	Al2	8	30809
Fm1	Al2	9	30809
Fm1	Al2	10	62727
Fm1	Al2	11	62727
Fm1	Al2	12	40809
Fm2	Al2	1	80248
Fm2	Al2	2	51444
Fm2	Al2	3	48888

Familias	Almacenes	Periodos	$dem_{gpf,d}^1_{,pv,t}$
Fm2	Al2	4	45667
Fm2	Al2	5	62638
Fm2	Al2	6	72638
Fm2	Al2	7	92638
Fm2	Al2	8	72248
Fm2	Al2	9	42248
Fm2	Al2	10	43638
Fm2	Al2	11	83638
Fm2	Al2	12	64248
Fm3	Al2	1	61280
Fm3	Al2	2	50542
Fm3	Al2	3	60542
Fm3	Al2	4	40542
Fm3	Al2	5	40542
Fm3	Al2	6	30542
Fm3	Al2	7	70542
Fm3	Al2	8	45280
Fm3	Al2	9	45280
Fm3	Al2	10	70542
Fm3	Al2	11	50542
Fm3	Al2	12	45280
Fm4	Al2	1	38907
Fm4	Al2	2	40580

Familias	Almacenes	Periodos	$dem_{gpf,d^1,pv,t}$
Fm4	Al2	3	30580
Fm4	Al2	4	20580
Fm4	Al2	5	20580
Fm4	Al2	6	20580
Fm4	Al2	7	30580
Fm4	Al2	8	25907
Fm4	Al2	9	25907
Fm4	Al2	10	20580
Fm4	Al2	11	40580
Fm4	Al2	12	25907

Tabla XLVIII. Demanda de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada punto de venta en cada periodo.

Familias	Almacenes	$maxdif_{gpf,d^1,pv}$
Fm1	Al1	0,1
Fm2	Al1	0,1
Fm3	Al1	0,1
Fm4	Al1	0,1
Fm1	Al2	0,1
Fm2	Al2	0,1
Fm3	Al2	0,1
Fm4	Al2	0,1

Tabla XLIX. Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los almacenes a cada punto de venta .

Familias	Almacenes	$costdif_{gpf,d}^1_{pv}$
Fm1	Al1	25
Fm2	Al1	25
Fm3	Al1	25
Fm4	Al1	25
Fm1	Al2	25
Fm2	Al2	25
Fm3	Al2	25
Fm4	Al2	25

Tabla L. Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada almacén a cada punto de venta.

CDTC:

Familias	Almacenes	$ing_{gpf,d}^1_{cdtc}$
Fm1	Al1	5,0485
Fm2	Al1	4,049
Fm3	Al1	5,9645
Fm4	Al1	3,13
Fm1	Al2	5,0485
Fm2	Al2	4,049
Fm3	Al2	5,9645
Fm4	Al2	3,13

Tabla LI. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada almacén a cada centro de decisión perteneciente a Entorno Decisional comprador

CDO=6:

Ligados a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹*Transporte*

Familias	Almacenes	CentrosLogisticos	ant_costtr_{gpf,d^{1,2}}
Fm1	Al1	CL1	0,37125
Fm1	Al1	CL2	0,3375
Fm2	Al1	CL2	0,39166667
Fm3	Al1	CL2	0,375
Fm4	Al1	CL2	0,36458333
Fm1	Al2	CL2	0,405
Fm2	Al2	CL2	0,47
Fm3	Al2	CL2	0,45
Fm4	Al2	CL2	0,4375
Fm1	Al2	CL3	0,29025
Fm2	Al2	CL3	0,33683333
Fm3	Al2	CL3	0,3225
Fm4	Al2	CL3	0,31354167
Fm2	Al1	CL1	0,43083333
Fm3	Al1	CL1	0,4125
Fm4	Al1	CL1	0,40104167

Tabla LII. Coste de transportar los grupos de productos finales desde cada almacén a cada centro logístico.

Sub-Etapa Distribución²*Almacenamiento*

Familias	CentrosLogisticos	ant_costin_{gpf,d²}
Fm1	CL1	0,4

Familias	CentrosLogisticos	$ant_costin_{gpf,d}^2$
Fm2	CL1	0,32
Fm3	CL1	0,44
Fm4	CL1	0,28
Fm1	CL2	0,4
Fm2	CL2	0,32
Fm3	CL2	0,44
Fm4	CL2	0,28
Fm1	CL3	0,4
Fm2	CL3	0,32
Fm3	CL3	0,44
Fm4	CL3	0,28

Tabla LIII. Coste de almacenar cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Familias	CentrosLogisticos	$ant_in0_{gpf,d}^2$
Fm1	CL1	333
Fm1	CL2	333
Fm1	CL3	333
Fm2	CL1	328
Fm2	CL2	328
Fm2	CL3	328
Fm3	CL1	233
Fm3	CL2	233
Fm3	CL3	233

Familias	CentrosLogisticos	$ant_in0_{gpf,d}^2$
Fm4	CL1	175
Fm4	CL2	175
Fm4	CL3	175

Tabla LIV. Inventario inicial de cada grupo de productos finales en cada centro logístico.

Ligados a las AIs

Compras

Ventas

GPV:

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm1	CL1	1	3587
Fm1	CL1	2	5404
Fm1	CL1	3	3355
Fm1	CL1	4	5636
Fm1	CL1	5	4611
Fm1	CL1	6	3843
Fm1	CL1	7	3587
Fm1	CL1	8	4662
Fm1	CL1	9	1793
Fm1	CL1	10	10247
Fm1	CL1	11	6404
Fm1	CL1	12	3587
Fm2	CL1	1	4380

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm2	CL1	2	6404
Fm2	CL1	3	5892
Fm2	CL1	4	8222
Fm2	CL1	5	5636
Fm2	CL1	6	7685
Fm2	CL1	7	6661
Fm2	CL1	8	2511
Fm2	CL1	9	3228
Fm2	CL1	10	8198
Fm2	CL1	11	6404
Fm2	CL1	12	5380
Fm3	CL1	1	6276
Fm3	CL1	2	5404
Fm3	CL1	3	3074
Fm3	CL1	4	4611
Fm3	CL1	5	5148
Fm3	CL1	6	6404
Fm3	CL1	7	4611
Fm3	CL1	8	5380
Fm3	CL1	9	5738
Fm3	CL1	10	2562
Fm3	CL1	11	6404
Fm3	CL1	12	6276

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm4	CL1	1	2690
Fm4	CL1	2	5404
Fm4	CL1	3	4611
Fm4	CL1	4	6148
Fm4	CL1	5	8222
Fm4	CL1	6	7685
Fm4	CL1	7	5636
Fm4	CL1	8	1793
Fm4	CL1	9	7173
Fm4	CL1	10	4611
Fm4	CL1	11	6404
Fm4	CL1	12	2690
Fm1	CL2	1	4125
Fm1	CL2	2	6365
Fm1	CL2	3	5008
Fm1	CL2	4	6481
Fm1	CL2	5	5303
Fm1	CL2	6	4419
Fm1	CL2	7	4124
Fm1	CL2	8	4362
Fm1	CL2	9	2062
Fm1	CL2	10	11784
Fm1	CL2	11	7365

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm1	CL2	12	4125
Fm2	CL2	1	6187
Fm2	CL2	2	6365
Fm2	CL2	3	6776
Fm2	CL2	4	10606
Fm2	CL2	5	6481
Fm2	CL2	6	8838
Fm2	CL2	7	7660
Fm2	CL2	8	2887
Fm2	CL2	9	3712
Fm2	CL2	10	8427
Fm2	CL2	11	7365
Fm2	CL2	12	6187
Fm3	CL2	1	7218
Fm3	CL2	2	6365
Fm3	CL2	3	3535
Fm3	CL2	4	5303
Fm3	CL2	5	7071
Fm3	CL2	6	7365
Fm3	CL2	7	5303
Fm3	CL2	8	6187
Fm3	CL2	9	5599
Fm3	CL2	10	2946

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm3	CL2	11	7365
Fm3	CL2	12	7218
Fm4	CL2	1	3093
Fm4	CL2	2	6365
Fm4	CL2	3	5303
Fm4	CL2	4	7071
Fm4	CL2	5	10606
Fm4	CL2	6	8838
Fm4	CL2	7	6481
Fm4	CL2	8	2062
Fm4	CL2	9	7249
Fm4	CL2	10	5303
Fm4	CL2	11	7365
Fm4	CL2	12	3093
Fm1	CL3	1	3766
Fm1	CL3	2	6725
Fm1	CL3	3	4573
Fm1	CL3	4	5918
Fm1	CL3	5	4842
Fm1	CL3	6	4035
Fm1	CL3	7	3766
Fm1	CL3	8	4896
Fm1	CL3	9	1883

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm1	CL3	10	10760
Fm1	CL3	11	6725
Fm1	CL3	12	3766
Fm2	CL3	1	5649
Fm2	CL3	2	5725
Fm2	CL3	3	6187
Fm2	CL3	4	9684
Fm2	CL3	5	5918
Fm2	CL3	6	8070
Fm2	CL3	7	6994
Fm2	CL3	8	2636
Fm2	CL3	9	3389
Fm2	CL3	10	7608
Fm2	CL3	11	6725
Fm2	CL3	12	5649
Fm3	CL3	1	6590
Fm3	CL3	2	5725
Fm3	CL3	3	3228
Fm3	CL3	4	4842
Fm3	CL3	5	6456
Fm3	CL3	6	6725
Fm3	CL3	7	4842
Fm3	CL3	8	5649

Familias	CentrosLogisticos	Periodos	$dem_{gpf,d}^2_{,gpv,t}$
Fm3	CL3	9	5025
Fm3	CL3	10	2690
Fm3	CL3	11	6725
Fm3	CL3	12	6590
Fm4	CL3	1	2824
Fm4	CL3	2	5725
Fm4	CL3	3	4842
Fm4	CL3	4	6456
Fm4	CL3	5	9684
Fm4	CL3	6	8070
Fm4	CL3	7	5918
Fm4	CL3	8	1883
Fm4	CL3	9	7532
Fm4	CL3	10	4842
Fm4	CL3	11	5725
Fm4	CL3	12	2824

Tabla LV. Demanda de cada grupo de productos finales en cada centro logístico por parte de cada grupo de puntos de venta en cada periodo.

Familias	CentrosLogisticos	$maxdif_{gpf,d}^2_{,gpv}$
Fm1	CL1	0,1
Fm1	CL2	0,1
Fm1	CL3	0,1

Familias	CentrosLogisticos	$maxdif_{gpf,d}^2_{,gpv}$
Fm3	CL1	0,1
Fm3	CL2	0,1
Fm3	CL3	0,1
Fm4	CL1	0,1
Fm4	CL2	0,1
Fm4	CL3	0,1
Fm2	CL1	0,1
Fm2	CL2	0,1
Fm2	CL3	0,1

Tabla LVI. Máxima cantidad a diferir (en %) de cada grupo de productos finales en cada uno de los centros logísticos a cada grupo de puntos de venta .

Familias	CentrosLogisticos	$costdif_{gpf,d}^2_{,gpv}$
Fm1	CL1	100
Fm2	CL1	100
Fm3	CL1	100
Fm4	CL1	100
Fm1	CL2	100
Fm2	CL2	100
Fm3	CL2	100
Fm4	CL2	100
Fm1	CL3	100
Fm2	CL3	100

Familias	CentrosLogisticos	$costdif_{gpf,d^2, gpv}$
Fm3	CL3	100
Fm4	CL3	100

Tabla LVII. Coste de diferir cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.

Familias	CentrosLogisticos	$ing_{gpf,d^2, gpv}$
Fm1	CL1	6,7782
Fm1	CL2	6,7782
Fm1	CL3	6,7782
Fm2	CL1	5,0988
Fm2	CL2	5,0988
Fm2	CL3	5,0988
Fm3	CL1	7,7574
Fm3	CL2	7,7574
Fm3	CL3	7,7574
Fm4	CL1	3,948
Fm4	CL2	3,948
Fm4	CL3	3,948

Tabla LVIII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada grupo de productos finales en cada centro logístico a cada grupo de puntos de venta.

CD^{Be}

$CDT=1; CDT=2; CDT=3:$

MateriasPrimas	ProvMP	cdtv	$ant_{cve_{mp,p,cdtv}}$
----------------	--------	------	-------------------------

MateriasPrimas	ProvMP	cdtv	<i>ant_cve_{mp,p,cdtv}</i>
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDT1	33000000
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDT1	50000000
PastaRoja	ProvPastaRoja	CDT2	29000000
Esmalte1	ProvEsmalte	CDT3	160000
Esmalte2	ProvEsmalte	CDT3	200000
Esmalte3	ProvEsmalte	CDT3	120000

Tabla LIX. Capacidad de ventas (anual) de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor”.

MateriasPrimas	ProvMp	cdtv	<i>ant_lminve_{mp,p,cdtv}</i>
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDT1	2600000
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDT1	3800000
PastaRoja	ProvPastaRoja	CDT2	2400000
Esmalte1	ProvEsmalte	CDT3	10000
Esmalte2	ProvEsmalte	CDT3	13000
Esmalte3	ProvEsmalte	CDT3	8000

Tabla LX. Lote mínimo de ventas de cada materia prima en cada proveedor de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período

CDT=5:

Familias	ProvPF	cdtv	<i>ant_cve_{gpf,d,cdtv}</i>
Fm3	ProvCW	CDT5	800000

Familias	ProvPF	cdtv	$ant_cve_{gpf,d}^1,cdtv$
Fm4	ProvCW	CDT5	1000000

Tabla LXI. Capacidad de ventas (anual) de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor”

Familias	ProvPF	cdtv	$ant_lminve_{gpf,d}^1,cdtv$
Fm3	ProvCW	CDT5	20000
Fm4	ProvCW	CDT5	30000

Tabla LXII. Lote mínimo de ventas de cada grupo de productos finales en cada almacén por parte de cada centro de decisión táctico “vendedor” en cada período

A.4.2 Modelo PLEM asociado a CDO6

A.4.2.1 Parámetros Locales

Ítems en general

Peso de cada producto final: $v_{pf} = (16.2, 16.2, 18.8, 18, 17.5)$;

Ligados a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

ProductosFinales	Almacenes	CentrosLogisticos	$costtr_{pf,d}^1,2$
PF1	Al1	CL1	0,37125
PF1	Al1	CL2	0,3375
PF1	Al2	CL2	0,405
PF1	Al2	CL3	0,29025
PF2	Al1	CL1	0,37125
PF2	Al1	CL2	0,3375

ProductosFinales	Almacenes	CentrosLogisticos	$\text{costtr}_{\text{pf},d}^1,2$
PF2	A12	CL2	0,405
PF2	A12	CL3	0,29025
PF3	A11	CL1	0,43083333
PF3	A11	CL2	0,39166667
PF3	A12	CL2	0,47
PF3	A12	CL3	0,33683333
PF4	A11	CL1	0,4125
PF4	A11	CL2	0,375
PF4	A12	CL2	0,45
PF4	A12	CL3	0,3225
PF5	A11	CL1	0,40104167
PF5	A11	CL2	0,36458333
PF5	A12	CL2	0,4375
PF5	A12	CL3	0,31354167

Tabla LXIII. Coste de transportar un m2 de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico.

Coste fijo de transporte: $\text{costftr}_{d,d}^1,2 = 500$;

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Capacidad (m2) de almacenamiento de cada centro logístico: $\text{cin}_d^2 = (2880,2200,1850)$;

ProductosFinales	CentrosLogisticos	$\text{costin}_{\text{pf},d}^2$
PF1	CL1	0,1

ProductosFinales	CentrosLogisticos	$costin_{pf,d}^2$
PF1	CL2	0,1
PF1	CL3	0,1
PF2	CL1	0,1
PF2	CL2	0,1
PF2	CL3	0,1
PF3	CL1	0,08
PF3	CL2	0,08
PF3	CL3	0,08
PF4	CL1	0,11
PF4	CL2	0,11
PF4	CL3	0,11
PF5	CL1	0,07
PF5	CL2	0,07
PF5	CL3	0,07

Tabla LXIV. Coste de almacenar cada producto final en cada centro logístico.

ProductosFinales	CentrosLogisticos	$SS_{pf,d}^2$
PF1	CL1	40
PF1	CL2	40
PF1	CL3	40
PF2	CL1	40
PF2	CL2	40
PF2	CL3	40

ProductosFinales	CentrosLogisticos	$SS_{pf, d}^2$
PF3	CL1	23
PF3	CL2	23
PF3	CL3	23
PF4	CL1	7
PF4	CL2	7
PF4	CL3	7
PF5	CL1	7
PF5	CL2	7
PF5	CL3	7

Tabla LXV. Stock de seguridad de cada producto final en cada centro logístico.

ProductosFinales	CentrosLogisticos	incl0
PF1	CL1	40
PF1	CL2	40
PF1	CL3	40
PF2	CL1	40
PF2	CL2	40
PF2	CL3	40
PF3	CL1	23
PF3	CL2	23
PF3	CL3	23
PF4	CL1	7
PF4	CL2	7

ProductosFinales	CentrosLogisticos	incl0
PF4	CL3	7
PF5	CL1	7
PF5	CL2	7
PF5	CL3	7

Tabla LXVI. Inventario inicial de cada producto final en cada centro logístico.

Transporte

ProductosFinales	CentrosLogisticos	TiendasKeraben	$\text{costtr}_{\text{pf,d},\text{pv}}^2$
PF1	CL1	TK1	0,081
PF1	CL1	TK2	0,09
PF1	CL2	TK3	0,072
PF1	CL2	TK4	0,081
PF1	CL3	TK5	0,068
PF1	CL3	TK6	0,09
PF2	CL1	TK1	0,081
PF2	CL1	TK2	0,09
PF2	CL2	TK3	0,072
PF2	CL2	TK4	0,081
PF2	CL3	TK5	0,068
PF2	CL3	TK6	0,09
PF3	CL1	TK1	0,081
PF3	CL1	TK2	0,09
PF3	CL2	TK3	0,072
PF3	CL2	TK4	0,081

ProductosFinales	CentrosLogisticos	TiendasKeraben	costtr _{pf,d²,pv}
PF3	CL3	TK5	0,068
PF3	CL3	TK6	0,09
PF4	CL1	TK1	0,081
PF4	CL1	TK2	0,09
PF4	CL2	TK3	0,072
PF4	CL2	TK4	0,081
PF4	CL3	TK5	0,068
PF4	CL3	TK6	0,09
PF5	CL1	TK1	0,081
PF5	CL1	TK2	0,09
PF5	CL2	TK3	0,072
PF5	CL2	TK4	0,081
PF5	CL3	TK5	0,068
PF5	CL3	TK6	0,09

Tabla LXVII. Coste de transportar un m2 de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta.

Ligados a las AIs

Compras

CDOV:

Coste de compra de cada producto final en cada almacén respecto a cada centro de decisión perteneciente al entorno decisional “vendedor”: $costco_{pf,d^1,clov} = (5,5,4,5,9,3,1)$;

Ventas

PV:

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF1	TK1	t1	67
PF1	TK1	t2	63
PF1	TK1	t3	121
PF1	TK1	t4	30
PF1	TK2	t1	80
PF1	TK2	t2	75
PF1	TK2	t3	70
PF1	TK2	t4	65
PF1	TK3	t1	111
PF1	TK3	t2	99
PF1	TK3	t3	82
PF1	TK3	t4	35
PF1	TK4	t1	100
PF1	TK4	t2	52
PF1	TK4	t3	75
PF1	TK4	t4	95
PF1	TK5	t1	85
PF1	TK5	t2	99
PF1	TK5	t3	83
PF1	TK5	t4	105
PF1	TK6	t1	120
PF1	TK6	t2	77

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF1	TK6	t3	48
PF1	TK6	t4	19
PF2	TK1	t1	90
PF2	TK1	t2	100
PF2	TK1	t3	78
PF2	TK1	t4	103
PF2	TK2	t1	60
PF2	TK2	t2	75
PF2	TK2	t3	142
PF2	TK2	t4	128
PF2	TK3	t1	121
PF2	TK3	t2	90
PF2	TK3	t3	115
PF2	TK3	t4	90
PF2	TK4	t1	95
PF2	TK4	t2	95
PF2	TK4	t3	103
PF2	TK4	t4	100
PF2	TK5	t1	60
PF2	TK5	t2	80
PF2	TK5	t3	53
PF2	TK5	t4	65
PF2	TK6	t1	93

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF5	TK1	t1	12
PF5	TK1	t2	14
PF5	TK1	t3	20
PF5	TK1	t4	21
PF5	TK2	t1	8
PF5	TK2	t2	9
PF5	TK2	t3	7
PF5	TK2	t4	13
PF5	TK3	t1	15
PF5	TK3	t2	23
PF5	TK3	t3	7
PF5	TK3	t4	31
PF5	TK4	t1	13
PF5	TK4	t2	23
PF5	TK4	t3	15
PF5	TK4	t4	15
PF5	TK5	t1	18
PF5	TK5	t2	10
PF5	TK5	t3	17
PF5	TK5	t4	28
PF5	TK6	t1	10
PF5	TK6	t2	17
PF5	TK6	t3	19

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF5	TK6	t4	17
PF2	TK6	t2	42
PF2	TK6	t3	90
PF2	TK6	t4	61
PF3	TK1	t1	38
PF3	TK1	t2	16
PF3	TK1	t3	73
PF3	TK1	t4	78
PF3	TK2	t1	11
PF3	TK2	t2	39
PF3	TK2	t3	30
PF3	TK2	t4	28
PF3	TK3	t1	35
PF3	TK3	t2	25
PF3	TK3	t3	44
PF3	TK3	t4	33
PF3	TK4	t1	46
PF3	TK4	t2	49
PF3	TK4	t3	50
PF3	TK4	t4	34
PF3	TK5	t1	20
PF3	TK5	t2	32
PF3	TK5	t3	35

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF3	TK5	t4	53
PF3	TK6	t1	23
PF3	TK6	t2	25
PF3	TK6	t3	57
PF3	TK6	t4	39
PF4	TK1	t1	13
PF4	TK1	t2	15
PF4	TK1	t3	12
PF4	TK1	t4	14
PF4	TK2	t1	20
PF4	TK2	t2	10
PF4	TK2	t3	10
PF4	TK2	t4	12
PF4	TK3	t1	14
PF4	TK3	t2	12
PF4	TK3	t3	8
PF4	TK3	t4	8
PF4	TK4	t1	17
PF4	TK4	t2	17
PF4	TK4	t3	9
PF4	TK4	t4	10
PF4	TK5	t1	20
PF4	TK5	t2	30

ProductosFinales	TiendasKeraben	Periodos	$dem_{pf,pv,t}$
PF4	TK5	t3	12
PF4	TK5	t4	22
PF4	TK6	t1	12
PF4	TK6	t2	31
PF4	TK6	t3	20
PF4	TK6	t4	20

Tabla LXVIII. Demanda de cada producto final en cada punto de venta en cada periodo'.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada punto de venta : $maxdif_{pf,pv} = 0.10$;

Coste de diferir cada producto final en cada punto de venta: $costdif_{pf,pv} = 25$;

ProductosFinales	TiendasKeraben	$ing_{pf,pv}$
PF1	TK1	7,17
PF1	TK2	7,17
PF1	TK3	7,17
PF1	TK4	7,17
PF1	TK5	7,17
PF1	TK6	7,17
PF2	TK1	7,17
PF2	TK2	7,17
PF2	TK3	7,17
PF2	TK4	7,17
PF2	TK5	7,17
PF2	TK6	7,17

ProductosFinales	TiendasKeraben	$ing_{pf,pv}$
PF3	TK1	5,47
PF3	TK2	5,47
PF3	TK3	5,47
PF3	TK4	5,47
PF3	TK5	5,47
PF3	TK6	5,47
PF4	TK1	8,19
PF4	TK2	8,19
PF4	TK3	8,19
PF4	TK4	8,19
PF4	TK5	8,19
PF4	TK6	8,19
PF5	TK1	4,3
PF5	TK2	4,3
PF5	TK3	4,3
PF5	TK4	4,3
PF5	TK5	4,3
PF5	TK6	4,3

Tabla LXIX. Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada punto de venta.

A.4.2.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Ti}

CDT=4:

Almacenes	CentrosLogisticos	Periodos	$o_{ctr}^{1,2}_{d,d,t}$
AI1	CL1	1	320000
AI1	CL1	2	400000
AI1	CL1	3	320000
AI1	CL1	4	400000
AI1	CL1	5	480000
AI1	CL1	6	400000
AI1	CL1	7	400000
AI1	CL1	8	240000
AI1	CL1	9	320000
AI1	CL1	10	480000
AI1	CL1	11	400000
AI1	CL1	12	320000
AI1	CL2	1	400000
AI1	CL2	2	480000
AI1	CL2	3	400000
AI1	CL2	4	480000
AI1	CL2	5	560000
AI1	CL2	6	480000
AI1	CL2	7	400000
AI1	CL2	8	320000
AI1	CL2	9	320000
AI1	CL2	10	480000

Almacenes	CentrosLogisticos	Periodos	$^{\circ}ctr_{d, d, t}^{1, 2}$
AI1	CL2	11	560000
AI1	CL2	12	320000
AI2	CL2	1	0
AI2	CL2	2	0
AI2	CL2	3	0
AI2	CL2	4	0
AI2	CL2	5	0
AI2	CL2	6	0
AI2	CL2	7	0
AI2	CL2	8	0
AI2	CL2	9	0
AI2	CL2	10	0
AI2	CL2	11	0
AI2	CL2	12	0
AI2	CL3	1	320000
AI2	CL3	2	560000
AI2	CL3	3	480000
AI2	CL3	4	240000
AI2	CL3	5	480000
AI2	CL3	6	480000
AI2	CL3	7	400000
AI2	CL3	8	240000
AI2	CL3	9	320000

Almacenes	CentrosLogisticos	Periodos	${}^{\circ}ctr_{d^1, d^2, t}$
AI2	CL3	10	480000
AI2	CL3	11	480000
AI2	CL3	12	320000

Tabla LXX. Capacidad de transporte “objetivo” entre cada almacén y cada centro logístico en cada período.

Máxima desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada período: ${}^{\circ}maxctr^+_{d^1, d^2, t} = 0.2$;

Coste por desviación positiva sobre la capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales los centros logísticos al final de cada período: ${}^{\circ}costctr^+_{d^1, d^2, t} = 0.01$;

CD^{Be}

$CDO=4$;

ProductosFinales	Almacenes	$ant_lminve_{pf, d^1, cdo4}$
PF1	AI1	180
PF2	AI1	190
PF3	AI1	80
PF4	AI1	50
PF5	AI1	50
PF1	AI2	180
PF2	AI2	190
PF3	AI2	80
PF4	AI2	50
PF5	AI2	50

Tabla LXXI. Lote mínimo de ventas de cada producto final en cada almacén del CDO4

A.4.3 Modelo PLEM asociado a CDO4

A.4.3.1 Parámetros Locales

Ítems en general

ProductosFinales	$rendm_{pf}$
PF1	0,9
PF2	0,9
PF3	0,9
PF4	0,9
PF5	0,9

Tabla LXXII. Coeficiente de mermas de cada producto final.

ProductosFinales	$rendb_{pf}$
PF1	0,98
PF2	0,98
PF3	0,98
PF4	0,98
PF5	0,98

Tabla LXXIII. Coeficiente de 1ª calidad de cada producto final.

ProductosFinales	MateriasPrimas	$lismat_{mp,pf}$
PF1	PastaBlanca1	16,16
PF1	Esmalte1	0,0695
PF2	PastaBlanca1	16,16

ProductosFinales	MateriasPrimas	$lismat_{mp,pf}$
PF2	Esmalte1	0,0695
PF3	PastaBlanca2	18,72
PF3	Esmalte2	0,0802
PF4	PastaRoja	18
PF4	Esmalte3	0,0615

Tabla LXXIV. Cantidad de unidades de cada materia prima necesaria para fabricar una unidad de cada productos final.

Ligados a las ATs

Etapas Proveedores

Transporte

MateriasPrimas	ProvMp	PlantasProductivas	$costtr_{mp,pf}$
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI1	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI1	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI1	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI1	0,001
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI2	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI2	0,001

MateriasPrimas	ProvMp	PlantasProductivas	costtr_{mp,pf}
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	0,001
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI3	0,001
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI3	0,001
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	0,001
Esmalte2	ProvEsmalte	PI3	0,001
Esmalte3	ProvEsmalte	PI3	0,001

Tabla LXXV. Coste de transporte de una unidad de materia prima desde cada proveedor a cada planta.

Etapa Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

MateriasPrimas	PlantasProductivas	costin_{mp,f}
PastaBlanca1	PI1	0,02845
PastaBlanca2	PI1	0,03298
PastaRoja	PI1	0,01215
Esmalte1	PI1	0,00783
Esmalte2	PI1	0,01363
Esmalte3	PI1	0,0089
PastaBlanca1	PI2	0,02845
PastaBlanca2	PI2	0,03298
PastaRoja	PI2	0,01215
Esmalte1	PI2	0,00783
Esmalte2	PI2	0,01363
Esmalte3	PI2	0,0089

MateriasPrimas	PlantasProductivas	$costin_{mp,f}$
PastaBlanca1	PI3	0,02845
PastaBlanca2	PI3	0,03298
PastaRoja	PI3	0,01215
Esmalte1	PI3	0,00783
Esmalte2	PI3	0,01363
Esmalte3	PI3	0,0089

Tabla LXXVI. Coste de almacenar cada materia prima en cada planta.

MateriasPrimas	PlantasProductivas	$SS_{mp,f}$
PastaBlanca1	PI1	504
PastaBlanca1	PI2	504
PastaBlanca1	PI3	504
PastaBlanca2	PI1	104
PastaBlanca2	PI2	104
PastaBlanca2	PI3	104
PastaRoja	PI1	44
PastaRoja	PI2	44
PastaRoja	PI3	44
Esmalte1	PI1	40
Esmalte1	PI2	40
Esmalte1	PI3	40
Esmalte2	PI1	12
Esmalte2	PI2	12

MateriasPrimas	PlantasProductivas	<i>SS_{mp,f}</i>
Esmalte2	PI3	12
Esmalte3	PI1	4
Esmalte3	PI2	4
Esmalte3	PI3	4

Tabla LXXVII. Stock de Seguridad objetivo de cada materia prima en cada planta.

Producción_2

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	<i>tpr_{pf,l,f}</i>
PF1	LP1	PI1	0,004946
PF1	LP2	PI1	0,005023
PF1	LP4	PI2	0,006254
PF1	LP5	PI3	0,006401
PF1	LP7	PI3	0,004626
PF2	LP1	PI1	0,004946
PF2	LP2	PI1	0,005023
PF2	LP4	PI2	0,006254
PF2	LP5	PI3	0,006401
PF2	LP7	PI3	0,004626
PF3	LP1	PI1	0,004626
PF3	LP2	PI1	0,004329
PF3	LP3	PI2	0,004487
PF3	LP4	PI2	0,004847
PF3	LP5	PI3	0,004922
PF3	LP6	PI3	0,006272

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$tp_{pf,l,f}$
PF4	LP3	PI2	0,004533
PF4	LP4	PI2	0,004242
PF4	LP6	PI3	0,004397
PF3	LP7	PI3	0,004533
PF4	LP7	PI3	0,00475

Tabla LXXVIII. Tiempo unitario de producción de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta.

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$t_{pr}_{gp,l,f}$
PF1	LP1	PI1	1,99
PF1	LP2	PI1	1,06
PF1	LP4	PI2	1,84
PF1	LP5	PI3	1,07
PF1	LP7	PI3	1,27
PF2	LP1	PI1	1,99
PF2	LP2	PI1	1,06
PF2	LP4	PI2	1,84
PF2	LP5	PI3	1,07
PF2	LP7	PI3	1,27
PF3	LP1	PI1	1,98
PF3	LP2	PI1	1,75
PF3	LP3	PI2	1,16
PF3	LP4	PI2	1,11

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$tfpr_{gp,l,f}$
PF3	LP5	PI3	1,3
PF3	LP6	PI3	1,48
PF4	LP3	PI2	1,03
PF4	LP4	PI2	1,69
PF4	LP6	PI3	1,49
PF4	LP7	PI3	1,1
PF3	LP7	PI3	1,6

Tabla LXXIX. Tiempo de setup de cada producto final en cada la línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$tfpr_{gp,l,f}$
Fm1	LP1	PI1	8
Fm1	LP2	PI1	4
Fm1	LP4	PI2	8
Fm1	LP5	PI3	6
Fm1	LP7	PI3	6
Fm2	LP1	PI1	6
Fm2	LP2	PI1	5
Fm2	LP3	PI2	6
Fm2	LP4	PI2	7
Fm2	LP5	PI3	5
Fm2	LP6	PI3	6
Fm2	LP7	PI3	5

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$tfpr_{gp,l,f}$
Fm3	LP3	PI2	4
Fm3	LP4	PI2	5
Fm3	LP6	PI3	7
Fm3	LP7	PI3	6

Tabla LXXX. Tiempo de setup de cada grupo de productos finales en cada la línea de fabricación de cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costfpr_{gp,l,f}$
Fm1	LP1	PI1	5000
Fm1	LP2	PI1	3000
Fm1	LP4	PI2	4500
Fm1	LP5	PI3	4000
Fm1	LP7	PI3	4000
Fm2	LP1	PI1	4000
Fm2	LP2	PI1	3500
Fm2	LP3	PI2	4000
Fm2	LP4	PI2	4500
Fm2	LP5	PI3	3500
Fm2	LP6	PI3	4000
Fm2	LP7	PI3	3500
Fm3	LP3	PI2	3000
Fm3	LP4	PI3	3500
Fm3	LP6	PI3	4500

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costfpr_{gp,l,f}$
Fm3	LP7	PI3	4000

Tabla LXXXI. Coste unitario de producción de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costfpr_{pf,l,f}$
PF1	LP1	PI1	449
PF1	LP2	PI1	310
PF1	LP4	PI2	480
PF1	LP5	PI3	310
PF1	LP7	PI3	340
PF2	LP1	PI1	449
PF2	LP2	PI1	310
PF2	LP4	PI2	480
PF2	LP5	PI3	310
PF2	LP7	PI3	340
PF3	LP1	PI1	447
PF3	LP2	PI1	413
PF3	LP3	PI2	324
PF3	LP4	PI2	317
PF3	LP5	PI3	344
PF3	LP6	PI3	371
PF3	LP7	PI3	390
PF4	LP3	PI2	305

ProductosFinales	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costfpr_{pf,l,f}$
PF4	LP4	PI2	404
PF4	LP6	PI3	373
PF4	LP7	PI3	316

Tabla LXXXII. Coste de setup de cada producto final en cada línea de fabricación en cada planta.

Familias	LineasFabricacion	PlantasProductivas	$costfpr_{gp,l,f}$
Fm1	LP1	PI1	5000
Fm1	LP2	PI1	3000
Fm1	LP4	PI2	4500
Fm1	LP5	PI3	4000
Fm1	LP7	PI3	4000
Fm2	LP1	PI1	4000
Fm2	LP2	PI1	3500
Fm2	LP3	PI2	4000
Fm2	LP4	PI2	4500
Fm2	LP5	PI3	3500
Fm2	LP6	PI3	4000
Fm2	LP7	PI3	3500
Fm3	LP3	PI2	3000
Fm3	LP4	PI3	3500
Fm3	LP6	PI3	4500
Fm3	LP7	PI3	4000

Tabla LXXXIII. Coste de setup de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación en cada planta.

Lote mínimo de fabricación de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta:

$$lminpr_{pf,l,f} = (1000,500,1000,700,0)$$

Transporte

ProductosFinales	PlantasProductivas	Almacenes	$costr_{pf,d}^1$
PF1	PI1	AI1	0,054
PF1	PI2	AI1	0,05
PF1	PI3	AI1	0,088
PF1	PI1	AI2	0,05
PF1	PI2	AI2	0,054
PF1	PI3	AI2	0,08
PF2	PI1	AI1	0,054
PF2	PI2	AI1	0,05
PF2	PI3	AI1	0,088
PF2	PI1	AI2	0,05
PF2	PI2	AI2	0,054
PF2	PI3	AI2	0,08
PF3	PI1	AI1	0,054
PF3	PI2	AI1	0,05
PF3	PI3	AI1	0,088
PF3	PI1	AI2	0,05
PF3	PI2	AI2	0,054
PF3	PI3	AI2	0,08
PF4	PI1	AI1	0,054
PF4	PI2	AI1	0,05

ProductosFinales	PlantasProductivas	Almacenes	$costtr_{pf,d}^1$
PF4	PI3	AI1	0,088
PF4	PI1	AI2	0,05
PF4	PI2	AI2	0,054
PF4	PI3	AI2	0,08

Tabla LXXXIV. Coste de transporte desde cada planta a cada almacén.

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Capacidad máxima de almacenamiento de cada almacén: $cin_d^1 = 200000$

ProductosFinales	Almacenes	$costin_{pf,d}^1$
PF1	AI1	0,09
PF1	AI2	0,09
PF2	AI1	0,09
PF2	AI2	0,09
PF3	AI1	0,07
PF3	AI2	0,07
PF4	AI1	0,1
PF4	AI2	0,1
PF5	AI1	0,06
PF5	AI2	0,06

Tabla LXXXV. Coste de almacenar cada producto final en cada almacén.

ProductosFinales	Almacenes	$SS_{pf,d}^1$
PF1	AI1	60
PF1	AI2	60
PF2	AI1	60
PF2	AI2	60
PF3	AI1	35
PF3	AI2	35
PF4	AI1	13
PF4	AI2	13
PF5	AI1	16
PF5	AI2	16

Tabla LXXXVI. Stock de seguridad de cada producto final en cada almacén.

ProductosFinales	Almacenes	$in0_{pf,d}^1$
PF1	AI1	6000
PF1	AI2	6000
PF2	AI1	6000
PF2	AI2	6000
PF3	AI1	3500
PF3	AI2	3500
PF4	AI1	1300
PF4	AI2	1300
PF5	AI1	800
PF5	AI2	800

Tabla LXXXVII. Inventario inicial de cada producto final en cada almacén.

Ligados a las AIs

Compras

CDOV:

MateriasPrimas	ProvMp	cdtv	<i>COSTCO_{mp,p,cdtv}</i>
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDT1	0,0604
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDT1	0,0442
PastaRoja	ProvPastaRoja	CDT2	0,017
Esmalte1	ProvEsmalte	CDT3	2,701
Esmalte2	ProvEsmalte	CDT3	2,458
Esmalte3	ProvEsmalte	CDT3	1,534

Tabla LXXXVIII. Coste de compra de cada materia prima en cada proveedor de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

ProductosFinales	ProvPF	cdtv	<i>COSTCO_{gpf,s,cdtv}</i>
PF4	ProvCW	CDT5	3,41
PF5	ProvCW	CDT5	2,19

Tabla LXXXIX. Coste de compra/subcontratar cada producto final a cada subcontratista de los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “vendedores”.

Ventas

CDOC:

Ingreso obtenido (por m²) por la venta de cada producto final en cada almacén a los centros de decisión pertenecientes al entorno decisional “compradores”.

$$ing_{pf,d}^1_{,cdo6} = (5,5,4,5,9,3.1);$$

$$ing_{pf,d}^1_{,cdo7} = (5.0485,5.0485,4.049,5.9645,3.13);$$

PV:

ProductosFinales	Almacenes	Periodos	$dem_{pf,d}^l_{pv,t}$
PF1	Al1	t1	544
PF1	Al1	t2	680
PF1	Al1	t3	816
PF1	Al1	t4	680
PF1	Al2	t1	1011
PF1	Al2	t2	1264
PF1	Al2	t3	1416
PF1	Al2	t4	1164
PF2	Al1	t1	1324
PF2	Al1	t2	1906
PF2	Al1	t3	2087
PF2	Al1	t4	1806
PF2	Al2	t1	1763
PF2	Al2	t2	2229
PF2	Al2	t3	2695
PF2	Al2	t4	2229
PF3	Al1	t1	443
PF3	Al1	t2	434
PF3	Al1	t3	564
PF3	Al1	t4	524
PF3	Al2	t1	823
PF3	Al2	t2	1148

ProductosFinales	Almacenes	Periodos	$dem_{pf,d}^j$
PF3	Al2	t3	1334
PF3	Al2	t4	1058
PF4	Al1	t1	129
PF4	Al1	t2	166
PF4	Al1	t3	243
PF4	Al1	t4	186
PF4	Al2	t1	287
PF4	Al2	t2	354
PF4	Al2	t3	380
PF4	Al2	t4	434
PF5	Al1	t1	129
PF5	Al1	t2	116
PF5	Al1	t3	243
PF5	Al1	t4	186
PF5	Al2	t1	287
PF5	Al2	t2	334
PF5	Al2	t3	380
PF5	Al2	t4	404

Tabla XC. Demanda de cada producto final en cada almacén por cada punto de venta en cada periodo'.

Máxima cantidad a diferir (en %) de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta:

$$maxdif_{pf,d}^j = 0.10 ;$$

ProductosFinales	Almacenes	$costdif_{pf,d}^1_{.pv}$
PF1	AI1	25
PF1	AI2	25
PF2	AI1	25
PF2	AI2	25
PF3	AI1	25
PF3	AI2	25
PF4	AI1	25
PF4	AI2	25
PF5	AI1	25
PF5	AI2	25

Tabla XCI. Coste de diferir cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

ProductosFinales	Almacenes	$ing_{pf,d}^1_{.pv}$
PF1	AI1	5,6485
PF1	AI2	5,6485
PF2	AI1	5,6485
PF2	AI2	5,6485
PF3	AI1	4,249
PF3	AI2	4,249
PF4	AI1	6,4645
PF4	AI2	6,4645
PF5	AI1	3,29

ProductosFinales	Almacenes	$ing_{p.f.d}^1_{.pv}$
PF5	A12	3,29

Tabla XCII. Ingreso obtenido (por m2) por la venta de cada producto final en cada almacén a cada punto de venta.

A.4.3.2 Parámetros por Interdependencia

CD^{Ti}

$CDT=4$:

LíneasFabricacion	PlantasProductivas	Periodos	$^{\circ}c_{l.f,t}$
LP1	PI1	1	360
LP1	PI1	2	360
LP1	PI1	3	360
LP1	PI1	4	360
LP1	PI1	5	360
LP1	PI1	6	360
LP1	PI1	7	360
LP1	PI1	8	360
LP1	PI1	9	360
LP1	PI1	10	360
LP1	PI1	11	360
LP1	PI1	12	360
LP2	PI1	1	360
LP2	PI1	2	360
LP2	PI1	3	360
LP2	PI1	4	360

LineasFabricacion	PlantasProductivas	Periodos	$^{\circ}c_{l,j,t}$
LP2	PI1	5	360
LP2	PI1	6	360
LP2	PI1	7	360
LP2	PI1	8	360
LP2	PI1	9	360
LP2	PI1	10	360
LP2	PI1	11	360
LP2	PI1	12	360
LP3	PI2	1	320
LP3	PI2	2	320
LP3	PI2	3	320
LP3	PI2	4	160
LP3	PI2	5	160
LP3	PI2	6	160
LP3	PI2	7	320
LP3	PI2	8	320
LP3	PI2	9	320
LP3	PI2	10	320
LP3	PI2	11	320
LP3	PI2	12	320
LP4	PI2	1	160
LP4	PI2	2	160
LP4	PI2	3	160

LineasFabricacion	PlantasProductivas	Periodos	$^{\circ}c_{l,j,t}$
LP4	PI2	4	320
LP4	PI2	5	320
LP4	PI2	6	320
LP4	PI2	7	320
LP4	PI2	8	320
LP4	PI2	9	320
LP4	PI2	10	320
LP4	PI2	11	320
LP4	PI2	12	320
LP5	PI3	1	320
LP5	PI3	2	320
LP5	PI3	3	320
LP5	PI3	4	320
LP5	PI3	5	320
LP5	PI3	6	320
LP5	PI3	7	320
LP5	PI3	8	320
LP5	PI3	9	320
LP5	PI3	10	320
LP5	PI3	11	320
LP5	PI3	12	320
LP6	PI3	1	480
LP6	PI3	2	480

LineasFabricacion	PlantasProductivas	Periodos	$^{\circ}c_{l,j,t}$
LP6	PI3	3	480
LP6	PI3	4	480
LP6	PI3	5	480
LP6	PI3	6	480
LP6	PI3	7	320
LP6	PI3	8	320
LP6	PI3	9	320
LP6	PI3	10	320
LP6	PI3	11	320
LP6	PI3	12	320
LP7	PI3	1	480
LP7	PI3	2	480
LP7	PI3	3	480
LP7	PI3	4	480
LP7	PI3	5	480
LP7	PI3	6	480
LP7	PI3	7	480
LP7	PI3	8	480
LP7	PI3	9	480
LP7	PI3	10	480
LP7	PI3	11	480
LP7	PI3	12	480

Tabla XCIII. Capacidad normal “objetivo” las líneas fabricación de cada planta en cada periodo

Familias	Almacenes	Periodos	${}^o in_{gpf,d,t}^l$
Fm1	Al1	1	53301,69
Fm1	Al1	2	97907,51
Fm1	Al1	3	118095,50
Fm1	Al1	4	81200,50
Fm1	Al1	5	108529,19
Fm1	Al1	6	15489,19
Fm1	Al1	7	14010,54
Fm1	Al1	8	1422,32
Fm1	Al1	9	71244
Fm1	Al1	10	12258,83
Fm1	Al1	11	227,34
Fm1	Al1	12	13005,51
Fm2	Al1	1	47674,01
Fm2	Al1	2	18925,25
Fm2	Al1	3	49492,98
Fm2	Al1	4	47735,60
Fm2	Al1	6	952,75
Fm2	Al1	7	15278,75
Fm2	Al1	8	44165,03
Fm2	Al1	9	26709,65
Fm2	Al1	10	47066,75
Fm2	Al1	11	28545,37
Fm3	Al1	1	47477,98

Familias	Almacenes	Periodos	${}^o in_{gpf,d,t}$
Fm3	Al1	2	21875,98
Fm3	Al1	3	1433,98
Fm3	Al1	8	17059,07
Fm3	Al1	9	29341
Fm3	Al1	11	18481,38
Fm3	Al1	12	4660,36
Fm4	Al1	1	7843
Fm1	Al2	1	59374,86
Fm1	Al2	2	70059,64
Fm1	Al2	3	78370,39
Fm1	Al2	4	14686,15
Fm1	Al2	5	62759,10
Fm1	Al2	6	52079,49
Fm1	Al2	7	22394,27
Fm1	Al2	8	6614,44
Fm1	Al2	9	84275,04
Fm1	Al2	10	2816,04
Fm1	Al2	11	1907,56
Fm1	Al2	12	444,25
Fm2	Al2	1	77507,54
Fm2	Al2	2	31398,65
Fm2	Al2	3	41851,21
Fm2	Al2	4	99518,84

Familias	Almacenes	Periodos	${}^o in_{gpf,d}^I, t$
Fm2	Al2	5	19176,33
Fm2	Al2	6	26122,54
Fm2	Al2	7	20913,24
Fm2	Al2	8	52135,59
Fm2	Al2	10	46574,56
Fm2	Al2	11	17156,83
Fm2	Al2	12	1063,24
Fm3	Al2	2	68379,92
Fm3	Al2	3	65389,21
Fm3	Al2	4	45134,17
Fm3	Al2	5	23913,99
Fm3	Al2	6	18700,86
Fm3	Al2	7	90,97
Fm3	Al2	9	5540,17
Fm3	Al2	10	22829,28

Tabla XCIV. Cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén en cada período.

Máxima desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período: ${}^o maxin^-_{gpf,d}^I, t = 0.01$;

Máxima desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período: ${}^o maxin^+_{gpf,d}^I, t = 0.01$;

Coste por desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período: ${}^o costin^-_{gpf,d}^I, t = 0.1$;

Coste por desviación positiva sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada período: ${}^o costin^+_{gpf,d}^I, t = 0.1$;

CD^{Te}

CDO=6:

ProductosFinales	Almacenes	Periodos	${}^{\circ}CO_{pf,d}^1 cdo6,t'$
PF1	Al1	t1	358
PF1	Al1	t2	289
PF1	Al1	t3	348
PF1	Al1	t4	0
PF1	Al2	t1	200,18
PF1	Al2	t2	200,18
PF1	Al2	t3	254,19
PF1	Al2	t4	0
PF2	Al1	t1	366
PF2	Al1	t2	360
PF2	Al1	t3	628
PF2	Al1	t4	231
PF2	Al2	t1	190
PF2	Al2	t2	190
PF2	Al2	t3	190
PF2	Al2	t4	0
PF3	Al1	t1	130
PF3	Al1	t2	393
PF3	Al1	t3	0
PF3	Al1	t4	106
PF3	Al2	t1	80

ProductosFinales	Almacenes	Periodos	$^{o}CO_{pf,d}^{1} cdo6,,t'$
PF3	A12	t2	80
PF3	A12	t3	80
PF3	A12	t4	80
PF4	A11	t1	64
PF4	A11	t2	54
PF4	A11	t3	83
PF4	A11	t4	0
PF4	A12	t1	50
PF4	A12	t2	66,71
PF4	A12	t3	50
PF4	A12	t4	0
PF5	A11	t1	152,86
PF5	A11	t2	93,13
PF5	A11	t3	0
PF5	A11	t4	0
PF5	A12	t1	50
PF5	A12	t2	50
PF5	A12	t3	0
PF5	A12	t4	50

Tabla XCV. Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 6 en cada periodo'.

CDO=7:

ProductosFinales	Almacenes	Periodos	${}^{\circ}CO_{pf,d}^1_{cdo7,t}$
PF1	A12	t1	0
PF1	A12	t2	335
PF1	A12	t3	0
PF1	A12	t4	335
PF2	A12	t1	0
PF2	A12	t2	335
PF2	A12	t3	0
PF2	A12	t4	335
PF3	A12	t1	0
PF3	A12	t2	280
PF3	A12	t3	0
PF3	A12	t4	280
PF4	A12	t1	0
PF4	A12	t2	92
PF4	A12	t3	0
PF4	A12	t4	92
PF5	A12	t1	0
PF5	A12	t2	78
PF5	A12	t3	0
PF5	A12	t4	78

Tabla XCVI. Cantidad requerida de compras de cada producto final en cada almacén por el centro de decisión operativo 7 en cada periodo'.

CD^{Be}

$CDO=1$: $CDO=2$: $CDO=3$:

MateriasPrimas	ProvMP	<i>ant_cve_{mp,p}</i>
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	600000
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	275000
PastaRoja	ProvPastaRoja	70000
Esmalte1	ProvEsmalte	2500
Esmalte2	ProvEsmalte	1500
Esmalte3	ProvEsmalte	400

Tabla XCVII. Capacidad máxima de ventas de cada materia prima por parte de cada proveedor perteneciente a dichos centros de decisión operativos.

$CDO=5$:

ProductosFinales	ProvPF	<i>ant_cve_{pf,s}</i>
PF4	ProvCW	2000
PF5	ProvCW	1600

Tabla XCVIII. Capacidad máxima de ventas (mensual) de cada producto final por parte de cada subcontratista del centro de decisión operativo 5.

A.5 Evaluación de Resultados de los Modelos: Variables de Decisión

A.5.1 Modelo PLEM asociado a CDT4

En este apartado, tal y como se argumentó en el capítulo 8, sólo tiene sentido mostrar las Variables de Decisión Locales y por Interdependencia con CDs superiores (que en este caso particular no existen):

Variables Locales

Ligadas a las ATs

Etapa Proveedores

Transporte

Etapas Fabricación-Montaje*Almacenamiento_3*

Producción_2

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{i,f,t}$
LP1	PI1	1	360
LP1	PI1	2	360
LP1	PI1	3	360
LP1	PI1	4	360
LP1	PI1	5	360
LP1	PI1	6	360
LP1	PI1	7	360
LP1	PI1	8	360
LP1	PI1	9	360
LP1	PI1	10	360
LP1	PI1	11	360
LP1	PI1	12	360
LP2	PI1	1	360
LP2	PI1	2	360
LP2	PI1	3	360
LP2	PI1	4	360
LP2	PI1	5	360
LP2	PI1	6	360
LP2	PI1	7	360
LP2	PI1	8	360

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{l,f,t}$
LP2	PI1	9	360
LP2	PI1	10	360
LP2	PI1	11	360
LP2	PI1	12	360
LP3	PI2	1	320
LP3	PI2	2	320
LP3	PI2	3	320
LP3	PI2	4	160
LP3	PI2	5	160
LP3	PI2	6	160
LP3	PI2	7	320
LP3	PI2	8	320
LP3	PI2	9	320
LP3	PI2	10	320
LP3	PI2	11	320
LP3	PI2	12	320
LP4	PI2	1	160
LP4	PI2	2	160
LP4	PI2	3	160
LP4	PI2	4	320
LP4	PI2	5	320
LP4	PI2	6	320
LP4	PI2	7	320

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{l,f,t}$
LP4	PI2	8	320
LP4	PI2	9	320
LP4	PI2	10	320
LP4	PI2	11	320
LP4	PI2	12	320
LP5	PI3	1	320
LP5	PI3	2	320
LP5	PI3	3	320
LP5	PI3	4	320
LP5	PI3	5	320
LP5	PI3	6	320
LP5	PI3	7	320
LP5	PI3	8	320
LP5	PI3	9	320
LP5	PI3	10	320
LP5	PI3	11	320
LP5	PI3	12	320
LP6	PI3	1	480
LP6	PI3	2	480
LP6	PI3	3	480
LP6	PI3	4	480
LP6	PI3	5	480
LP6	PI3	6	480

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{l,f,t}$
LP6	PI3	7	320
LP6	PI3	8	320
LP6	PI3	9	320
LP6	PI3	10	320
LP6	PI3	11	320
LP6	PI3	12	320
LP7	PI3	1	480
LP7	PI3	2	480
LP7	PI3	3	480
LP7	PI3	4	480
LP7	PI3	5	480
LP7	PI3	6	480
LP7	PI3	7	480
LP7	PI3	8	480
LP7	PI3	9	480
LP7	PI3	10	480
LP7	PI3	11	480
LP7	PI3	12	480

Tabla XCIX. Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$NT_{l,f,t}$
LP1	PI1	1	2
LP1	PI1	2	2
LP1	PI1	3	2
LP1	PI1	4	2
LP1	PI1	5	2
LP1	PI1	6	2
LP1	PI1	7	2
LP1	PI1	8	2
LP1	PI1	9	2
LP1	PI1	10	2
LP1	PI1	11	2
LP1	PI1	12	2
LP2	PI1	1	2
LP2	PI1	2	2
LP2	PI1	3	2
LP2	PI1	4	2
LP2	PI1	5	2
LP2	PI1	6	2
LP2	PI1	7	2
LP2	PI1	8	2
LP2	PI1	9	2
LP2	PI1	10	2
LP2	PI1	11	2

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$NT_{l,f,t}$
LP2	PI1	12	2
LP3	PI2	1	2
LP3	PI2	2	2
LP3	PI2	3	2
LP3	PI2	4	1
LP3	PI2	5	1
LP3	PI2	6	1
LP3	PI2	7	2
LP3	PI2	8	2
LP3	PI2	9	2
LP3	PI2	10	2
LP3	PI2	11	2
LP3	PI2	12	2
LP4	PI2	1	1
LP4	PI2	2	1
LP4	PI2	3	1
LP4	PI2	4	2
LP4	PI2	5	2
LP4	PI2	6	2
LP4	PI2	7	2
LP4	PI2	8	2
LP4	PI2	9	2
LP4	PI2	10	2

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$NT_{l,f,t}$
LP4	PI2	11	2
LP4	PI2	12	2
LP5	PI3	1	2
LP5	PI3	2	2
LP5	PI3	3	2
LP5	PI3	4	2
LP5	PI3	5	2
LP5	PI3	6	2
LP5	PI3	7	2
LP5	PI3	8	2
LP5	PI3	9	2
LP5	PI3	10	2
LP5	PI3	11	2
LP5	PI3	12	2
LP6	PI3	1	3
LP6	PI3	2	3
LP6	PI3	3	3
LP6	PI3	4	3
LP6	PI3	5	3
LP6	PI3	6	3
LP6	PI3	7	2
LP6	PI3	8	2
LP6	PI3	9	2

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$NT_{l,f,t}$
LP6	PI3	10	2
LP6	PI3	11	2
LP6	PI3	12	2
LP7	PI3	1	3
LP7	PI3	2	3
LP7	PI3	3	3
LP7	PI3	4	3
LP7	PI3	5	3
LP7	PI3	6	3
LP7	PI3	7	3
LP7	PI3	8	3
LP7	PI3	9	3
LP7	PI3	10	3
LP7	PI3	11	3
LP7	PI3	12	3

Tabla C. Número de turnos asignados a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo.

Almacenamiento_1

Producción_1

Hornos	Plantas Productivas	Periodos	$C_{h,f,t}$
Hn1	PI1	1	672
Hn1	PI1	2	672
Hn1	PI1	3	672

Hornos	Plantas Productivas	Periodos	$C_{h,f,t}$
Hn1	PI1	4	672
Hn1	PI1	5	672
Hn1	PI1	6	672
Hn1	PI1	7	672
Hn1	PI1	8	672
Hn1	PI1	9	672
Hn1	PI1	10	672
Hn1	PI1	11	672
Hn1	PI1	12	672
Hn2	PI2	1	672
Hn2	PI2	2	672
Hn2	PI2	3	672
Hn2	PI2	4	672
Hn2	PI2	5	672
Hn2	PI2	6	672
Hn2	PI2	7	672
Hn2	PI2	8	672
Hn2	PI2	9	672
Hn2	PI2	10	672
Hn2	PI2	11	672
Hn2	PI2	12	672
Hn3	PI3	1	672
Hn3	PI3	2	672

Hornos	Plantas Productivas	Periodos	$C_{h,t}$
Hn3	PI3	3	672
Hn3	PI3	4	672
Hn3	PI3	5	672
Hn3	PI3	6	672
Hn3	PI3	7	672
Hn3	PI3	8	672
Hn3	PI3	9	672
Hn3	PI3	10	672
Hn3	PI3	11	672
Hn3	PI3	12	672
Hn4	PI3	1	672
Hn4	PI3	2	672
Hn4	PI3	3	672

Tabla CI. Capacidad normal (horas) a asignar a cada horno de cada planta en cada periodo.

Transporte

Sub-Etapa Distribución¹

Almacenamiento

Transporte

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d,d,t}^1$
AI1	CL1	1	320000
AI1	CL1	2	400000

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d,d,t}^{1,2}$
AI1	CL1	3	320000
AI1	CL1	4	400000
AI1	CL1	5	480000
AI1	CL1	6	400000
AI1	CL1	7	400000
AI1	CL1	8	240000
AI1	CL1	9	320000
AI1	CL1	10	480000
AI1	CL1	11	400000
AI1	CL1	12	320000
AI1	CL2	1	400000
AI1	CL2	2	480000
AI1	CL2	3	400000
AI1	CL2	4	480000
AI1	CL2	5	560000
AI1	CL2	6	480000
AI1	CL2	7	400000
AI1	CL2	8	320000
AI1	CL2	9	320000
AI1	CL2	10	480000
AI1	CL2	11	560000
AI1	CL2	12	320000
AI2	CL3	1	320000

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d^1, d^2, t}^1$
AI2	CL3	2	560000
AI2	CL3	3	480000
AI2	CL3	4	240000
AI2	CL3	5	480000
AI2	CL3	6	480000
AI2	CL3	7	400000
AI2	CL3	8	240000
AI2	CL3	9	320000
AI2	CL3	10	480000
AI2	CL3	11	480000
AI2	CL3	12	320000

Tabla CII. Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada periodo.

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$NV2_{d^1, d^2, t}^1$
AI1	CL1	1	4
AI1	CL1	2	5
AI1	CL1	3	4
AI1	CL1	4	5
AI1	CL1	5	6
AI1	CL1	6	5
AI1	CL1	7	5
AI1	CL1	8	3
AI1	CL1	9	4

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$NV2_{d^1, d^2, t}$
Al1	CL1	10	6
Al1	CL1	11	5
Al1	CL1	12	4
Al1	CL2	1	5
Al1	CL2	2	6
Al1	CL2	3	5
Al1	CL2	4	6
Al1	CL2	5	7
Al1	CL2	6	6
Al1	CL2	7	5
Al1	CL2	8	4
Al1	CL2	9	4
Al1	CL2	10	6
Al1	CL2	11	7
Al1	CL2	12	4
Al2	CL3	1	4
Al2	CL3	2	7
Al2	CL3	3	6
Al2	CL3	4	3
Al2	CL3	5	6
Al2	CL3	6	6
Al2	CL3	7	5
Al2	CL3	8	3

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$NV2_{d^1, d^2, t}$
AI2	CL3	9	4
AI2	CL3	10	6
AI2	CL3	11	6
AI2	CL3	12	4

Tabla CIII. Número de vehículos² a utilizar entre cada almacén y cada centro logístico en cada periodo.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Ligadas a las AIs

Compras

Ventas

A.5.2 Modelo PLEM asociado a CDO6

En este caso, además de las Variables Locales, y a diferencia de NDT-CD4, sí que existen Variables por Interdependencia con CDs superiores, las cuáles sí que tiene sentido mostrarlas para NDT-CD4 por no ser anticipadas.

Variables Locales

Ligadas a las ATs

Sub-Etapa Distribución¹

Transporte

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d^1, d^2, t}$
AI1	CL1	t1	8000
AI1	CL1	t2	8637,59

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d,d',t}^{1,2}$
AI1	CL1	t3	9061,2
AI1	CL1	t4	8000
AI1	CL2	t1	10000
AI1	CL2	t2	11866,39
AI1	CL2	t3	11889
AI1	CL2	t4	10000
AI2	CL3	t1	9600
AI2	CL3	t2	9600
AI2	CL3	t3	9600
AI2	CL3	t4	8000

Tabla CIV. Capacidad de transporte entre cada almacén y cada centro logístico en cada periodo'.

Productos Finales	Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$TR_{pf,d,d',t}^{1,2}$
PF1	AI1	CL1	t1	146,99
PF1	AI1	CL1	t2	138
PF1	AI1	CL1	t3	286
PF1	AI1	CL2	t1	210,99
PF1	AI1	CL2	t2	151
PF1	AI1	CL2	t3	287
PF1	AI2	CL3	t1	200,18
PF1	AI2	CL3	t2	181,61
PF1	AI2	CL3	t3	254,19
PF2	AI1	CL1	t1	149,99

Productos Finales	Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$TR_{pf,d^1,d^2,t}$
PF2	AI1	CL1	t2	175
PF2	AI1	CL1	t3	220
PF2	AI1	CL1	t4	231
PF2	AI1	CL2	t1	215,99
PF2	AI1	CL2	t2	185
PF2	AI1	CL2	t3	408
PF2	AI2	CL3	t1	189,99
PF2	AI2	CL3	t2	190
PF2	AI2	CL3	t3	190
PF3	AI1	CL1	t1	48,99
PF3	AI1	CL1	t2	158
PF3	AI1	CL1	t4	106
PF3	AI1	CL2	t1	80,99
PF3	AI1	CL2	t2	235
PF3	AI2	CL3	t1	79,99
PF3	AI2	CL3	t2	79,99
PF3	AI2	CL3	t3	80
PF3	AI2	CL3	t4	80
PF4	AI1	CL1	t1	32,99
PF4	AI1	CL1	t2	25
PF4	AI1	CL1	t3	48
PF4	AI1	CL2	t1	30,99
PF4	AI1	CL2	t2	29

Productos Finales	Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$TR_{pf,d}^{1,2,t}$
PF4	AI1	CL2	t3	35
PF4	AI2	CL3	t1	49,99
PF4	AI2	CL3	t2	66,71
PF4	AI2	CL3	t3	50
PF5	AI1	CL1	t1	95,62
PF5	AI1	CL1	t2	8,37
PF5	AI1	CL2	t1	57,24
PF5	AI1	CL2	t2	84,75
PF5	AI2	CL3	t1	49,99
PF5	AI2	CL3	t2	50
PF5	AI2	CL3	t4	50

Tabla CV. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada almacén a cada centro logístico en cada periodo'.

Sub-Etapa Distribución²

Almacenamiento

Productos Finales	Centros Logísticos	Periodos	$IN_{pf,d}^{2,t}$
PF1	CL1	t1	39,99
PF1	CL1	t2	39,994
PF1	CL1	t3	134,99
PF1	CL1	t4	39,99
PF1	CL2	t1	39,99
PF1	CL2	t2	39,99
PF1	CL2	t3	169,99

ProductosFinales	CentrosLogisticos	Periodos	$IN_{pf,d}^{2,t}$
PF1	CL2	t4	39,99
PF1	CL3	t1	39,99
PF1	CL3	t2	40,80
PF1	CL3	t3	163,99
PF1	CL3	t4	39,99
PF2	CL1	t1	39,99
PF2	CL1	t2	39,99
PF2	CL1	t3	39,99
PF2	CL1	t4	39,99
PF2	CL2	t1	39,99
PF2	CL2	t2	39,99
PF2	CL2	t3	229,99
PF2	CL2	t4	39,99
PF2	CL3	t1	76,99
PF2	CL3	t2	144,99
PF2	CL3	t3	191,99
PF2	CL3	t4	65,99
PF3	CL1	t1	22,99
PF3	CL1	t2	125,99
PF3	CL1	t3	22,99
PF3	CL1	t4	22,99
PF3	CL2	t1	22,99
PF3	CL2	t2	183,99

ProductosFinales	CentrosLogisticos	Periodos	$IN_{pf,d}^{2,t}$
PF3	CL2	t3	89,99
PF3	CL2	t4	22,99
PF3	CL3	t1	59,99
PF3	CL3	t2	82,99
PF3	CL3	t3	70,99
PF3	CL3	t4	58,99
PF4	CL1	t1	6,99
PF4	CL1	t2	6,99
PF4	CL1	t3	32,99
PF4	CL1	t4	6,99
PF4	CL2	t1	6,9997
PF4	CL2	t2	6,99
PF4	CL2	t3	24,99
PF4	CL2	t4	6,99
PF4	CL3	t1	24,99
PF4	CL3	t2	30,71
PF4	CL3	t3	48,71
PF4	CL3	t4	6,99
PF5	CL1	t1	82,62
PF5	CL1	t2	67,99
PF5	CL1	t3	40,99
PF5	CL1	t4	6,99
PF5	CL2	t1	36,24

Productos Finales	Centros Logísticos	Periodos	$IN_{pf,d}^2,t'$
PF5	CL2	t2	74,99
PF5	CL2	t3	52,992
PF5	CL2	t4	6,99
PF5	CL3	t1	28,99
PF5	CL3	t2	51,99
PF5	CL3	t3	15,996
PF5	CL3	t4	20,99

Tabla CVI. Cantidad a almacenar de cada producto final en cada centro logístico en cada periodo'.

Transporte

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2,pv,t'$
PF1	CL1	TK1	t1	67
PF1	CL1	TK1	t2	63
PF1	CL1	TK1	t3	121
PF1	CL1	TK1	t4	30
PF1	CL1	TK2	t1	80
PF1	CL1	TK2	t2	75
PF1	CL1	TK2	t3	70
PF1	CL1	TK2	t4	65
PF1	CL2	TK3	t1	111
PF1	CL2	TK3	t2	99
PF1	CL2	TK3	t3	82
PF1	CL2	TK3	t4	35

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2_{pv,t}$
PF1	CL2	TK4	t1	100
PF1	CL2	TK4	t2	52
PF1	CL2	TK4	t3	75
PF1	CL2	TK4	t4	95
PF1	CL3	TK5	t1	80,18
PF1	CL3	TK5	t2	103,8
PF1	CL3	TK5	t3	83
PF1	CL3	TK5	t4	105
PF1	CL3	TK6	t1	120
PF1	CL3	TK6	t2	77
PF1	CL3	TK6	t3	48
PF1	CL3	TK6	t4	19
PF2	CL1	TK1	t1	90
PF2	CL1	TK1	t2	100
PF2	CL1	TK1	t3	78
PF2	CL1	TK1	t4	103
PF2	CL1	TK2	t1	60
PF2	CL1	TK2	t2	75
PF2	CL1	TK2	t3	142
PF2	CL1	TK2	t4	128
PF2	CL2	TK3	t1	121
PF2	CL2	TK3	t2	90
PF2	CL2	TK3	t3	115

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2_{pv,t}$
PF2	CL2	TK3	t4	90
PF2	CL2	TK4	t1	95
PF2	CL2	TK4	t2	95
PF2	CL2	TK4	t3	103
PF2	CL2	TK4	t4	100
PF2	CL3	TK5	t1	60
PF2	CL3	TK5	t2	80
PF2	CL3	TK5	t3	53
PF2	CL3	TK5	t4	65
PF2	CL3	TK6	t1	93
PF2	CL3	TK6	t2	42
PF2	CL3	TK6	t3	90
PF2	CL3	TK6	t4	61
PF3	CL1	TK1	t1	38
PF3	CL1	TK1	t2	16
PF3	CL1	TK1	t3	73
PF3	CL1	TK1	t4	78
PF3	CL1	TK2	t1	11
PF3	CL1	TK2	t2	39
PF3	CL1	TK2	t3	30
PF3	CL1	TK2	t4	28
PF3	CL2	TK3	t1	35
PF3	CL2	TK3	t2	25

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2_{pv,t}$
PF3	CL2	TK3	t3	44
PF3	CL2	TK3	t4	33
PF3	CL2	TK4	t1	46
PF3	CL2	TK4	t2	49
PF3	CL2	TK4	t3	50
PF3	CL2	TK4	t4	34
PF3	CL3	TK5	t1	20
PF3	CL3	TK5	t2	32
PF3	CL3	TK5	t3	35
PF3	CL3	TK5	t4	53
PF3	CL3	TK6	t1	23
PF3	CL3	TK6	t2	25
PF3	CL3	TK6	t3	57
PF3	CL3	TK6	t4	39
PF4	CL1	TK1	t1	13
PF4	CL1	TK1	t2	15
PF4	CL1	TK1	t3	12
PF4	CL1	TK1	t4	14
PF4	CL1	TK2	t1	20
PF4	CL1	TK2	t2	10
PF4	CL1	TK2	t3	10
PF4	CL1	TK2	t4	12
PF4	CL2	TK3	t1	14

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2_{pv,t}$
PF4	CL2	TK3	t2	12
PF4	CL2	TK3	t3	8
PF4	CL2	TK3	t4	8
PF4	CL2	TK4	t1	17
PF4	CL2	TK4	t2	17
PF4	CL2	TK4	t3	9
PF4	CL2	TK4	t4	10
PF4	CL3	TK5	t1	20
PF4	CL3	TK5	t2	30
PF4	CL3	TK5	t3	12
PF4	CL3	TK5	t4	22
PF4	CL3	TK6	t1	12
PF4	CL3	TK6	t2	31
PF4	CL3	TK6	t3	20
PF4	CL3	TK6	t4	19,71
PF5	CL1	TK1	t1	12
PF5	CL1	TK1	t2	14
PF5	CL1	TK1	t3	20
PF5	CL1	TK1	t4	21
PF5	CL1	TK2	t1	8
PF5	CL1	TK2	t2	9
PF5	CL1	TK2	t3	7
PF5	CL1	TK2	t4	13

Productos Finales	Centros Logísticos	Tiendas Keraben	Periodos	$TR_{pf,d}^2$,pv,t'
PF5	CL2	TK3	t1	15
PF5	CL2	TK3	t2	23
PF5	CL2	TK3	t3	7
PF5	CL2	TK3	t4	31
PF5	CL2	TK4	t1	13
PF5	CL2	TK4	t2	23
PF5	CL2	TK4	t3	15
PF5	CL2	TK4	t4	15
PF5	CL3	TK5	t1	18
PF5	CL3	TK5	t2	10
PF5	CL3	TK5	t3	17
PF5	CL3	TK5	t4	28
PF5	CL3	TK6	t1	10
PF5	CL3	TK6	t2	16,99
PF5	CL3	TK6	t3	19
PF5	CL3	TK6	t4	16,99

Tabla CVII. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada centro logístico a cada punto de venta en cada periodo'.

Ligadas a las AIs

Compras

CDOV:

Productos Finales	Almacenes	Periodos	cdov	$CO_{pf,d}^1$,cdov,t'
PF1	AI1	t1	CDO4	357,99

Productos Finales	Almacenes	Periodos	cdov	$CO_{pf,d}^1,cdov,t'$
PF1	AI1	t2	CDO4	289
PF1	AI1	t3	CDO4	573
PF1	AI2	t1	CDO4	200,18
PF1	AI2	t2	CDO4	181,61
PF1	AI2	t3	CDO4	254,19
PF2	AI1	t1	CDO4	365,99
PF2	AI1	t2	CDO4	360
PF2	AI1	t3	CDO4	628
PF2	AI1	t4	CDO4	231
PF2	AI2	t1	CDO4	189,99
PF2	AI2	t2	CDO4	190
PF2	AI2	t3	CDO4	190
PF3	AI1	t1	CDO4	129,99
PF3	AI1	t2	CDO4	393
PF3	AI1	t4	CDO4	106
PF3	AI2	t1	CDO4	79,99
PF3	AI2	t2	CDO4	79,99
PF3	AI2	t3	CDO4	80
PF3	AI2	t4	CDO4	80
PF4	AI1	t1	CDO4	63,99
PF4	AI1	t2	CDO4	54
PF4	AI1	t3	CDO4	83
PF4	AI2	t1	CDO4	49,99

Productos Finales	Almacenes	Periodos	cdov	$CO_{pf,d}^j, cdov, t'$
PF4	AI2	t2	CDO4	66,71
PF4	AI2	t3	CDO4	50
PF5	AI1	t1	CDO4	152,86
PF5	AI1	t2	CDO4	93,13
PF5	AI2	t1	CDO4	49,99
PF5	AI2	t2	CDO4	50
PF5	AI2	t4	CDO4	50

Tabla CVIII. Cantidad a comprar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo’.

Ventas

PV:

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t'}$
PF1	TK1	t1	67
PF1	TK1	t2	63
PF1	TK1	t3	121
PF1	TK1	t4	30
PF1	TK2	t1	80
PF1	TK2	t2	75
PF1	TK2	t3	70
PF1	TK2	t4	65
PF1	TK3	t1	111
PF1	TK3	t2	99
PF1	TK3	t3	82

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t}$
PF1	TK3	t4	35
PF1	TK4	t1	100
PF1	TK4	t2	52
PF1	TK4	t3	75
PF1	TK4	t4	95
PF1	TK5	t1	80,18
PF1	TK5	t2	103,81
PF1	TK5	t3	83
PF1	TK5	t4	105
PF1	TK6	t1	120
PF1	TK6	t2	77
PF1	TK6	t3	48
PF1	TK6	t4	19
PF2	TK1	t1	90
PF2	TK1	t2	100
PF2	TK1	t3	78
PF2	TK1	t4	103
PF2	TK2	t1	60
PF2	TK2	t2	75
PF2	TK2	t3	142
PF2	TK2	t4	128
PF2	TK3	t1	121
PF2	TK3	t2	90

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t}$
PF2	TK3	t3	115
PF2	TK3	t4	90
PF2	TK4	t1	95
PF2	TK4	t2	95
PF2	TK4	t3	103
PF2	TK4	t4	100
PF2	TK5	t1	60
PF2	TK5	t2	80
PF2	TK5	t3	53
PF2	TK5	t4	65
PF2	TK6	t1	93
PF2	TK6	t2	42
PF2	TK6	t3	90
PF2	TK6	t4	61
PF3	TK1	t1	38
PF3	TK1	t2	16
PF3	TK1	t3	73
PF3	TK1	t4	78
PF3	TK2	t1	11
PF3	TK2	t2	39
PF3	TK2	t3	30
PF3	TK2	t4	28
PF3	TK3	t1	35

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t}$
PF3	TK3	t2	25
PF3	TK3	t3	44
PF3	TK3	t4	33
PF3	TK4	t1	46
PF3	TK4	t2	49
PF3	TK4	t3	50
PF3	TK4	t4	34
PF3	TK5	t1	20
PF3	TK5	t2	32
PF3	TK5	t3	35
PF3	TK5	t4	53
PF3	TK6	t1	23
PF3	TK6	t2	25
PF3	TK6	t3	57
PF3	TK6	t4	39
PF4	TK1	t1	13
PF4	TK1	t2	15
PF4	TK1	t3	12
PF4	TK1	t4	14
PF4	TK2	t1	20
PF4	TK2	t2	10
PF4	TK2	t3	10
PF4	TK2	t4	12

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t'}$
PF4	TK3	t1	14
PF4	TK3	t2	12
PF4	TK3	t3	8
PF4	TK3	t4	8
PF4	TK4	t1	17
PF4	TK4	t2	17
PF4	TK4	t3	9
PF4	TK4	t4	10
PF4	TK5	t1	20
PF4	TK5	t2	30
PF4	TK5	t3	12
PF4	TK5	t4	22
PF4	TK6	t1	12
PF4	TK6	t2	31
PF4	TK6	t3	20
PF4	TK6	t4	19,71
PF5	TK1	t1	12
PF5	TK1	t2	14
PF5	TK1	t3	20
PF5	TK1	t4	21
PF5	TK2	t1	8
PF5	TK2	t2	9
PF5	TK2	t3	7

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$VE_{pf,pv,t'}$
PF5	TK2	t4	13
PF5	TK3	t1	15
PF5	TK3	t2	23
PF5	TK3	t3	7
PF5	TK3	t4	31
PF5	TK4	t1	13
PF5	TK4	t2	23
PF5	TK4	t3	15
PF5	TK4	t4	15
PF5	TK5	t1	18
PF5	TK5	t2	10
PF5	TK5	t3	17
PF5	TK5	t4	28
PF5	TK6	t1	10
PF5	TK6	t2	16,99
PF5	TK6	t3	19
PF5	TK6	t4	16,99

Tabla CIX. Cantidad a vender de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo'.

Productos Finales	Tiendas Keraben	Periodos	$DIF_{pf,pv,t'}$
PF1	TK5	t1	4,81
PF4	TK6	t4	0,28

Tabla CX. Cantidad a diferir de cada producto final a cada punto de venta en cada periodo'.

Variables por Interdependencia con CD^T CD^T $CDT=4$:

Almacenes	Centros Logísticos	Periodos	$CTR_{d,d,t}^{+1,2}$
AI1	CL1	2	637,59
AI1	CL1	3	1061,2
AI1	CL2	2	1866,39
AI1	CL2	3	1889
AI2	CL3	1	1600
AI2	CL3	2	1600
AI2	CL3	3	1600

Tabla CXI. Desviación positiva sobre capacidad de transporte “objetivo” entre los almacenes centrales y los centros logísticos al final de cada periodo.

A.5.3 Modelo PLEM asociado a CDO4

Se incluyen en primer lugar las Variable Locales y seguidamente, al igual que con NDT-CD6, las Variables por Interdependencia con CDs superiores.

Variables Locales**Ligadas a las ATs****Etapas Proveedores***Transporte*

Materias Primas	ProvMP	Plantas Productivas	Periodos	$TR_{mp,p,f,t'}$
Esmalte3	ProvEsmalte	PI3	t4	75,32
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	t1	80,2
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	t2	97,97
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	t3	142,99

Materias Primas	ProvMP	Plantas Productivas	Periodos	$TR_{mp,p,f,t}$
Esmalte2	ProvEsmalte	PI2	t4	142,99
Esmalte2	ProvEsmalte	PI3	t2	80,2
Esmalte2	ProvEsmalte	PI3	t3	134,51
Esmalte2	ProvEsmalte	PI3	t4	80,2
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	t1	208,36
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	t2	250,99
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	t3	250,99
Esmalte1	ProvEsmalte	PI1	t4	288,99
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	t1	34,75
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	t2	44,45
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	t3	57,78
Esmalte1	ProvEsmalte	PI2	t4	57,78
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	t1	236,44
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	t2	321,23
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	t3	317,97
Esmalte1	ProvEsmalte	PI3	t4	347,29
PastaRoja	ProvPastaRoja	PI3	t4	22046,34
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	t1	18720
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	t2	22867,96
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	t3	33376,42
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI2	t4	33376,42
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI3	t2	18720
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI3	t3	31398,97

Materias Primas	ProvMP	Plantas Productivas	Periodos	$TR_{mp,p,f,t'}$
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	PI3	t4	18720
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	t1	48448,25
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	t2	58360,38
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	t3	58360,38
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI1	t4	67197,64
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	t1	8080
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	t2	10335,78
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	t3	13436,52
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI2	t4	13436,52
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	t1	54978,61
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	t2	74692,30
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	t3	73934,33
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	PI3	t4	80751,35

Tabla CXII. Cantidad (Kgrs) de cada materia prima a transportar desde cada proveedor a cada planta en cada periodo'.

Etapas Fabricación-Montaje

Almacenamiento_3

Materias Primas	Plantas Productivas	Periodos	$IN_{mp,f,t'}$
Esmalte3	PI1	t1	4
Esmalte3	PI1	t2	4
Esmalte3	PI1	t3	4
Esmalte3	PI1	t4	4
Esmalte3	PI2	t1	10

Materias Primas	Plantas Productivas	Periodos	$IN_{mp,f,t}$
Esmalte3	PI2	t2	10
Esmalte3	PI2	t3	10
Esmalte3	PI2	t4	10
Esmalte3	PI3	t1	4
Esmalte3	PI3	t2	4
Esmalte3	PI3	t3	4
Esmalte3	PI3	t4	4
Esmalte2	PI1	t1	12
Esmalte2	PI1	t2	12
Esmalte2	PI1	t3	12
Esmalte2	PI1	t4	12
Esmalte2	PI2	t1	12
Esmalte2	PI2	t2	12
Esmalte2	PI2	t3	12
Esmalte2	PI2	t4	12
Esmalte2	PI3	t1	12
Esmalte2	PI3	t2	12
Esmalte2	PI3	t3	12
Esmalte2	PI3	t4	12
Esmalte1	PI1	t1	40
Esmalte1	PI1	t2	40
Esmalte1	PI1	t3	40
Esmalte1	PI1	t4	40

Materias Primas	Plantas Productivas	Periodos	$IN_{mp,f,t}$
Esmalte1	PI2	t1	40
Esmalte1	PI2	t2	40
Esmalte1	PI2	t3	40
Esmalte1	PI2	t4	40
Esmalte1	PI3	t1	40
Esmalte1	PI3	t2	40
Esmalte1	PI3	t3	40
Esmalte1	PI3	t4	40
PastaRoja	PI1	t1	44
PastaRoja	PI1	t2	44
PastaRoja	PI1	t3	44
PastaRoja	PI1	t4	44
PastaRoja	PI2	t1	44
PastaRoja	PI2	t2	44
PastaRoja	PI2	t3	44
PastaRoja	PI2	t4	44
PastaRoja	PI3	t1	44
PastaRoja	PI3	t2	44
PastaRoja	PI3	t3	44
PastaRoja	PI3	t4	44
PastaBlanca2	PI1	t1	104
PastaBlanca2	PI1	t2	104
PastaBlanca2	PI1	t3	104

Materias Primas	Plantas Productivas	Periodos	$IN_{mp,f,t}$
PastaBlanca2	PI1	t4	104
PastaBlanca2	PI2	t1	104
PastaBlanca2	PI2	t2	104
PastaBlanca2	PI2	t3	104
PastaBlanca2	PI2	t4	104
PastaBlanca2	PI3	t1	104
PastaBlanca2	PI3	t2	104
PastaBlanca2	PI3	t3	104
PastaBlanca2	PI3	t4	104
PastaBlanca1	PI1	t1	504
PastaBlanca1	PI1	t2	504
PastaBlanca1	PI1	t3	504
PastaBlanca1	PI1	t4	504
PastaBlanca1	PI2	t1	504
PastaBlanca1	PI2	t2	504
PastaBlanca1	PI2	t3	504
PastaBlanca1	PI2	t4	504
PastaBlanca1	PI3	t1	504
PastaBlanca1	PI3	t2	504
PastaBlanca1	PI3	t3	504
PastaBlanca1	PI3	t4	504

Tabla CXIII. Cantidad a almacenar de cada materia prima en cada planta al final de cada periodo'.

Producción_2

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{l,f,t}$
LP1	PI1	t1	9
LP1	PI1	t2	9
LP1	PI1	t3	9
LP1	PI1	t4	9
LP2	PI1	t1	9
LP2	PI1	t2	9
LP2	PI1	t3	9
LP2	PI1	t4	9
LP3	PI2	t1	8
LP3	PI2	t2	8
LP3	PI2	t3	8
LP3	PI2	t4	8
LP4	PI2	t1	4
LP4	PI2	t2	4
LP4	PI2	t3	4
LP4	PI2	t4	4
LP5	PI3	t1	8
LP5	PI3	t2	8
LP5	PI3	t3	8
LP5	PI3	t4	8
LP6	PI3	t1	12
LP6	PI3	t2	12

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$C_{l,f,t}$
LP6	PI3	t3	12
LP6	PI3	t4	12
LP7	PI3	t1	12
LP7	PI3	t2	12
LP7	PI3	t3	12
LP7	PI3	t4	12

Tabla CXIV. Capacidad normal (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo'.

Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$CEX_{l,f,t}$
LP1	PI1	t4	2,7
LP4	PI2	t1	0,96
LP4	PI2	t3	1,2
LP4	PI2	t4	1,2
LP5	PI3	t3	1,45
LP5	PI3	t4	2,4
LP6	PI3	t4	1,14
LP7	PI3	t2	3,6
LP7	PI3	t3	3,6
LP7	PI3	t4	3,6

Tabla CXV. Capacidad extra (horas) a asignar a cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo'.

Familias	Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$PR_{gp,l,f,t}$
Fm1	LP1	PI1	t1	1417,30
Fm1	LP1	PI1	t2	1819,65
Fm1	LP1	PI1	t3	1819,65
Fm1	LP1	PI1	t4	2365,54
Fm1	LP2	PI1	t1	1580,72
Fm1	LP2	PI1	t2	1791,75
Fm1	LP2	PI1	t3	1791,75
Fm1	LP2	PI1	t4	1792,72
Fm1	LP4	PI2	t1	500
Fm1	LP4	PI2	t2	639,59
Fm1	LP4	PI2	t3	831,46
Fm1	LP4	PI2	t4	831,46
Fm1	LP5	PI3	t1	1082,64
Fm1	LP5	PI3	t2	1249,80
Fm1	LP5	PI3	t3	1477,43
Fm1	LP5	PI3	t4	1624,74
Fm1	LP7	PI3	t1	2319,49
Fm1	LP7	PI3	t2	3372,24
Fm1	LP7	PI3	t3	3097,70
Fm1	LP7	PI3	t4	3372,24
Fm2	LP3	PI2	t1	1000
Fm2	LP3	PI2	t2	1221,57
Fm2	LP3	PI2	t3	1782,92

Familias	Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$PR_{gp,l,f,t'}$
Fm2	LP3	PI2	t4	1782,92
Fm2	LP6	PI3	t2	1000
Fm2	LP6	PI3	t3	1677,29
Fm2	LP6	PI3	t4	1000
Fm3	LP6	PI3	t4	1224,79

Tabla CXVI. Cantidad a producir de cada grupo de productos finales en cada línea de fabricación de cada planta en cada periodo'

Productos Finales	Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$PR_{pf,l,f,t'}$
PF1	LP7	PI3	t3	1000
PF2	LP1	PI1	t1	1417,30
PF2	LP1	PI1	t2	1819,65
PF2	LP1	PI1	t3	1819,65
PF2	LP1	PI1	t4	2365,54
PF2	LP2	PI1	t1	1580,72
PF2	LP2	PI1	t2	1791,75
PF2	LP2	PI1	t3	1791,75
PF2	LP2	PI1	t4	1792,72
PF2	LP4	PI2	t1	500
PF2	LP4	PI2	t2	639,59
PF2	LP4	PI2	t3	831,46
PF2	LP4	PI2	t4	831,46

Productos Finales	Lineas Fabricacion	Plantas Productivas	Periodos	$PR_{pf,l,t'}$
PF2	LP5	PI3	t1	1082,64
PF2	LP5	PI3	t2	1249,80
PF2	LP5	PI3	t3	1477,43
PF2	LP5	PI3	t4	1624,74
PF2	LP7	PI3	t1	2319,49
PF2	LP7	PI3	t2	3372,24
PF2	LP7	PI3	t3	2097,70
PF2	LP7	PI3	t4	3372,24
PF3	LP3	PI2	t1	1000
PF3	LP3	PI2	t2	1221,57
PF3	LP3	PI2	t3	1782,92
PF3	LP3	PI2	t4	1782,92
PF3	LP6	PI3	t2	1000
PF3	LP6	PI3	t3	1677,29
PF3	LP6	PI3	t4	1000
PF4	LP6	PI3	t4	1224,79

Tabla CXVII. Cantidad a producir de cada producto final en cada línea de fabricación de cada planta en cada período'

Transporte

Productos Finales	Plantas Productivas	Almacenes	Periodos	$TR_{pf,d}^1, t'$
PF1	PI3	AI2	t3	882
PF2	PI1	AI1	t1	2644,26

Productos Finales	Plantas Productivas	Almacenes	Periodos	$TR_{pff,d}^1$
PF2	PI1	AI1	t2	3185,26
PF2	PI1	AI1	t3	3185,26
PF2	PI1	AI1	t4	3667,59
PF2	PI2	AI2	t1	441
PF2	PI2	AI2	t2	564,11
PF2	PI2	AI2	t3	733,35
PF2	PI2	AI2	t4	733,35
PF2	PI3	AI2	t1	3000,68
PF2	PI3	AI2	t2	4076,64
PF2	PI3	AI2	t3	3153,27
PF2	PI3	AI2	t4	4407,34
PF3	PI2	AI1	t2	381,89
PF3	PI2	AI1	t4	1572,54
PF3	PI2	AI2	t1	882
PF3	PI2	AI2	t2	695,53
PF3	PI2	AI2	t3	1572,54
PF3	PI3	AI2	t2	882
PF3	PI3	AI2	t3	1479,37
PF3	PI3	AI2	t4	882
PF4	PI3	AI1	t4	574,55
PF4	PI3	AI2	t4	505,71

Tabla CXVIII. Cantidad a transportar de cada producto final desde cada planta a cada almacén en cada período'

Sub-Etapa Distribución¹
Almacenamiento

Productos Finales	Almacenes	Periodos	$IN_{pf,d,t}^1$
PF1	Al1	t1	5098
PF1	Al1	t2	4129
PF1	Al1	t3	2965
PF1	Al1	t4	2284,99
PF1	Al2	t1	4788,81
PF1	Al2	t2	2989,62
PF1	Al2	t3	2201,43
PF1	Al2	t4	702,43
PF2	Al1	t1	6954,26
PF2	Al1	t2	7873,53
PF2	Al1	t3	8343,79
PF2	Al1	t4	9974,38
PF2	Al2	t1	7488,68
PF2	Al2	t2	9375,45
PF2	Al2	t3	10377,08
PF2	Al2	t4	12953,78
PF3	Al1	t1	2927
PF3	Al1	t2	2481,89
PF3	Al1	t3	1917,89
PF3	Al1	t4	2860,44
PF3	Al2	t1	3479

Productos Finales	Almacenes	Periodos	$IN_{pf,d,t}$
PF3	AI2	t2	3548,53
PF3	AI2	t3	5186,45
PF3	AI2	t4	4650,45
PF4	AI1	t1	1107
PF4	AI1	t2	887
PF4	AI1	t3	561
PF4	AI1	t4	949,55
PF4	AI2	t1	963
PF4	AI2	t2	450,28
PF4	AI2	t3	20,28
PF5	AI1	t1	518,13
PF5	AI1	t2	309
PF5	AI1	t3	66
PF5	AI1	t4	235,29
PF5	AI2	t1	1263
PF5	AI2	t2	801
PF5	AI2	t3	421

Tabla CXIX. Cantidad a almacenar de cada producto final en cada almacén en cada período'.

Ligadas a las AIs

Compras

CDOV:

MateriasPrimas	ProvMP	cdov	Periodos	$CO_{mp,p,cdov,t}$
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDO1	t1	111506,866568894

MateriasPrimas	ProvMP	cdov	Periodos	$CO_{mp,p,cdov,t'}$
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDO1	t2	143388,477932228
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDO1	t3	145731,240791914
PastaBlanca1	ProvPastaBlanca	CDO1	t4	161385,524259169
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDO1	t1	18720
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDO1	t2	41587,9650950227
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDO1	t3	64775,4003629533
PastaBlanca2	ProvPastaBlanca	CDO1	t4	52096,4207711166
PastaRoja	ProvPastaRoja	CDO2	t4	22046,3414514143
Esmalte1	ProvEsmalte	CDO3	t1	479,562328374884
Esmalte1	ProvEsmalte	CDO3	t2	616,676931701103
Esmalte1	ProvEsmalte	CDO3	t3	626,752551673146
Esmalte1	ProvEsmalte	CDO3	t4	694,077595050262
Esmalte2	ProvEsmalte	CDO3	t1	80,2
Esmalte2	ProvEsmalte	CDO3	t2	178,170662426326
Esmalte2	ProvEsmalte	CDO3	t3	277,509995144704
Esmalte2	ProvEsmalte	CDO3	t4	223,190862491643
Esmalte3	ProvEsmalte	CDO3	t4	75,3249999589988

Tabla CXX. Cantidad a comprar de cada materia prima en cada proveedor a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional "vendedor" en cada periodo'.

Productos Finales	cdov	Almacenes	Periodos	$CO_{pf,d}^1_{,cdov,t}$
PF5	CDO5	Al1	t4	355,28
PF5	CDO5	Al2	t4	111

Tabla CXXI. Cantidad a comprar/subcontratar de cada producto final en cada almacén a cada centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “vendedor” en cada periodo’.

Ventas

CDOC:

Productos Finales	Almacenes	cdoc	Periodos	$VE_{pf,d}^1_{,cdoc,t}$
PF1	Al1	CDO6	t1	358
PF1	Al1	CDO6	t2	289
PF1	Al1	CDO6	t3	348
PF1	Al2	CDO6	t1	200,18
PF1	Al2	CDO6	t2	200,18
PF1	Al2	CDO6	t3	254,19
PF1	Al2	CDO7	t2	335
PF1	Al2	CDO7	t4	335
PF2	Al1	CDO6	t1	366
PF2	Al1	CDO6	t2	360
PF2	Al1	CDO6	t3	628
PF2	Al1	CDO6	t4	231
PF2	Al2	CDO6	t1	190
PF2	Al2	CDO6	t2	190
PF2	Al2	CDO6	t3	190
PF2	Al2	CDO7	t2	335

Productos Finales	Almacenes	cdoc	Periodos	$VE_{pf,d}^1$, _{cdoc,t'}
PF2	AI2	CDO7	t4	335
PF3	AI1	CDO6	t1	130
PF3	AI1	CDO6	t2	393
PF3	AI1	CDO6	t4	106
PF3	AI2	CDO6	t1	80
PF3	AI2	CDO6	t2	80
PF3	AI2	CDO6	t3	80
PF3	AI2	CDO6	t4	80
PF3	AI2	CDO7	t2	280
PF3	AI2	CDO7	t4	280
PF4	AI1	CDO6	t1	64
PF4	AI1	CDO6	t2	54
PF4	AI1	CDO6	t3	83
PF4	AI2	CDO6	t1	50
PF4	AI2	CDO6	t2	66,71
PF4	AI2	CDO6	t3	50
PF4	AI2	CDO7	t2	92
PF4	AI2	CDO7	t4	92
PF5	AI1	CDO6	t1	152,86
PF5	AI1	CDO6	t2	93,13
PF5	AI2	CDO6	t1	50
PF5	AI2	CDO6	t2	50
PF5	AI2	CDO6	t4	50

Productos Finales	Almacenes	cdoc	Periodos	$VE_{pf,d}^1$, _{cdoc,t'}
PF5	AI2	CDO7	t2	78
PF5	AI2	CDO7	t4	78

Tabla CXXII. Cantidad a vender de cada producto final en cada almacén al centro de decisión operativo perteneciente al entorno decisional “comprador” cdo6 en cada periodo’.

PV:

Productos Finales	Almacenes	Periodos	$VE_{pf,d}^1$, _{pv,t'}
PF1	AI1	t1	544
PF1	AI1	t2	680
PF1	AI1	t3	816
PF1	AI1	t4	680
PF1	AI2	t1	1011
PF1	AI2	t2	1264
PF1	AI2	t3	1416
PF1	AI2	t4	1164
PF2	AI1	t1	1324
PF2	AI1	t2	1906
PF2	AI1	t3	2087
PF2	AI1	t4	1806
PF2	AI2	t1	1763
PF2	AI2	t2	2229
PF2	AI2	t3	2695
PF2	AI2	t4	2229
PF3	AI1	t1	443

Productos Finales	Almacenes	Periodos	$VE_{pf,d}^l_{,pv,t}$
PF3	Al1	t2	434
PF3	Al1	t3	564
PF3	Al1	t4	524
PF3	Al2	t1	823
PF3	Al2	t2	1148
PF3	Al2	t3	1334
PF3	Al2	t4	1058
PF4	Al1	t1	129
PF4	Al1	t2	166
PF4	Al1	t3	243
PF4	Al1	t4	186
PF4	Al2	t1	287
PF4	Al2	t2	354
PF4	Al2	t3	380
PF4	Al2	t4	434
PF5	Al1	t1	129
PF5	Al1	t2	116
PF5	Al1	t3	243
PF5	Al1	t4	186
PF5	Al2	t1	287
PF5	Al2	t2	334
PF5	Al2	t3	380
PF5	Al2	t4	404

Tabla CXXIII. Cantidad a vender de cada prod final en almacenes a puntos de venta por periodo'.

Variables por Interdependencia con CD^T CD^T $CDT=4:$

Familias	Almacenes	Periodo	$IN_{gp,d,t}^-$
Fm1	Al1	1	533,01
Fm1	Al2	1	593,74
Fm2	Al1	1	476,74
Fm2	Al2	1	775,07
Fm3	Al1	1	474,77
Fm4	Al1	1	78,43

Tabla CXXIV. Desviación negativa sobre la cantidad a almacenar “objetivo” de cada grupo de productos finales en cada almacén al final de cada periodo.