

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**Departamento de Organización de Empresas**



**PLANIFICACIÓN MAESTRA DE OPERACIONES EN LA  
GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN CONTEXTO  
DE INCERTIDUMBRE EN EL SECTOR CERÁMICO.  
PROPUESTA DE MODELADO Y RESOLUCIÓN BASADA EN  
REDES NEURONALES ARTIFICIALES (ANN).**

**TESIS DOCTORAL**

**PRESENTADA POR:**

**D. NICOLAY ANTONIO MENA O'MEARA**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. D. EDUARDO VICENS SALORT**

**DR. D. FRANCISCO CRUZ LARIO ESTEBAN**

**DR. DÑA. MARÍA DEL MAR EVA ALEMANY DÍAZ**

**VALENCIA, 2010**



La presente Tesis Doctoral ha sido desarrollada dentro del Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP) de la Universidad Politécnica de Valencia, en el marco del Proyecto de investigación (CICYT) “Metodología Jerárquica en el Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico” (Ref. DPI2004-06916-C02-01”).



## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de investigación.

Dar gracias a mi familia porque a pesar de no estar presentes físicamente, se que proyectan mi tranquilidad desde mi país, Colombia. A mis padres Jairo Mena y Mercedes O'Meara, porque a pesar de la distancia, el ánimo, ayuda y alegría que me brindan me dan el vigor necesario para seguir adelante.

De igual manera quisiera dar las gracias sinceramente a mis directores de Tesis, Dr. Eduardo Vicens Salort y Dr. Francisco Cruz Lario Esteban por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus indicaciones, su perseverancia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador.

También me gustaría agradecer los consejos recibidos a lo largo de los últimos años por los profesores y compañeros de doctorado del Departamento de Organización de Empresas tanto como del Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP) de la UPV, que de una manera u otra han aportado su granito de arena a mi formación.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis doctoral, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.



## RESUMEN

La Planificación Colaborativa en la Cadena/Red de Suministro (C/RS) en un Contexto de Incertidumbre necesita de nuevos sistemas que minimicen la aleatoriedad a lo largo de ésta. La incertidumbre se puede tratar a partir de algoritmos heurísticos que mejoran las actividades logísticas que comprenden la Planificación Maestra de la Cadena, obteniendo así mejores resultados en cuanto a margen de beneficios, minimización de costes y otros objetivos que se persiguen en la Cadena. Todo esto para obtener la colaboración entre las diferentes etapas (Proveedor, Fabricación, Distribución y Detallista) que comprende la Cadena de Suministro. En este enfoque, de Tesis presenta una Propuesta Metodológica que se compone de una Propuesta de Modelado, la Descripción del Problema, dos modelos matemáticos (Determinista y de Incertidumbre), la Implantación del Modelado, la Arquitectura y la Plataforma Tecnológica SCANN (Supply Chain Artificial Neuronal Networks), y por último, la Aplicación del Modelo y la Herramienta de Resolución a una Empresa. En lo que se refiere a los dos modelos matemáticos de optimización (Modelo Matemático Determinista "MMD" y Modelo Matemático con Incertidumbre "MMI"), estos consideran simultáneamente la maximización del margen de beneficios para compararlos entre sí. Un modelo está construido en el contexto determinista y el otro utiliza el mismo modelo determinista pero aplicándole incertidumbre, la cual se prevé con Redes Neuronales (las Redes Neuronales prevén un mejor resultado a partir de su proceso interno y entrenamiento de datos). Los modelos MMD, MMI, y las Redes Neuronales están implantados en una Plataforma Tecnológica SCANN (desarrollada por el doctorando), la cual está aplicada al sector cerámico con la ventaja de poder ser utilizada para diferentes modelos de Cadena de Suministro. La Plataforma Tecnológica SCANN ayuda a la Toma de Decisiones en una C/RS centralizada a un nivel Táctico-Operativo. Las alternativas de decisión las define el Decisor Responsable (en función de su experiencia y conocimiento de la realidad actual), es decir, toma las decisiones de la Red de Suministro en su totalidad (C/RS Centralizada); todo esto teniendo en cuenta las políticas de la Empresa. Este decisor puede ser unipersonal, colegiado, delegado, etc. La Plataforma se ha desarrollado en un entorno de VISUAL.NET e

interacciona con un Modelo Matemático Determinista realizado en Lenguaje de Programación Matemático (MPL) y con otro modelo de Programación Matemática apoyado en Redes Neuronales Artificiales (ANN) en el contexto de la teoría posibilista.

## SUMMARY

The collaborative planning in Supply Chain Management, within the context of uncertainty needs new systems that minimize randomness. Uncertainty can be handled on the basis of heuristic algorithms that improve the logistic activities, which include the Master Planning in Supply Chains, obtaining better results with regard to profit, cost minimization and other targets that are pursued in the supply chain. This is for obtaining collaboration between the different stages (supplier, manufacture, distribution and retailer) that the supply chain includes. In this approach, this thesis presents a methodological proposal, which consists of a proposed model, description of the problem, two mathematic models (deterministic and one of uncertainty), implementation of the model, the architecture and technology platform SCANN (Supply Chain Artificial Neuronal Networks), and finally the application of this model and problem-solving tools for a company. The two mathematical optimization models (Deterministic Mathematical Model "DMM" and Uncertainty Mathematical Model UMM) consider simultaneously the profit maximization for comparing them. One model is set up in the deterministic context and the other one uses the same, but applying uncertainty, which can be predicted by neural networks (the neuronal networks are able to create data with a high quality using its own intern process and training data). The models DMM, UMM and Neuronal networks are used on a technological Platform SCANN (developed by the doctorate), which is applied in the ceramic sector that can be used in different models of the supply chain. The technological platform SCANN can be used to take decisions in a centralized chain to a tactical-operative level. The alternative of the decision, are defined by a decision-maker (taking into account his experience and knowledge), this means, that he takes the decisions of the supply chain; all this taking into account the company's politics. This decision maker or can be unipersonal, collegiate, assigned, etc. The platform has been developed in VISUAL.NET and this interacts with a mathematical determinist model which is developed in Mathematical Programming Language (MPL) and with Artificial Neuronal Networks (ANN), on the possibility theory context.



## RESUM

La Planificació Col.laborativa en la Cadena/Xarxa de Subministrament (C/XS) en un Context d'Incertesa necessita de nous sistemes que minimitzen l'aleatoriedad al llarg d'esta. La incertesa es pot tractar a partir d'algoritmes heurístics que milloren les activitats logístiques que comprenen la Planificació Mestra de la Cadena, obtenint així millors resultats en quant a marge de beneficis, minimització de costos i altres objectius que es persiguen en la Cadena. Tot açò per a obtindre la col.laboració entre les diferents etapes (Proveïdor, Fabricació, Distribució i Detallista) que abarca la Cadena de Subministrament. En este enfocament, la Tesi presenta una Proposta Metodològica que es compon d'una Proposta de Modelat, la Descripció del Problema, dos models matemàtics (Determinista i d'Incertesa), la Implantació del Modelat, l'Arquitectura i la Plataforma Tecnològica SCANN (Supply Chain Artificial Neuronal Networks), i finalment, l'Aplicació del Model i la Ferramenta de Resolució a una Empresa. Pel que fa als dos models matemàtics d'optimització (Model Matemàtic Determinista 'MMD' i Model Matemàtic amb Incertesa 'MMI'), estos consideren simultàniament la maximització del marge de beneficis per a comparar-los entre si. Un model està construït en el context determinista i l'altre utilitza el mateix model determinista però aplicant-li incertesa, la qual es preveu amb Xarxes Neuronals (las Xarxes Neuronals preveuen un millor resultat a partir del seu procés intern i d'entrenament de dades). Els models MMD, MMI, i les Xarxes Neuronals estan implantats en una Plataforma Tecnològica SCANN (desenvolupada pel doctorando), la qual està aplicada al sector ceràmic amb l'avantatge de poder ser utilitzada per a diferents models de Cadena de Subministrament. La Plataforma Tecnològica SCANN ajuda a la Presa de Decisions en una C/XS centralitzada a un nivell Tàctic-Operatiu. Les alternatives de decisió les definix el Decisor Responsable (en funció de la seua experiència i coneixement de la realitat actual), és a dir, pren les decisions de la Xarxa de Subministrament en la seua totalitat (C/XS Centralizada); tot açò tenint en compte les polítiques de l'Empresa. Este decisor pot ser unipersonal, col.legiat, delegat, etc. La Plataforma s'ha desenvolupat en un entorn de VISUAL.NET i interacciona amb un Model Matemàtic Determinista desenrotllat en Llenguatge de Programació

Matemàtica (MPL) i amb un altre model de Programació Matemàtica apoyat amb Xarxes Neuronals Artificials (ANN) en el context de la teoria possibilista.

# CONTENIDO

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1.	Objetivos.....	3
1.1.1.	Generales.....	3
1.1.2.	Específicos.....	3
1.2.	Hipótesis.....	4
1.3.	Antecedentes y estado actual del tema.....	4
1.4.	Alcance de la Tesis Doctoral.....	5
1.5.	Eficacia Técnica y Científica.....	6
1.6.	Metodología de la Tesis Doctoral.....	7
1.7.	Contribución del Alumno de Doctorado.....	8
1.8.	Referencias.....	9

## CAPÍTULO 2. GESTIÓN DE LA CADENA/RED DE SUMINISTRO (GC/RS): EN CONTEXTO DE DETERMINISTA E INCERTIDUMBRE. (VISIONES DE RECURSOS, INFORMACIÓN, DECISIONES, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES). ESTADO DEL ARTE

2.1.	Gestión de la Cadena/Red de Suministro.....	13
2.1.1.	Tipos de Cadena/Red de Suministro.....	18
2.1.1.1.	Cadena de Suministro Comunicativa.....	19
2.1.1.2.	Cadena de Suministro Coordinada.....	20
2.1.1.3.	Cadena de Suministro Colaborativa .....	21
2.1.1.4.	Cadena de Suministro Co-opetitive (Cooperación-Competitiva).....	22
2.1.2.	Literatura actual sobre Incertidumbre en la Cadena de Suministro.....	23
2.1.2.1.	Incertidumbre.....	24
2.1.2.1.1.	Definición actual del concepto de Incertidumbre.....	25
2.1.2.1.2.	Fuentes de Incertidumbre a lo Largo de la Cadena de Suministro.....	25
2.1.3.	Resumen.....	27
2.1.4.	Referencias.....	28

<b>2.2.</b>	<b>Modelado del Proceso Colaborativo de Planificación de la Cadena de Suministro.....</b>	<b>32</b>
2.2.1.	Marco de Planificación Colaborativa de la GC/RS.....	32
2.2.2.	Planificación Colaborativa en la Cadena/Red de Suministro.....	32
2.2.3.	Tipos de Colaboración.....	34
2.2.3.1.	Materiales y Servicios.....	34
2.2.3.2.	Colaboración en Demanda.....	34
2.2.3.3.	Colaboración en aprovisionamiento.....	34
2.2.3.4.	Colaboración en Inventario.....	35
2.2.3.5.	Colaboración en Capacidad.....	35
2.2.3.6.	Colaboración en Transporte.....	35
2.2.3.7.	Relaciones.....	35
2.2.4.	Proceso de Colaboración Genérico.....	36
2.2.5.	Software de Apoyo.....	38
2.2.6.	Otras Aportaciones en la Planificación Colaborativa en la C/RS.....	39
2.2.7.	Resumen.....	43
2.2.8.	Referencias.....	44
<b>2.3.</b>	<b>Visión Jerárquica en la Vista Decisional de la Planificación de la Cadena/Red de Suministro.....</b>	<b>46</b>
2.3.1.	Visión Decisional según Schneeweiss, (1995, 1998 y 2002).....	46
2.3.1.1.	Clasificación de sistemas de Toma de Decisiones (TD) para la CS.....	47
2.3.1.2.	Naturaleza de los Problemas de las TDD en La Red de Suministro.....	48
2.3.1.3.	Interdependencias entre los Niveles Jerárquicos.....	50
2.3.2.	Visión Decisional según Stadler, (2000, 2002, 2005 y 2008).....	53
2.3.3.	Visión Decisional según Burton, (1980, 1984, 1988, 1989 y 1995).....	54
2.3.4.	Resumen.....	56
2.3.5.	Referencias.....	57
<b>2.4.</b>	<b>Metodologías de Modelado en la Planificación de la Cadena de Suministro en el contexto de Incertidumbre.....</b>	<b>58</b>
2.4.1.	Clasificación de los Modelos para la Planificación Jerárquica en la Cadena/Red de Suministro bajo Incertidumbre.....	59

2.4.1.1.	Clasificación de los métodos de modelado de la Cadena de Suministro.....	60
2.4.2.	Tipos de Modelos en la Gestión de Cadena/Red de Suministro para Planificación de la Cadena de Suministro en Contexto de Incertidumbre.....	62
2.4.3.	Modelos seleccionados y sus aportes.....	69
2.4.4.	Resumen.....	70
2.4.5.	Referencias.....	71
2.5.	Metodologías de Inteligencia Artificial para la Cadena/Red de Suministro.....	74
2.5.1.	Introducción a la Inteligencia Artificial en la Cadena/Red de Suministro.....	74
2.5.2.	Metodologías de Inteligencia Artificial (IA).....	75
2.5.2.1.	Metodología del Simbolismo.....	76
2.5.2.1.1.	Nacimiento y desarrollo del Simbolismo.....	76
2.5.2.1.2.	Principio de Resolución y Cálculo de un Predicado.....	79
2.5.2.1.3.	Lenguajes de Programación Lógica.....	81
2.5.2.1.4.	Sistemas Expertos.....	84
2.5.2.2.	Metodología del Conexionismo.....	87
2.5.2.2.1.	Nacimiento y desarrollo del Conexionismo.....	87
2.5.2.2.2.	Características del Conexionismo: Estrategias y Técnicas.....	88
2.5.2.2.3.	Modelo de Red Neuronal de Hopfield.....	90
2.5.2.2.4.	Modelo de Red Neuronal Back-Propagation.....	92
2.5.2.2.5.	Algoritmos Genéticos.....	93
2.5.2.3.	Metodología del Conductismo (Behaviorism).....	95
2.5.2.3.1.	Nacimiento y Desarrollo del Conductismo.....	95
2.5.2.3.2.	Lógica Difusa.....	96
2.5.2.3.3.	Control de un Robot.....	98
2.5.2.3.4.	Control Inteligente.....	99
2.5.3.	Aplicación de Metodologías de IA para mejorar la Incertidumbre en la C/RS.....	101

2.5.3.1.	Aplicaciones de la Metodología del Simbolismo a la C/RS.....	101
2.5.3.2.	Aplicaciones de la Metodología del Conexionismo a la C/RS.....	102
2.5.3.3.	Aplicaciones de la Metodología del Conductismo a la R/CS.....	106
2.5.4.	Conclusiones de la aplicaciones para las metodologías.....	108
2.5.5.	Referencias.....	109
<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MODELADO</b>		
3.1.	Introducción.....	117
3.2.	Metodología Propuesta.....	118
3.3.	Modelado del funcionamiento, operaciones y estructura física de una Cadena/Red de Suministro: Un enfoque Determinista y de Incertidumbre.....	119
3.4.	Modelo Decisional y Colaborativo de la Cadena/Red de Suministro.....	120
3.4.1.	Modelo Matemático de Determinista (MMD) de un Sistema de Producción en la Cadena/Red de Suministro.....	122
3.4.1.1.	Definición del Problema.....	122
3.4.1.1.1.	Parámetros o Datos del modelo.....	129
3.4.1.1.2.	Ouputs del Modelo.....	129
3.4.1.1.3.	Objetivo.....	130
3.4.1.2.	Nomenclatura.....	130
3.4.1.3.	Formulación del MMD de un Sistema de Planificación Colaborativa de la C/RS.....	134
3.4.1.3.1.	Función Objetivo.....	135
3.4.1.3.2.	Formulación de Costes e Ingresos.....	135
3.4.1.3.2.1.	Coste Total de Fabricación en cada planta del producto $i$ .....	135
3.4.1.3.2.2.	Coste Total de Subcontratación.....	136
3.4.1.3.2.3.	Coste Total de Manipulación.....	136
3.4.1.3.2.4.	Coste Total de Compras.....	136
3.4.1.3.2.5.	Coste Total de Inventario.....	137
3.4.1.3.2.6.	Coste Total de Transporte.....	137
3.4.1.3.2.7.	Coste total de Diferir Demanda.....	138

3.4.1.3.2.8.	Ingresos por Venta de Productos.....	138
3.4.1.3.3.	Restricciones de Fabricación.....	138
3.4.1.3.4.	Restricciones de Transporte.....	139
3.4.1.3.5.	Restricciones de Inventario.....	140
3.4.1.4.	Esquema de Formulación del Modelo Matemático Determinista.....	141
3.5.	Representación del Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI).....	142
3.5.1.	Red feedforward (hacia adelante) con una capa oculta.....	143
3.6.	Arquitectura de la Plataforma Tecnológica SCANN.....	149
3.7.	Elección y Tratamiento de Datos.....	152
3.8.	Plataforma Supply Chain Artificial Neuronal Networks “SCANN” Software de una Cadena/Red de Suministro con parámetros Inciertos.....	153
3.8.1.	Funcionamiento de la Plataforma SCANN.....	155
3.9.	Conclusiones.....	162
3.9.	Referencias.....	163
<b>CAPÍTULO 4. IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA</b>		
4.1.	Introducción.....	167
4.2.	El Proceso de Planificación de Operaciones en la C/RS Concreta.....	168
4.2.1.	Descripción de la Empresa Cerámica objeto de la aplicación.....	168
4.2.1.1.	Descripción de los productos.....	168
4.3.	Descripción del Proceso de Fabricación.....	170
4.3.1.	Descripción General.....	170
4.3.2.	Recepción y Tratamiento de Materias Primas.....	171
4.3.3.	Molienda.....	172
4.3.4.	Atomización.....	173
4.3.5.	Prensado y Secado.....	174
4.3.6.	Esmaltado.....	175
4.3.7.	Preparación de Esmaltes y Tintas Serigráficas.....	177
4.3.8.	Cocción.....	178
4.3.9.	Clasificación y Embalado.....	179

4.3.10.	Paletizado.....	180
4.3.11.	El transporte.....	180
4.4.	Modelado de una Empresa Cerámica.....	181
4.4.1.	Cadena/Red de Suministro de una Compañía cerámica.....	181
4.4.2.	Entidades Mercantiles Internas.....	184
4.4.3.	Entidades Mercantiles Externas.....	185
4.4.4.	Etapa Proveedores.....	185
4.4.5.	Proveedor G4.....	186
4.4.6.	Proveedor G8.....	186
4.4.7.	Proveedor G1.....	186
4.4.8.	Proveedor G5: Tierra Atomizada (Pasta Blanca).....	187
4.4.9.	Proveedor G7: Proveedor de pavimento y revestimiento de Pasta Roja.....	187
4.4.10.	Proveedor G6: Proveedor de tierra Atomizada para Pasta Roja.....	187
4.4.11.	Etapa Fabricación/Montaje.....	187
4.4.12.	P1.1: Planta de Pavimentos.....	188
4.4.13.	Productos que se fabrican.....	190
4.4.14.	Políticas de distribución/subcontratación de la Producción entre Plantas.....	191
4.4.15.	Centros de Distribución.....	192
4.4.16.	Almacén central de P1.....	193
4.4.17.	Almacén Central de P2.....	193
4.4.18.	Centros Logísticos.....	193
4.4.19.	Distribuidores.....	194
4.4.20.	Tiendas.....	194
4.4.21.	Clientes.....	194
4.4.22.	Empresas constructoras.....	195
4.4.23.	Clientes Extranjeros o de Exportación.....	195
4.5.	Información para la Aplicación del Modelo y su Herramienta de Resolución: Caso Práctico.....	195

4.5.1.	Información para la Aplicación del Modelo.....	196
4.5.2.	Datos de partida del Modelo de Aplicación.....	199
4.5.2.1.	Determinación de los costes.....	204
4.5.2.1.1.	Costes de fabricación.....	204
4.5.2.1.2.	Costes de fabricación en tiempo extra.....	204
4.5.2.1.3.	Costes de materias primas.....	205
4.5.2.1.4.	Costes de transporte.....	206
4.5.2.1.5.	Costes de manejo de materiales.....	209
4.5.2.1.6.	Costes de inventario.....	211
4.5.2.1.7.	Costes de diferir demanda.....	213
4.5.2.1.8.	Costes fijos de cambio de partida.....	219
4.5.2.1.9.	Costes por unidad subcontratada.....	220
4.5.2.1.10.	Precio de venta.....	220
4.5.3.	Determinación de los parámetros.....	224
4.6.	Resumen.....	235
4.7.	Referencias.....	236
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>		
5.1.	Introducción.....	239
5.2.	Resultados del modelo determinista y análisis.....	241
5.2.1.	Análisis de los resultados en función de los costes.....	243
5.3.	Resultados del Modelo Matemático con Incertidumbre.....	245
5.3.1.	Datos de partida para la ejecución del MMI.....	245
5.3.2.	Resultados del MMI a partir de los datos de partida introducidos en la Plataforma SCANN.....	268
5.3.2.1.	Resultados según la Tasa de Aprendizaje (TA) de la Red Neuronal.....	268
5.3.2.2.	Resultados teniendo en cuenta el Error Cuadrático Medio (MSE) de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN.....	273
5.3.3.	Resultados teniendo en cuenta el número de neuronas de la capa oculta de la red neuronal de la Plataforma SCANN, para cada parámetro con incertidumbre.....	278

5.3.3.1.	Análisis Parámetro CDR.....	278
5.3.3.2.	Análisis de los Parámetros CUIFP y CUFEP.....	283
5.3.3.3.	Análisis de los Parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....	290
5.3.3.4.	Análisis de los Parámetros MQFN y MQFE.....	296
5.3.3.5.	Análisis del Parámetro PDCR.....	298
5.3.4.	Análisis teniendo en cuenta todos los parámetros con incertidumbre para el MMI.....	303
5.4.	Conclusiones.....	307
5.5.	Referencias.....	309
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN</b>		
6.1.	Introducción.....	313
6.2.	Sobre la Planificación Centralizada y Colaborativa Usando Metodologías de Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro.....	314
6.3.	Utilización de las Redes Neuronales para la estimación de parámetros inciertos.....	316
6.4.	Sobre la viabilidad de la metodología para la gestión de la cadena/red de suministro en un contexto de incertidumbre.....	317
6.5.	Líneas Futuras de Investigación.....	317
6.6.	Referencias.....	319
<b>ANEXOS</b>		
ANEXO A.	Modelo Matemático Determinista en MPL.....	323
ANEXO B.	Código fuente de la Red neuronal.....	329
ANEXO C.	Código fuente en el que interactúa la Red neuronal y el MPL.....	334
ANEXO D.	Código fuente del funcionamiento detallado de la Plataforma SCANN...	337
ANEXO E.	Manual de uso de la Plataforma SCANN.....	349
ANEXO F.	Resultados y Análisis.....	358
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....		407

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Integración Inter e Intra de la Configuración Comunicativa (Lejeune, 2005).....	19
Figura 2.2. Concepto de Planificación Colaborativa (Stadtler, 2002).....	33
Figura 2.3. Planificación Colaborativa Múltiple (Satdtler, 2008).....	36
Figura 2.4. Fases Proceso Planificación Colaborativa (Satdtler, 2008).....	37
Figura 2.5. Software de Apoyo Planificación Colaborativa (Satdtler, 2008).....	39
Figura 2.6. Sistemas de TDD (Schneeweiss, 1998 y 2002).....	47
Figura 2.7. Grados de relación dentro de la Cadena de Suministro (Schneeweiss, 1995, 1998 y 2002).....	49
Figura 2.8. Interdependencias entre los niveles jerárquicos (Schneeweiss, 1995 y 1998).....	51
Figura 2.9. Sistema jerárquico (Stadler, 2008).....	54
Figura 2.10. Sistema jerárquico (Burton, 1995).....	55
Figura 2.11. Actividades de Planificación en la Cadena de Suministro.....	58
Figura 2.12. Modelos de Cadena de Suministro (Min and Zhou; 2002).....	61
Figura 2.13. Tipos de integración en la Cadena de Suministro (Min & Zhou; 2002).....	61
Figura 2.14. Metodologías de Inteligencia Artificial para la C/RS.....	76
Figura 2.15. Descripción matemática de una Red Neuronal Artificial.....	89
Figura 2.16. Red Neuronal Back-propagation.....	93
Figura 2.17. Célula, cromosoma y gen.....	94
Figura 2.18. Influencia del alelo en los ojos de la mosca.....	94
Figura 2.19. Esquema del funcionamiento típico de un Sistema Difuso.....	97
Figura 2.20. Metodologías inteligentes híbridas (Modificado de: Leung, H. L., (1995)).....	104
Figura 3.1. Metodología Propuesta.....	118
Figura 3.2. Visión Decisional en esta Investigación (Lario, 2006).....	121
Figura 3.3. Recursos Físicos de una Cadena/Red de Suministro del Sector Cerámico para un MMD (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	125
Figura 3.4. Esquema para formular el Modelo Matemático Determinista.....	141

Figura 3.5. Función de transferencia sigmoide y sus modos de activación.....	143
Figura 3.6. Estructura de Red Neuronal Multilayer Feedforward.....	144
Figura 3.7. Modelo Determinista en MPL.....	150
Figura 3.8. Modelo Matemático con Incertidumbre y Redes Neuronales.....	150
Figura 3.9. Modelo con Incertidumbre, Parámetros inciertos y Redes Neuronales.....	152
Figura 3.10. Tratamiento de Datos del MMD y MMI.....	153
Figura 3.11. Pantalla del SCANN SOFTWARE.....	154
Figura 3.12. Proceso para realizar los primeros cálculos del modelo.....	156
Figura 3.13. Funcionamiento opción “Generar Solución” del menú MPL Determinista.	157
Figura 3.14. Funcionamiento de la opción del menú ANN “Generar”.....	158
Figura 3.15. Funcionamiento de la opción del menú MPL Incertidumbre “Generar Solución” .....	159
Figura 3.16. Funcionamiento de la opción del menú “Comparación de Resultados.....	159
Figura 3.17. Diagrama de Funcionamiento de Plataforma SCANN.....	160
Figura 3.18. Plataforma para una Cadena/Red de Suministro con Parámetros Inciertos.....	161
Figura 4.1. Proceso general de monococción porosa (Dalmau, y otros, 1993).....	171
Figura 4.2. Ciclo de cocción en el horno (ASCER, 2004).....	178
Figura 4.3. Visión general del proceso de fabricación de baldosas cerámicas (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	181
Figura 4.4. Estructura Física de las Etapas del R/CS (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)....	183
Figura 4.5. Uso - Pasta - Esmalte (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	191
Figura 4.6. Cadena de Distribución (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	192
Figura 4.7. Cadena de Suministro. Caso Práctico.....	197
Figura 4.8. Materias Primas para un Producto Final.....	198
Figura 5.1. Esquema de Resultados.....	239
Figura 5.2. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo.....	241
Figura 5.3. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo.....	242
Figura 5.4. Variación de la Función Objetivo en función de la tasa de aprendizaje.....	269
Figura 5.5. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo.....	270

<b>Figura 5.6. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo.....</b>	<b>271</b>
<b>Figura 5.7. Variación de la Función Objetivo en función del Error Cuadrático Medio.....</b>	<b>274</b>
<b>Figura 5.8. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el resultado MSE.....</b>	<b>275</b>
<b>Figura 5.9. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado de MSE.....</b>	<b>276</b>
<b>Figura 5.10. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CDR.....</b>	<b>279</b>
<b>Figura 5.11. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CDR.....</b>	<b>279</b>
<b>Figura 5.12. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CDR.....</b>	<b>280</b>
<b>Figura 5.13. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUPF y CUFEP.....</b>	<b>284</b>
<b>Figura 5.14. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUPF.....</b>	<b>285</b>
<b>Figura 5.15. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUFEP.....</b>	<b>285</b>
<b>Figura 5.16. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUPF.....</b>	<b>286</b>
<b>Figura 5.17. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUFEP.....</b>	<b>287</b>
<b>Figura 5.18. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIG y CUIP.....</b>	<b>290</b>
<b>Figura 5.19. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUID.....</b>	<b>291</b>
<b>Figura 5.20. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIR.....</b>	<b>292</b>
<b>Figura 5.21. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>293</b>
<b>Figura 5.22. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>294</b>
<b>Figura 5.23. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros MQFN y MQFE.....</b>	<b>296</b>

<b>Figura 5.24. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro PDCR.....</b>	<b>298</b>
<b>Figura 5.25. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR.....</b>	<b>299</b>
<b>Figura 5.26. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR.....</b>	<b>300</b>
<b>Figura 5.27. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultados con los parámetros inciertos.....</b>	<b>304</b>
<b>Figura 5.28. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con los parámetros inciertos.....</b>	<b>305</b>
<b>Figura 7.1. Introducción de los datos de la Red Neuronal.....</b>	<b>350</b>
<b>Figura 7.2. Introducción de los datos de la Red Neuronal.....</b>	<b>351</b>
<b>Figura 7.3. Introducción de los parámetros con Incertidumbre.....</b>	<b>352</b>
<b>Figura 7.4. Introducción de los Datos Esperado a la Salida de la Red Neuronal.....</b>	<b>352</b>
<b>Figura 7.5. Generación de valores de salida de la Red Neuronal.....</b>	<b>353</b>
<b>Figura 7.6. Iteración de valores de salida de la Red Neuronal.....</b>	<b>354</b>
<b>Figura 7.7. Resultado de salida de la Red Neuronal.....</b>	<b>354</b>
<b>Figura 7.8. Solución del Modelo Matemático Determinista.....</b>	<b>355</b>
<b>Figura 7.9. Resultados del Modelo Matemático Determinista.....</b>	<b>355</b>
<b>Figura 7.10. Solución del Modelo Matemático con Incertidumbre.....</b>	<b>356</b>
<b>Figura 7.11. Resultados del Modelo Matemático con Incertidumbre.....</b>	<b>356</b>
<b>Figura 7.12. Comparación de resultados del MMD y MMD.....</b>	<b>357</b>
<b>Figura 7.13. Ventana de cómo salir de la Plataforma SCANN.....</b>	<b>357</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Desarrollo Cronológico de la Gestión de la Cadena de Suministro (Modificado de: Steve New y Roy Westbrook, 2004).....	15
Tabla 2.2. Topología de las configuraciones de la Cadena de Suministro (Lejeune, 2005).....	18
Tabla 4.1. Entidades de la Compañía Cerámica (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	184
Tabla 4.2. Entidades Mercantiles Externas de la R/CS (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	185
Tabla 4.3. Actual configuración de Líneas y Hornos en la Compañía Cerámica (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	188
Tabla 4.4. Productos que se fabrican según tipo de pasta (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004).....	190
Tabla 4.5.- Materias Primas para un Producto Final.....	198
Tabla 4.6. Previsiones de demanda empleadas.....	204
Tabla 4.7. Costes de fabricación en horas normales y extras.....	205
Tabla 4.8. Costes de materia prima.....	206
Tabla 4.9. Costes de fijo y unitario de transporte desde los proveedores a las plantas.	207
Tabla 4.10. Costes de fijo y unitario de transporte desde las plantas a los distribuidores.....	208
Tabla 4.11. Costes de fijo y unitario de transporte desde los distribuidores a los detallistas.....	208
Tabla 4.12. Costes unitarios de manejo de materiales de los proveedores.....	209
Tabla 4.13. Costes unitarios de manejo de materiales de las plantas.....	209
Tabla 4.14. Costes unitarios de manejo de materiales de los distribuidores.....	210
Tabla 4.15. Costes unitarios de manejo de materiales de los detallistas.....	210
Tabla 4.16. Costes fijos de manejo de materiales de las plantas.....	211
Tabla 4.17. Costes unitario de inventario de los proveedores.....	212
Tabla 4.18. Costes unitario de inventario de las plantas.....	212
Tabla 4.19. Costes unitario de inventario de los distribuidores.....	213
Tabla 4.20. Costes unitario de inventario de los detallistas.....	213
Tabla 4.21. Costes de diferir demanda.....	219

<b>Tabla 4.22. Costes de cambio de partida para cada planta.....</b>	<b>219</b>
<b>Tabla 4.23. Costes por unidad subcontratada.....</b>	<b>220</b>
<b>Tabla 4.24. Precio unitario del producto desde el proveedor a la planta.....</b>	<b>220</b>
<b>Tabla 4.25. Precio unitario del producto desde la planta al distribuidor.....</b>	<b>221</b>
<b>Tabla 4.26. Precio unitario del producto desde distribuidor al detallista.....</b>	<b>222</b>
<b>Tabla 4.27. Precio unitario del producto desde el detallista al cliente.....</b>	<b>223</b>
<b>Tabla 4.28. Nivel de capacidad de transporte desde el proveedor hasta la planta.....</b>	<b>224</b>
<b>Tabla 4.29. Nivel de capacidad de transporte desde la planta hasta el distribuidor.....</b>	<b>225</b>
<b>Tabla 4.30. Nivel de capacidad de transporte desde el distribuidor hasta el detallista..</b>	<b>226</b>
<b>Tabla 4.31. Máxima capacidad de de inventario del proveedor.....</b>	<b>226</b>
<b>Tabla 4.32. Máxima capacidad de de inventario de la planta.....</b>	<b>226</b>
<b>Tabla 4.33. Máxima capacidad de de inventario del distribuidor.....</b>	<b>226</b>
<b>Tabla 4.34. Máxima capacidad de de inventario del detallista.....</b>	<b>227</b>
<b>Tabla 4.35. Tiempo de transporte desde el proveedor a la planta.....</b>	<b>227</b>
<b>Tabla 4.36. Tiempo de transporte desde la planta al distribuidor.....</b>	<b>227</b>
<b>Tabla 4.37. Tiempo de transporte desde el distribuidor al detallista.....</b>	<b>227</b>
<b>Tabla 4.38. Capacidad máxima de entrada de transporte a las plantas.....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla 4.39. Capacidad máxima de salida de transporte de las plantas.....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla 4.40. Capacidad máxima de salida de transporte de los distribuidores.....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla 4.41. Capacidad máxima de salida de transporte de los detallistas.....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla 4.42. Porcentaje de subcontratación de productos.....</b>	<b>229</b>
<b>Tabla 4.43. Unidades de materia prima.....</b>	<b>229</b>
<b>Tabla 4.44. Máxima cantidad de fabricación en tiempo regular y extra.....</b>	<b>231</b>
<b>Tabla 4.45. Nivel de inventario inicial en las plantas.....</b>	<b>232</b>
<b>Tabla 4.46. Nivel de inventario inicial en los distribuidores.....</b>	<b>232</b>
<b>Tabla 4.47. Nivel de inventario inicial en los detallistas.....</b>	<b>233</b>
<b>Tabla 4.48. Stock de seguridad de las plantas.....</b>	<b>233</b>
<b>Tabla 4.49. Stock de seguridad de los distribuidores.....</b>	<b>234</b>
<b>Tabla 4.50. Stock de seguridad de los detallistas.....</b>	<b>234</b>
<b>Tabla 5.1. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo.....</b>	<b>241</b>

<b>Tabla 5.2. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo.....</b>	<b>242</b>
<b>Tabla 5.3. Costes y Beneficios del MMD.....</b>	<b>243</b>
<b>Tabla 5.4. Nivel de inventario de cada Planta.....</b>	<b>244</b>
<b>Tabla 5.5. Nivel de inventario de cada Distribuidor.....</b>	<b>244</b>
<b>Tabla 5.6. Nivel de inventario de cada Detallista.....</b>	<b>244</b>
<b>Tabla 5.7. Valores de entrada con incertidumbre del parámetro CDR.....</b>	<b>250</b>
<b>Tabla 5.8. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CDR.....</b>	<b>253</b>
<b>Tabla 5.9. Valores de entrada con incertidumbre del parámetro CUFP.....</b>	<b>253</b>
<b>Tabla 5.10. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUFP.....</b>	<b>254</b>
<b>Tabla 5.11. Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUFEP.....</b>	<b>254</b>
<b>Tabla 5.12. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUFEP.....</b>	<b>255</b>
<b>Tabla 5.13. Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIG.....</b>	<b>255</b>
<b>Tabla 5.14. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIG.....</b>	<b>255</b>
<b>Tabla 5.15. Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIP.....</b>	<b>256</b>
<b>Tabla 5.16. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIP.....</b>	<b>256</b>
<b>Tabla 5.17. Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUID.....</b>	<b>256</b>
<b>Tabla 5.18. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUID.....</b>	<b>257</b>
<b>Tabla 5.19. Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIR.....</b>	<b>257</b>
<b>Tabla 5.20. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIR.....</b>	<b>257</b>
<b>Tabla 5.21. Datos de entrada de la ANN para el parámetro MQFN.....</b>	<b>258</b>
<b>Tabla 5.22. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro MQFN.....</b>	<b>259</b>
<b>Tabla 5.23. Datos de entrada de la ANN para el parámetro MQFF.....</b>	<b>260</b>
<b>Tabla 5.24. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro MQFE.....</b>	<b>261</b>
<b>Tabla 5.25. Datos de entrada de la ANN para el parámetro PDCR.....</b>	<b>264</b>
<b>Tabla 5.26. Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro PDCR.....</b>	<b>267</b>
<b>Tabla 5.27. Variación de la Función Objetivo en función de la tasa de aprendizaje.....</b>	<b>268</b>
<b>Tabla 5.28. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo.....</b>	<b>269</b>
<b>Tabla 5.29. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo.....</b>	<b>270</b>
<b>Tabla 5.30. Cantidad de producción en tiempo extra.....</b>	<b>271</b>

<b>Tabla 5.31. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando la tasa de aprendizaje de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>271</b>
<b>Tabla 5.32. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la TA de SCANN.....</b>	<b>272</b>
<b>Tabla 5.33. Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la TA de SCANN.....</b>	<b>272</b>
<b>Tabla 5.34. Variación de la Función Objetivo en función del Error Cuadrático Medio....</b>	<b>273</b>
<b>Tabla 5.35. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el resultado MSE.....</b>	<b>274</b>
<b>Tabla 5.36. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado de MSE.....</b>	<b>275</b>
<b>Tabla 5.37. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis MSE.....</b>	<b>276</b>
<b>Tabla 5.38. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando MSE de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>277</b>
<b>Tabla 5.39.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la MSE de SCANN.....</b>	<b>277</b>
<b>Tabla 5.40. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CDR.....</b>	<b>278</b>
<b>Tabla 5.41. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CDR.....</b>	<b>279</b>
<b>Tabla 5.42. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CDR.....</b>	<b>280</b>
<b>Tabla 5.43. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con el parámetro CDR.....</b>	<b>281</b>
<b>Tabla 5.44. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CDR de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>281</b>
<b>Tabla 5.45. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR.....</b>	<b>282</b>
<b>Tabla 5.46 Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR.....</b>	<b>282</b>
<b>Tabla 5.47. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CUPF.....</b>	<b>283</b>
<b>Tabla 5.48. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CUFEP.....</b>	<b>283</b>

<b>Tabla 5.49. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUPF.....</b>	<b>284</b>
<b>Tabla 5.50. Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUFEP.....</b>	<b>285</b>
<b>Tabla 5.51. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUPF.....</b>	<b>286</b>
<b>Tabla 5.52 Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUFEP.....</b>	<b>287</b>
<b>Tabla 5.53. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con el parámetro CUFEP.....</b>	<b>287</b>
<b>Tabla 5.54. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CUPF de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>288</b>
<b>Tabla 5.55. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CUFEP de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>288</b>
<b>Tabla 5.56. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF.....</b>	<b>289</b>
<b>Tabla 5.57. Nivel de inventario de cada Distribuidor ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF.....</b>	<b>289</b>
<b>Tabla 5.58. Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF.....</b>	<b>289</b>
<b>Tabla 5.59. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro.....</b>	<b>289</b>
<b>Tabla 5.60. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIG y CUIP.....</b>	<b>291</b>
<b>Tabla 5.61. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUID.....</b>	<b>291</b>
<b>Tabla 5.62. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIR.....</b>	<b>292</b>
<b>Tabla 5.63. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>293</b>
<b>Tabla 5.64. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIO, CUID y CUIR.....</b>	<b>293</b>
<b>Tabla 5.65. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>294</b>

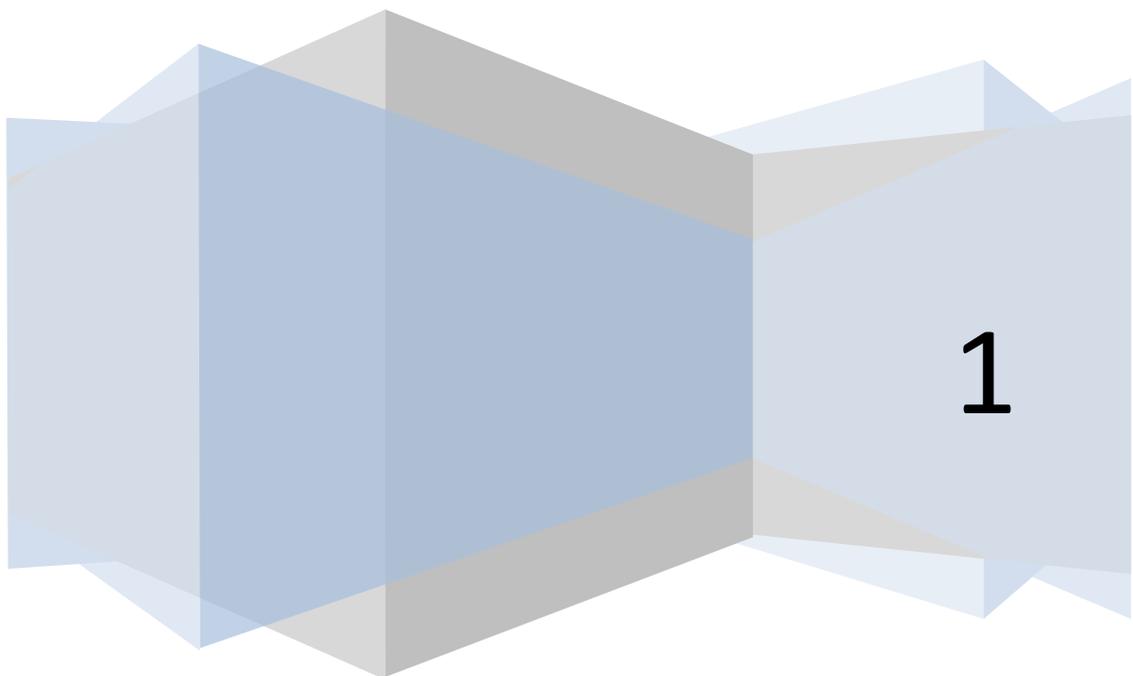
<b>Tabla 5.66. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>295</b>
<b>Tabla 5.67. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con los parámetro CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>295</b>
<b>Tabla 5.68. Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros MQFN y MQFE.....</b>	<b>296</b>
<b>Tabla 5.69 Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro PDCR.....</b>	<b>298</b>
<b>Tabla 5.70. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR.....</b>	<b>299</b>
<b>Tabla 5.71. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR.....</b>	<b>300</b>
<b>Tabla 5.72. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis del parámetro PDCR.....</b>	<b>300</b>
<b>Tabla 5.73. Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro PDCR de la Plataforma SCAAN.....</b>	<b>301</b>
<b>Tabla 5.74. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR.....</b>	<b>302</b>
<b>Tabla 5.75. Nivel de inventario de cada Distribuidor ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR.....</b>	<b>302</b>
<b>Tabla 5.76. Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR.....</b>	<b>302</b>
<b>Tabla 5.77. Número de neuronas para cada parámetro con incertidumbre.....</b>	<b>303</b>
<b>Tabla 5.78. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultados con los parámetros inciertos.....</b>	<b>304</b>
<b>Tabla 5.79. Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con los parámetros inciertos.....</b>	<b>305</b>
<b>Tabla 5.80. Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis de los parámetros con incertidumbre.....</b>	<b>305</b>
<b>Tabla 5.81. Costes y Beneficios ejecutando el modelo con los valores fijos de neuronas en la capa oculta de todos los parámetros con incertidumbre.....</b>	<b>306</b>
<b>Tabla 5.82. Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con todos los parámetros con incertidumbre.....</b>	<b>306</b>
<b>Tabla 7.1. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (MD).....</b>	<b>358</b>

Tabla 7.2. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (MD).....	360
Tabla 7.3. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (MD).....	363
Tabla 7.4. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (TA).....	364
Tabla 7.5. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (TA).....	365
Tabla 7.6. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (TA).....	368
Tabla 7.7. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (MSE).....	369
Tabla 7.8. Cantidades para transportar desde el Distribuidor el Detallista (MSE).....	371
Tabla 7.9. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (MSE).....	374
Tabla 7.10. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (CDR).....	374
Tabla 7.11. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (CDR).....	376
Tabla 7.12. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (CDR).....	379
Tabla 7.13. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (CUFP).....	380
Tabla 7.14. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (CUFP).....	381
Tabla 7.15. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (CUFP).....	384
Tabla 7.16. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (CUFEP).....	385
Tabla 7.17. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (CUFEP).....	387
Tabla 7.18. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (CUFEP).....	390
Tabla 7.19. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (CUI).....	391
Tabla 7.20. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (CUI).....	393
Tabla 7.21. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (CUI).....	396
Tabla 7.22. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (PDCR).....	396
Tabla 7.23. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (PDCR).....	398
Tabla 7.24. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (PDCR).....	401
Tabla 7.25. Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor (TPI).....	402
Tabla 7.26. Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista (TPI).....	403
Tabla 7.27. Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente (TPI).....	406



Universidad Politécnica de Valencia

# Introducción



**ÍNDICE**

<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Antecedentes y estado actual del tema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Alcance de la Tesis Doctoral .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. Eficacia Técnica y Científica .....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. Metodología de la Tesis Doctoral .....</b>	<b>7</b>
<b>1.7. Contribución del Alumno de Doctorado.....</b>	<b>8</b>
<b>1.8. Referencias .....</b>	<b>9</b>

# CAPÍTULO 1.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Objetivos

#### 1.1.1 Generales

- Utilizar las teorías de análisis cuantitativo matemático, y la técnica de simulación con Redes Neuronales Artificiales, en el análisis del comportamiento de algunos modelos deterministas que representan los procesos de Planificación de las Operaciones y la Colaboración a lo largo de la Gestión de la Cadena/ Red de Suministro.
- Estudiar los comportamientos en la Gestión de la Cadena/Red de Suministro, ante la incertidumbre y los cambios en las condiciones iniciales o valores de los parámetros que influyen directamente a lo largo de esta.

#### 1.1.2 Específicos

- Modelar la Planificación de la Producción y las Operaciones en la Cadena/Red de Suministro con parámetros Inciertos como sistema de ayuda a la Toma de Decisiones. Para ello se definirá una Plataforma Informática que permite al usuario adoptar una política de Toma de Decisiones que reaccione a los cambios repentinos que pueden suceder.
- Modelar un problema de Planificación de la Producción y las Operaciones de la Cadena/Red de Suministro y analizar el comportamiento de los parámetros desde el punto de vista cualitativo, considerando Incertidumbre en la definición de sus valores.
- Realizar un análisis de sensibilidad de los valores de las condiciones iniciales de las variables de estado o parámetros de los modelos, e identificar los comportamientos que resultan de los cambios.
- Analizar los parámetros fijos del Modelo Matemático Determinista para determinar cuáles de estos tienen más incertidumbre, y así poder definir el Modelo Matemático con Incertidumbre.

### **1.2. Hipótesis**

El propósito de esta Tesis es desarrollar un sistema de Planificación Colaborativa basado en Redes Neuronales a partir de la Metodologías de Inteligencia Artificial (MIA), para analizar los problemas de Incertidumbre en la Cadena/Red de Suministro. Se desea facilitar una planificación más fiable en cada etapa de la C/RS (Suministro, Producción, Demanda, etc.), evaluando la integración de la Redes Neuronales y el Modelo Matemático Determinista. Se analiza esta metodología para tener una perspectiva más profunda de las Metodologías de Inteligencia Artificial.

También se plantea desarrollar métodos matemáticos que se puedan utilizar en la Planificación de una C/RS del Sector Cerámico, como son: las Redes Neuronales, los Modelos Matemáticos Deterministas, los Modelos Matemáticos con Incertidumbre, y el Análisis Cualitativo Matemático para mejorar y ayudar en los procesos de Toma de Decisiones de la C/RS. Lo anterior servirá para demostrar la utilidad de la Inteligencia Artificial basada en Redes Neuronales para la Planificación en la Cadena de Suministro.

### **1.3. Antecedentes y estado actual del tema**

El término de Gestión de Cadena/Red de Suministro es utilizado normalmente para describir el grupo de acciones o procesos (internos) que realizan los eslabones (o etapas) y los procesos logísticos (entre etapas) cuyo objetivo final es la entrega de un producto a un cliente (consumidor final) (Lario y Vicens, 2006). Esto quiere decir que en la Cadena de Suministro se incluyen las actividades asociadas desde la obtención de materiales para su transformación en producto, hasta su colocación en el mercado, necesitando colaborar, integrar, y cooperar (estableciendo objetivos comunes y relaciones de largo plazo) entre ellas para ser más competitivas y alcanzar sus objetivos, independientemente de la incertidumbre que se encuentra a lo largo de la cadena.

Por ello, en la planificación en la Cadena de Suministro se consideran tres niveles jerárquicos: Estratégico, Táctico y Operativo (Burton, 1995; Shapiro, 1998; Chopra y Meindl, 2001; Scheneeweiss, 2002; Van Landeghem y Vanmaele, 2002). En Rohde et al. (2000), Fleischmann et al. (2005) y Stadtler (2008) se clasifican las tareas de planificación de acuerdo al horizonte de ésta y a la importancia de las decisiones en: planificación de largo plazo, planificación de medio plazo y planificación de corto plazo. Indican también que en la planificación de la producción a medio plazo se realiza el Plan Maestro de Producción (PMP) y la Planificación de la Capacidad Aproximada (PCA).

Actualmente, las Cadenas de Suministro pueden comprender un gran número de empresas, que planifican y coordinan sus capacidades (de producción, almacenamiento, transporte, calidad, etc.) para brindar al mercado productos en el tiempo, cantidad, variedad y coste adecuados. De todas formas la falta de información entre estas empresas crea conflictos, obligando a planificar la cadena en un contexto de incertidumbre.

Aunque en cada una de las etapas implicadas en la Cadena de Suministro (Proveedor, Aprovisionamiento, Producción y Distribución) aparecen muchas actividades y funciones logísticas, la presente investigación pretende enfocarse en las actividades de Planificación Colaborativa bajo Incertidumbre en la Cadena/Red de Suministro basándose en enfoques de Planificación Jerárquica. Reconocer la importancia de la actividad de Planificación de Operaciones de la Cadena/Red de Suministro ayuda a determinar cuán efectiva es ésta bajo un ambiente externo e interno de Incertidumbre. Las actividades de Planificación en una Cadena/Red de Suministro se diferencian unas de otras, según sus Etapas, Niveles Jerárquicos y variables de Planificación.

#### **1.4. Alcance de la Tesis Doctoral**

La Tesis Doctoral permite abordar el Problema de Planificación de una Cadena/Red de Suministro con Incertidumbre. Se ha desarrollado una Plataforma Informática de ayuda a la Toma de Decisiones permitiendo al usuario adoptar una política de toma de decisiones.

Por medio de la implantación de las Redes neuronales, es posible modelar el proceso de planificación de una Cadena/Red de Suministro de forma realista y eficaz a partir de los parámetros dudosos o confusos presentes en él. Para ello, se aplica una Red Neuronal Backpropagation a problemas de planificación táctica y centralizada de una C/RS con los parámetros anteriormente mencionados.

El análisis de los parámetros del modelo determinista bajo incertidumbre y teniendo en cuenta los posibles valores asignados por el decisor en dicho problema permitirá mejorar la toma de decisiones en los niveles táctico y operativo de la cadena de suministro.

Por otra parte en el análisis de los modelos de esta Tesis se tiene en cuenta una Cadena de Suministro a nivel Nacional y para este caso no se trabaja el ámbito Internacional.

Además el decisor del problema analiza qué parámetros pueden tener incertidumbre en el MMI, considerándose los demás parámetros con certeza. En caso que no se

señalen explícitamente la existencia de parámetros con incertidumbre, el Modelo considerará que todos ellos son estables.

### **1.5. Eficacia Técnica y Científica**

El presente trabajo de investigación, tiene eficacia en el campo técnico y científico, desde los siguientes puntos de vista:

- No hay muchos modelos sobre Gestión de la Cadena/Red de Suministro que hayan desarrollado hasta el momento aplicando Redes Neuronales (Leung, H. L., 1995) y otros que a su vez hayan sido analizados a partir de parámetros con incertidumbre (Mula, 2004 y Peidro, 2006).
- Aunque un buen Modelo Determinista con Incertidumbre trabajado con Redes Neuronales, puede mostrar futuros comportamientos de la Planificación de la Producción y de las Operaciones ante varios escenarios, los investigadores que utilizan las Redes Neuronales han explicado que su principal ventaja es su capacidad para aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante.
- En términos generales las redes neuronales son una teoría relativamente nueva y como tal presentan aun algunas limitaciones, pero su facilidad de implantación y la calidad en la información que entregan como respuesta, son la motivación suficiente para que su estudio y desarrollo continúe.
- El tema de Tesis Doctoral corresponde con el propósito de uno de los tópicos del Doctorado de “Modelos Avanzados para la Dirección de Operaciones y la Gestión de la Cadena de Suministro”, el cual busca motivar un estudio más profundo e investigador de los conocimientos impartidos en él. Viéndolo así, la Tesis Doctoral aportará los resultados de la Plataforma realizada para la Planificación de la Producción y las operaciones en la Gestión de la Cadena/Red de Suministro.
- Se presentará un caso práctico que permita ver los comportamientos analizados de acuerdo a lo expuesto en el marco teórico.
- Y por último se desea que esta Tesis Doctoral contribuya con el objetivo de mejorar la Planificación de Operaciones de la Gestión de la Cadena/Red de Suministro.

## **1.6. Metodología de la Tesis Doctoral**

Esta Tesis Doctoral abarca en primer lugar un análisis del problema real con el que se enfrenta la Cadena de Suministro en el Sector Cerámico en un Contexto de Incertidumbre para determinar las características y posibilidades de modelado de la Empresa.

El proyecto está compuesto de un Estado del Arte, que sustenta el modelo para la investigación científica de esta Tesis y que ayuda a la toma de decisiones, predicción, explicación y comprensión de los fenómenos de la gestión de los procesos logísticos. Se ha desarrollado una Propuesta Metodológica de estudio, a partir de una revisión de artículos y documentos sobre la Gestión de la Cadena/Red de Suministro enfocada en el Proceso Colaborativo de Planificación teniendo en cuenta las Metodologías de Modelado y Metodologías de Inteligencia Artificial. Debido a que cada tema por separado aparece tratado en un número extenso de documentos, en segundo lugar se ha clasificado la búsqueda en dos grupos de documentos: por un lado, los que incluyen tanto la Gestión de la Cadena/Red de Suministros, como Planificación Colaborativa, Planificación Jerárquica y Metodologías de Modelado, y por otro lado, la documentación que incluye las Metodologías de Inteligencia Artificial.

En tercer lugar, se propone una visión decisional a partir del problema de gestionar la cadena de suministro en un contexto de incertidumbre y se desarrollan dos modelos, uno determinista y otro con incertidumbre con parámetros inciertos. Se definen cuatro etapas (proveedor, producción, distribución y detallistas) de la cadena para estos modelos. En virtud del desarrollo de los modelos, su validación práctica es necesaria por lo que se propone aquellas técnicas de solución (Apartado 5.3) que posibilitan la aplicación de los modelos y análisis de los resultados (Apartado 5.4). Así mismo se examina el desempeño de los mismos modelos, analizando la problemática para identificar las limitaciones y líneas furas de investigación.

En lo que se refiere a la implantación de la metodología propuesta, se determinan las bases para una Plataforma Tecnológica de una C/RS con Parámetros Inciertos, la cual quiere abordar el Problema de Planificación de las cadenas/redes con Incertidumbre. Esta Plataforma, que se denomina Supply Chain Artificial Neuronal Network (SCANN), es una ayuda a la Toma de Decisiones en una C/RS centralizada a un nivel Táctico-Operativo. Para esto se han elegido los datos accesibles de la Empresa del Sector Cerámico, los cuales son importantes para poder desarrollar diferentes ensayos y pruebas necesarias para poder ejecutar la Plataforma Informática de acuerdo a la Metodología Propuesta. Inicialmente, se considera todos los anteriores con certeza obteniéndose el MMD. Posteriormente, algunos de ellos, seleccionados por el decisor, se consideran sujetos a incertidumbre (Apartado 3.7) dando lugar al MMI, al ejecutar

dichos datos a través de la Red Neuronal. Lo anterior tendrá como objeto la comparación del MMD y del MMI.

En los análisis de los resultados se presentan los distintos ensayos de los modelos en la Plataforma SCANN, y se analizan los mismos para inferir reglas o recomendaciones a las C/RS del sector cerámico. En dicho análisis se utilizan costes y parámetros propios de la Empresa del Sector Cerámico, siendo estos una ayuda o referencia a las C/RS de dicho Sector. Por último se pretende observar la estabilidad de la Plataforma SCANN con los MMD y MMI.

Finalmente se presentan las conclusiones del estudio y las líneas futuras de investigación.

### **1.7. Contribución del Alumno de Doctorado**

La contribución del alumno de Doctorado (Becario FPI del Ministerio de Ciencia e Innovación) a la Tesis Doctoral, nace del proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación llamado Metodología Jerárquica en el Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. La Tesis Doctoral ayuda al desarrollo de dos modelos, un Modelo Matemático Determinista desarrollado en MPL y otro Modelo Matemático con Incertidumbre trabajado con Redes Neuronales para prever comportamientos de la Planificación de la Producción.

Actualmente no se conocen modelos trabajados con Redes Neuronales orientados a la Gestión de la Cadena/Red de Suministro en un contexto de incertidumbre.

Por otra parte, es novedoso el análisis conjunto de los resultados de los Modelos Matemáticos Deterministas y Modelos Matemáticos con Incertidumbre para la Planificación de la Producción de un caso real, implantando así una Plataforma Informática para la Gestión de la Cadena/Red de Suministro en el entorno del proyecto de investigación (CICYT) "Metodología Jerárquica en el Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico" (Ref. DPI2004-06916-C02-01).

## 1.8. Referencias

Burton, R. M., (1995). Design Models for Hierarchical Organizations: Computation, Information, and Decentralization. Kluwer Academic Publishers.

Chopra, S. y Meindl, P. (2001). Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations. 457 pages, Publisher: Prentice Hall; 1st edition, New Jersey.

Fleischmann, B., Meyr, H. y Wagner, M. (2005). Advanced Planning. En Stadtler, H. y Kilger, C. eds., (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer. pp. 81-106.

Lario Esteban, F.C. y Vicens Salort, E. (2006). Modelos Conceptuales de la Cadena/Red de Suministro (R/CdS) en un contexto de modelado de Procesos de Negocio. X Congreso de Ingeniería de Organización CIO'2006.

Leung, H. L., (1995). Neural Networks in Supply Chain Management, 95 Engineering Management- Conference, 0-7803-2799-3/95/ IEEE.

Mula, J. (2004). Modelos para la Planificación de la Producción bajo incertidumbre. Aplicación en una empresa del sector del automóvil. Tesis. Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Universidad Politécnica de Valencia.

Peidro, D. (2006). Modelos para la Planificación táctica centralizada de una Cadena de Suministro bajo incertidumbre. Aplicación en una cadena de suministro del sector del automóvil. Tesis. Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Universidad Politécnica de Valencia.

Rohde, J. (2005). Coordination and Integration. En Stadtler, H. y Kilger, C. eds., (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer. pp. 245-257.

Schneeweiss, C., (2002). Distributed decision making in supply chain management. Int. J. Production Economics. Vol 84, pp. 71–83.

Schneeweiss, C., (1995). "Hierarchical Structures in Organizations: A Conceptual Framework". European Journal of Operational Research, Vol. 86, 4-31.

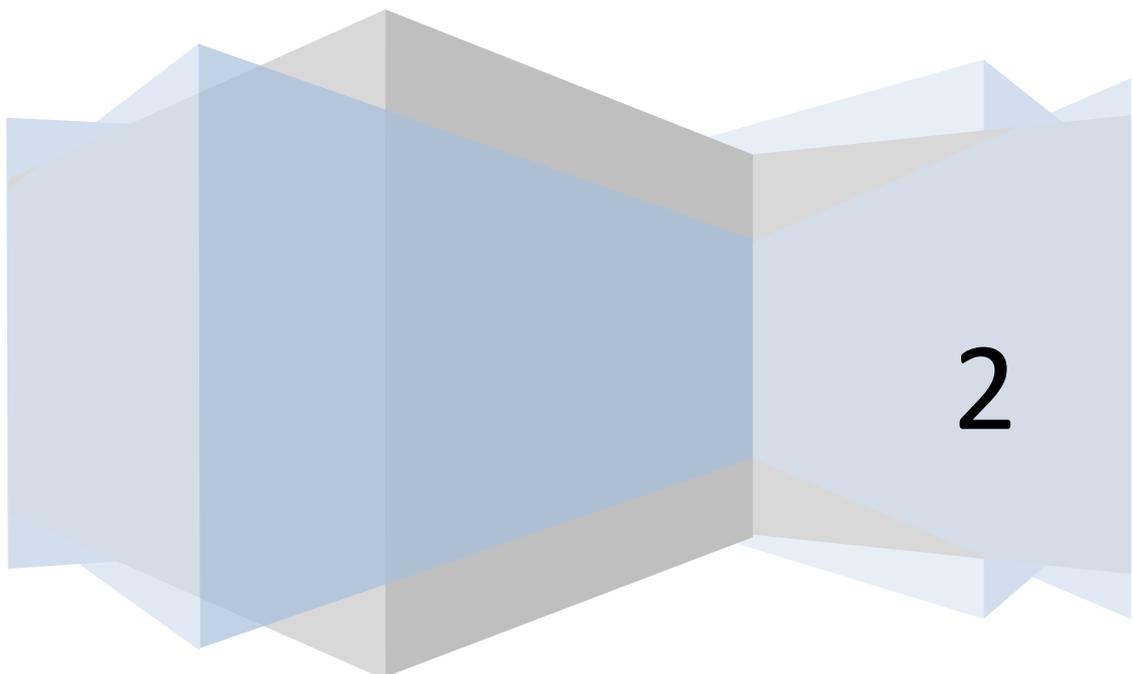
Shapiro, J. (1998). Bottom-up versus top-down approaches to supply chain modelling. En: Quantitative Models for Supply Chain Management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 739–759.

Stadler, H. y Kilger, C., (2008). *Supply Chain Management and Advanced Palnning: Concepts, Models, Software and Case Stidies*. 4th Edition, Springer.

Van Landeghem, H. y Vanmaele, H. (2002). Robust planning: a new paradigm for demand chain planning. *Journal of Operations Management*, 20(6), 769–783.

**Universidad Politécnica de Valencia**

# Estado del Arte



**ÍNDICE**

**2. Gestión de la Cadena/Red de Suministro (GC/RS): en contexto de Determinista e Incertidumbre. (Visiones de Recursos, Información, Decisiones, Organización y Funciones). Estado del Arte..... 13**

**2.1. Gestión de la Cadena/Red de Suministro ..... 13**

**2.2. Modelado del Proceso Colaborativo de Planificación de la Cadena de Suministro..... 32**

**2.3. Visión Jerárquica en la Vista Decisional de la Planificación de la Cadena/Red de Suministro. .... 46**

**2.4. Metodologías de Modelado en la Planificación de la Cadena de Suministro en el contexto de Incertidumbre. .... 58**

**2.5. Metodologías de Inteligencia Artificial ..... 74**

## CAPÍTULO 2.

### **GESTIÓN DE LA CADENA/RED DE SUMINISTRO (GC/RS) EN CONTEXTO DETERMINISTA E INCERTIDUMBRE. VISIONES DE RECURSOS, INFORMACIÓN, DECISIONES, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES. ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1. Gestión de la Cadena/Red de Suministro**

En la literatura actual el término Gestión de la Cadena/Red de Suministro ya es bastante usual. Hoy en día, hay una gran variedad de terminologías que caben dentro del concepto de Gestión de la Cadena/Red de Suministro como lo son: Red de Suministro (Nishiguchi, 1994), Producción Ajustada (New y Ramsay, 1995), Integración de Proveedores (Dyer, Cho y Chu; 1998), Asociación Comprador-Vendedor (Lamming, 1993), Estrategia de Compras Integrada (Burt, 1984), Gestión basada en el Suministro, Alianzas de Proveedores Estratégicos (Lewis, Naim, y Towill, 1997), Sincronización de la Cadena de Suministro (Tan, Kannan, y Handfield, 1998), Red de Cadena de Suministro (Nassimbeni, 1998), Cadena de Valor añadido (Lee y Billington, 1992), Gestión del Canal de Suministro (Farmer y Van Amstel, 1991), Cadena de valor (Jones, 1994).

En términos de polémica Oliver et al. (1982), definen el término Gestión de la Cadena de Suministro como la planificación y el control del flujo de materiales; Ellram (1991) ve la GC/RS como una forma alternativa para la Integración Vertical de la Planificación Jerárquica; y Christopher et al. (1992), Lee et al. (1992) y Ng et al. (1997), la definen como la Gestión de una Red de Organizaciones o Entidades. La mayoría de estas definiciones dan más relevancia a otros tópicos, pero tienen algo en común con la Gestión de Operaciones a través de una visión organizativa. Además, esta literatura relativamente diversa tiene una filosofía en común (ideología), la cual se basa en el entendimiento y gestión de la Cadena/Red de Suministro tanto de organizaciones como de entidades que generan beneficios y ventajas comerciales (New, 1996).

Antes de entrar en definiciones y tipos de Gestión de la Cadena/Red de Suministro se hace una breve reseña cronológica del desarrollo de ésta en la Tabla 2.1, observando cómo desde los años 40 en la segunda guerra mundial hasta nuestros días ha ido surgiendo la GC/RS, teniendo en cuenta los aspectos políticos, económicos y tecnológicos. En la Tabla 2.1, se enuncian algunas de las definiciones de los conceptos de Gestión de la Cadena de Suministro, Cadena de Suministro y Red de Suministro.

Observando cómo han ido evolucionando estos conceptos en la literatura en los últimos 20 años.

Se puede decir a grandes rasgos que la Gestión de las relaciones entre diferentes organizaciones, entidades, empresas, etc., por medio de la Cadena de Suministro se llama: “Gestión de la Cadena Suministro” (Supply Chain Management-SCM por sus siglas en inglés).

Paradigmas				
Evaluación Cronológica del Desarrollo de la Gestión de la Cadena de Suministro				
Década	Política	Económica	Tecnológica	Desarrollos claves de la CS
1940's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Segunda guerra mundial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Subida de la inflación y escasez de recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se inventa el transistor en 1947 en los laboratorios Bell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modelo de coste total</li> <li>○ Transporte y distribución física</li> <li>○ Investigación Operativa</li> <li>○ Logística</li> <li>○ Teoría de juegos</li> </ul>
1950's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Finalización de la segunda guerra mundial y reconstrucción del este de Europa y primera intención de unificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crecimiento económico</li> <li>○ Reducción de costes</li> <li>○ Incremento de riquezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ En 1952 primer ordenador digital para aplicaciones comerciales</li> <li>○ Procesos de Innovación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Teoría de sistemas</li> <li>○ Teoría de contingencia</li> <li>○ Dinámica industrial</li> </ul>
1960's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Finalización de la guerra de Vietnam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crecimiento económico</li> <li>○ Trabajo y poder del consumo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ordenadores introducidos para el control de producción</li> <li>○ Sistema MRP</li> <li>○ Los Microchips son inventados por Intel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Teoría de contingencia</li> <li>○ MRP</li> </ul>
1970's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Emergencia de la influencia global de Europa</li> <li>○ Emerge la economía Japonesa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crisis del petróleo</li> <li>○ Producción ajustada</li> <li>○ Recesión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maquinas de control numérico</li> <li>○ Ordenadores introducidos para el MRP II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Costes económicos de transacción</li> <li>○ JIT, MRP II</li> <li>○ Mejora continua</li> </ul>

1980's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fin de la Unión soviética</li> <li>○ Globalización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desregularización de industrias</li> <li>○ Incremento de la globalización</li> <li>○ Énfasis en la calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Intel lanza la producción de PC's (1981)</li> <li>○ Red de desarrollo Intercambio de datos electrónicos "EDI"</li> <li>○ Avances en las telecomunicaciones</li> <li>○ Avances en las IT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gestión de la Cadena de Suministro</li> <li>○ Formas de organización nuevas (Redes, alianzas y fusiones)</li> </ul>
1990's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Guerra del golfo</li> <li>○ Integración de la EU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crisis del petróleo</li> <li>○ Unión monetaria EU</li> <li>○ La tecnología dirige a la innovación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Avances IT</li> <li>○ Internet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Integración de la Cadena de Suministro</li> </ul>
2000's	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sucesos de la guerra para combatir el terrorismo declarada por la Administración Bush</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Auge de China como potencia mundial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tecnología de reconocimiento de voz, placas que reconocen la escritura manuscrita y pantallas táctiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cadena de Suministro Virtual</li> </ul>

**Tabla 2.1.-Desarrollo Cronológico de la Gestión de la Cadena de Suministro (Modificado de: Steve New y Roy Westbrook; 2004)**

La GC/RS está ligada a diferentes disciplinas de la Industria; pretendiendo así realizar un Marco General para que las Empresas, en general, puedan ubicarse dentro de la Cadena de Suministro.

Según Oliver y Webber (1982), la Gestión de la Cadena de Suministro tiene que ver con todo lo referido al flujo de beneficios desde el Proveedor a través de las Cadenas de Distribución y Fabricación hasta el usuario final.

Para Jones y Riley (1987), las técnicas de Gestión de la Cadena de Suministro se basan en la planificación y el control del flujo de materiales a través de los proveedores hasta los usuarios finales.

En Ellram (1991), la Gestión de la Cadena de Suministro es la integración de operaciones en la planificación y el control del flujo de materiales desde los Proveedores hasta el Usuario Final.

Según Christopher (1992), la Gestión de la Cadena de Suministro es la Gestión de una red de organizaciones que están implicadas, por encadenamientos río arriba y río

abajo, en los diferentes procesos y actividades que generan valor añadido en forma de productos y servicios a las manos del consumidor final.

Para el International Center for Competitive Excellence (1994), la Gestión de la Cadena de Suministro es la integración de procesos de negocio desde el Usuario Final hasta los Proveedores de primer nivel, proporcionando servicios de productos e información que añaden el valor a los clientes.

En Harland (1994), la Gestión de la Cadena de Suministro está definida como la Gestión en todo lo que se refiere a flujo de beneficios y servicios que finalizan en los clientes para satisfacer sus necesidades.

Berry et al., (1994), comentan que la Gestión de la Cadena de Suministro tiende a construir confianza, intercambiar la información de necesidades del mercado, desarrollar nuevos productos y reducir la base de proveedores a un fabricante de equipo original (OEM) de manera que se liberen recursos de gestión para desarrollar relaciones significativas de largo plazo.

Según Cooper et al., (1997), la Gestión de la Cadena de Suministro es una filosofía de integración que gestiona el flujo total de un canal de distribución desde el Proveedor hasta el Cliente Final.

Lee y Ng (1997), definen la Gestión de la Cadena de Suministro como la Gestión de una Red de Entidades, que va desde un Proveedor de Primer Nivel, de un Grupo de Proveedores, hasta un Cliente de Primer Nivel, de un Grupo de Clientes, para la Producción y la entrega de Productos, como de Servicios.

Para Handfield y Nichols (1997), la Cadena de Suministro enmarca todas las actividades asociadas al flujo y transformación de los productos desde la etapa de Materias Primas (extracción), hasta el Usuario Final, así como flujos de información asociados. El material y la información fluyen a lo largo de la Cadena de Suministro. La Gestión de la Cadena de Suministro es la integración de estas actividades a través del mejoramiento de relaciones de la Cadena para lograr competitividad.

Quizás una de las definiciones más actuales de la Cadena de Suministro es la dada por el Global Supply Chain Management Forum en 1998, definiéndola así: “Es la integración de los procesos clave de negocio que va aguas arriba desde el Usuario Final hasta el Proveedor, proporcionando productos, servicios e información que añaden valor a los clientes así como al entorno”.

Según Simchi-Levi et al. (2000), la Gestión de la Cadena de Suministro es un conjunto de ideas enfocadas y utilizadas para la integración mejorada entre sus etapas, como lo son: Proveedores, Fabricantes, Almacenes y Tiendas. Los productos son fabricados y distribuidos en cantidades correctas para ser ubicados en un tiempo exacto, esto con

el fin de minimizar costes para toda la Cadena, y así satisfacer los requerimientos al nivel de servicio.

Según Lambert (2000), la Gestión de la Cadena de Suministro, se introdujo por consultores a principio de los ochenta y subsecuentemente ha ganado reconocimiento.

Para Ayers (2001) la Gestión de la Cadena de Suministro es el diseño, mejoramiento, y las operaciones entre los procesos de la Cadena Suministro para la satisfacción de los usuarios finales.

Una forma acertada para el concepto de GCS se presenta por Mentzer (2001), quién al estudiar este tópico de forma exhaustiva da diferentes definiciones de los conceptos "Cadena de Suministro" y "Gestión de la Cadena de la Suministro" materializando algunos de sus conceptos así:

- Una Cadena de Suministro es, "un conjunto de tres o más entidades directamente implicadas en un flujo de aguas arriba, aguas abajo de los productos, servicios, finanzas e información, desde una fuente (Proveedor) a un Consumidor",
- y la Gestión de la Cadena de Suministro es "la coordinación sistemática, estratégica y táctica del proceso y funcionamiento del marketing tradicional dentro de una compañía en particular, atravesando distintas entidades de negocio dentro de la Cadena de Suministro. Todo esto para la mejora de objetivos a largo plazo de las compañías que actúan mas en solitario, y de la Cadena de Suministro en conjunto"

Para Harland (2001), "la Red de Suministro esta dentro de una amplia Red de Inter-organizaciones que consisten en entidades interconectadas cuyo principal objetivo es el procurement, el uso y la transformación de los recursos para proporcionar paquetes de bienes y servicios".

Dice Choi (2001), que una Red de Suministro (RS) es "un sistema de adaptabilidad compleja: surge, se auto-organiza, es dinámica, y se desarrolla" donde "La RS de adaptabilidad compleja es un conjunto de Entidades que procuran maximizar sus beneficios de forma individual y su sustento intercambiando información, productos, y servicios la una con la otra".

Según Companys (2005), la Cadena de Suministro (CS) es una red de organizaciones interrelacionadas que intervienen en diferentes fases del proceso productivo/operaciones mediante actividades que pretenden añadir valor, desde el punto de vista del cliente, al producto, bien o servicio.

Según APICS (Diccionario, Edición 11, 2005), la Gestión de la Cadena de Suministro es el Diseño, Planificación, Ejecución, Control y Seguimiento de las actividades de la

Cadena de Suministro con el objetivo de crear una Red de Valor, construyendo una infraestructura de Competitividad, forzada por una logística mundial, sincronizando el Proveedor con la Demanda y midiendo su desarrollo global.

Para Lario (2006), el término de la Gestión de Cadena/Red de Suministro se usa para describir el grupo de acciones o procesos (internos) de los eslabones y logísticos (entre etapas) cuyo objetivo final es la entrega de un producto a un cliente (consumidor final). Esto quiere decir, que la Cadena de Suministro incluye las actividades asociadas desde la obtención de materiales para la transformación del producto, hasta su colocación en el mercado.

### 2.1.1. Tipos de Cadena/Red de Suministro

Lejeune (2005) identifica las tipologías de Cadena/Red de Suministro según cuatro configuraciones de Cadena de Suministro: Comunicación, Coordinación, Colaboración y la Cooperación. En las subdivisiones siguientes, se describen los cuatro tipos de Cadena de Suministro. Las características de cada tipo de Cadena de Suministro se muestran en la Tabla 2.2.

Tipos de Cadenas de Suministro	Interdependencia				Formas relacionales de Fiske
	De Forma		Profundidad		
	Proceso de toma de decisiones	Confianza	Intercambio de Información	Congruencia de Objetivos	
Comunicación	Miópica <sup>(*)</sup> , basada en paridad	Fiabilidad	Ocasional, basada en el vecino más próximo, datos transaccionales	Ausencia	Fijación de precios de mercado
Coordinación	Miópica, asimetría	Basada en disuasión y fiabilidad	Amplia CS, procesos, transacciones, datos de I+D para objetivos primarios del canal de la industria	Moderado	Clasificación de autoridades
Colaboración	Coordinada, basada en paridad, centralizada	Fiabilidad, competencia y buena voluntad "franqueza"	Amplia CS para la función focal, basada en proximidad con otras entidades cercanas	Moderado-débil	Correspondencia de igualdad
Co-opetitiva	Coordinada, basada en paridad	Fiabilidad, competencia y buena voluntad	Amplia CS, "complementors y competidores", relaciones por medio de web	Confianza	Intercambio comunal

\* Definición de Miópica en la página siguiente

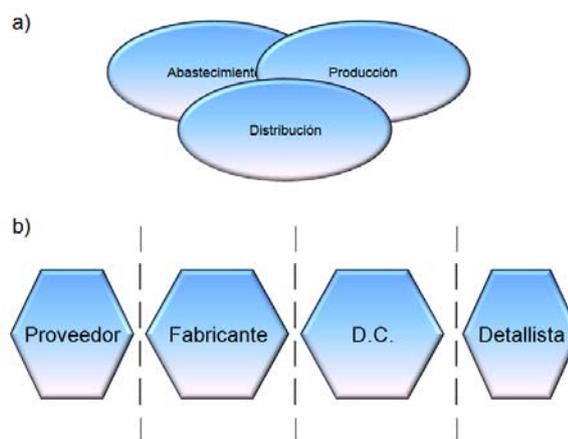
**Tabla 2.2.- Topología de las configuraciones de la Cadena de Suministro (Lejeune; 2005)**

### 2.1.1.1. Cadena de Suministro Comunicativa

La configuración de la cadena de suministro comunicativa está relacionada con la fijación de precios de mercado de Fiske et al. (1991). Es una Cadena de Suministro que no está gestionada, pero “existe”, e implica “como necesario” que haya relaciones a corto plazo para obtener la paridad con los competidores.

La forma de integración toma lugar dentro de cada entidad que desarrolla la colaboración funcional (Fig. 2.1); es decir, cada entidad es una Cadena de Suministro interna. La integración funcional interna e inherente, es un requisito previo de la Empresa para estar luego implicada en un nivel más alto de interdependencia inter-organizativa.

La Fig. 2.1b) ilustra la carencia de integración entre las entidades de Cadena de Suministro, mientras la Fig. 2.1a) ilustra la interacción entre las funciones diferentes de una entidad.



**Figura 2.1.- Integración Inter e Intra de la Configuración Comunicativa (Lejeune, 2005)**

La confianza entre las entidades que conforman una CS Comunicativa, es limitada por su forma de fiabilidad. Explicando esto en forma de ejemplo, es cuando una entidad uno tiene un contrato con una entidad dos, y la primera verifica que la segunda cumpla este contrato con compromiso, para que la primera obtenga beneficio de este. En estos tipos de contratos se usa un mecanismo de mercadeo, que consiste en una disputa de precios entre proveedores potenciales. Esta competitividad surge de la necesidad de proveedores de bajo coste por parte del fabricante.

El proceso de toma de decisiones en esta tipología de la Cadena de Suministro es miope. Cada una de las entidades es independiente y totalmente autónoma; no hay ningún juego de objetivos globales comúnmente perseguidos. Cada entidad usa su poder de negociación para alcanzar sus objetivos personales y por eso se le llama “una estrategia óptimamente miope”.

La carencia de relación entre entidades y la ausencia de confianza causan el intercambio de información y la interacción esporádica entre entidades. Se comunican, pero la información que comparten es restringida y la transmisión de datos operacionales es entre entidades cercanas o vecinas como intercambio de precios, entregas y vencimientos, etc. La única información recibida por los proveedores es la información que pertenece a órdenes confirmadas por los fabricantes. Esta información recibida por los proveedores proporciona a los socios de estas entidades eficacia operacional a corto plazo.

El proceso de decisión miope causa la adopción de un comportamiento oportunista, en el cual todas las entidades intentan satisfacer sus propias metas sin considerar el bienestar de sus homólogos de la Cadena de Suministro. Esto se refuerza por el bajo intercambio de la información y la falta de visibilidad en el tipo de comportamiento esperado y lo que lleva a la falta de congruencia en los objetivos.

### **2.1.1.2. Cadena de Suministro Coordinada**

La configuración de Cadena de Suministro Coordinada se caracteriza por la dependencia profunda entre sus participantes y está relacionada con la clasificación de jerarquías de Fiske (1990, 91, 92).

La CS Coordinada puede verse como una jerarquía de entidades en la CS estando dominada por un líder. Es una relación jerárquica, en que la entidad dominante o el director de la CS poseen un poder de negociación imponiendo sus visiones y objetivos a las otras entidades en la CS. El intercambio mutuo de información en la CS Coordinada es muy poco<sup>1</sup>.

La confianza en la CS Coordinada es a base de opiniones y tipos de fiabilidad entre entidades conformadas por esta. Las entidades de la CS, a partir de la experiencia obtenida de relaciones anteriores entre ellas, permiten que una entidad líder, establezca un nivel de confianza y fiabilidad.

El flujo de información que se efectúa en la Cadena de Suministro es en toda la amplitud de la Gestión de la Cadena de Suministro intercambiando datos transaccionales, de producción y de los procesos relacionados.

La congruencia de metas es moderada; aunque los objetivos de la entidad dominante sean impuestos a sus homólogos “proveedores” (que puede dar la impresión de que la

---

<sup>1</sup> Ya que el conjunto de objetivos de la Cadena de Suministro está impuesto por la Entidad dominante y el proceso de toma de decisiones es miope y asimétrico.

congruencia de un objetivo es débil), las entidades dominadas son dependientes en tal grado que están obligadas a modificar realmente sus propios objetivos para emparejarse con los de la entidad dominante.

La configuración de la CS Coordinada genera competitividad entre las diferentes empresas de la cadena. En este tipo de CS no se elige al mejor Proveedor, la entidad líder de esta CS decide qué Proveedor es el más conveniente para realizar la tarea seleccionada.

Para que esto sea factible, debe ser posible optar entre Proveedores alternativos. La relación de tensión de competitividad idealmente satisface el objetivo de reducción de coste de suministro. La entidad dominante en la CS puede explotar su poder de mercado para conseguir las ventajas en la competición de inter-proveedor y limitar relaciones adversas.

### **2.1.1.3. Cadena de Suministro Colaborativa**

La configuración de la CS Colaborativa se caracteriza por la interdependencia superficial y está relacionada con la correspondencia de igualdad de Fiske (1990, 91, 92).

En la CS Colaborativa, las entidades agregan objetivos comúnmente definidos y usan sus activos complementarios para ganar competitividad a largo plazo. La CS Colaborativa tiene un proceso de toma de decisiones coordinado a base de paridad.

Con frecuencia los objetivos comunes de los agentes de la CS se definen respecto a un problema en particular, buscando la necesidad de soluciones conjuntas.

En el contexto del efecto bullwhip, el intercambio de información sobre la demanda de clientes es por lo general insuficiente a través de las entidades de la Cadena de Suministro. Estas entidades toman decisiones con la información fragmentada; las Ventas, el Inventario y las políticas de Procesamiento de Órdenes están descentralizados a causa de la deformación de información y crea una tendencia al pronóstico de demanda y a niveles de inventario. El impacto del efecto de bullwhip es tan desastroso para la productividad de la CS, que hace incentivar que las entidades de estas mejoren sus mecanismos de intercambio de información.

Para aliviar los resultados del efecto bullwhip, se ha introducido el concepto de Gestión de Inventario por el Vendedor (VMI). Es una solución que substituye al Inventario por Información y al exceso de Recursos, donde toda la información relacionada con el inventario se envía (capturada) a los proveedores, de modo que éstos puedan tomar las decisiones requeridas para asegurar el reaprovisionamiento continuo de productos en cada entidad de la CS. En este caso la coordinación del

proceso de toma de decisiones es a base de paridad y esta centralizado estando en las manos de una Entidad responsable de la gestión de la función central (es decir, el Inventario).

Las entidades en la Cadena de Suministro Colaborativa mejoran a través de interacciones repetidas en el tiempo, como capacidad de confianza y competencia natural. La capacidad de confianza permite a las entidades reducir auditorías y reducir inspecciones de material entrante. El desarrollo de un proceso de toma de decisiones a base de paridad coordinada con una función focal en particular, también requiere una cierta forma de confianza de buena voluntad. Las entidades deben tener franqueza con otras entidades o sub-entidades y compartir información extensamente crítica relacionada con la función focal.

En la CS Colaborativa, el intercambio de información es amplio prevaleciendo la función de negocios como foco, permitiendo un ajuste mutuo, mientras que para otras funciones no enfocadas el intercambio de información es limitado ocurriendo solo en bases vecinas o cercanas. Estas funciones no están desatendidas pero se supervisan por una estructura descentralizada, en la cual la información relevante se conoce localmente. Vale la pena notar que el intercambio de información en la función focal también se concentra en cierta parte de la Cadena de Suministro, llevando aguas arriba o aguas abajo la interdependencia funcional, refiriéndose a ella como un puente de integración que va desde lo externo o interno.

La coordinación de los objetivos de una CS Colaborativa, son de gran importancia para su función focal, mientras la coordinación de estos se limita para otras funciones. La congruencia de estos objetivos, es acertada en un plano medio.

### **2.1.1.4. Cadena de Suministro Co-opetitiva (Cooperativa-Competitiva)**

La configuración en la CS Co-opetitiva ésta caracterizada por la interdependencia profunda y está relacionada con el intercambio comunal de Fiske (1990, 91, 92).

El concepto de co-opetition introducido, se presenta como una combinación de cooperación y competición, y es cuando los competidores se benefician por trabajar juntos; se ha mostrado que la co-opetition es un juego “plus-sum” (suma no nula) en el cual la suma que se gana por todos los jugadores es mayor que la suma con que los jugadores entraron en el juego. La co-opetition tiene que ver con los conceptos de complementarios definido, cómo entidades que añaden el valor a los productos de las otras entidades y los hacen más atractivos a los clientes. En el contexto de Cadena de Suministro los competidores se definen como “actores que producen en el mismo mercado un producto” y esto funciona en la misma etapa (p ej., dos detallistas). Esto también puede ser visto como un ejemplo “de colaboración lateral”, en que las

organizaciones competitivas comparten información privada o de recursos. En contraste, los complementarios son entidades implicadas en etapas diferentes de la Cadena de Suministro (p ej., un proveedor y un fabricante).

De manera similar, para la configuración de la CS Colaborativa, el proceso de toma de decisiones es co-opetivo donde la configuración es a base de paridades y coordinación. Hay un conjunto de objetivos que comúnmente serán perseguidos por las entidades de Cadena de Suministro. Siendo este conjunto de objetivos definido por una entidad líder de la CS Colaborativa.

Compartir información concierne a una comunidad más amplia de configuraciones de Cadena de Suministro implicando intercambios con competidores. Esto puede suceder en un contexto *Lateral transshipment* (movimientos de inventario entre entidades localizadas en el mismo grado en la Cadena de Suministro, es decir entre competidores), que se requiere para realizar el inventario, las políticas de transporte y lograr un control de la Cadena de Suministro. Los *Lateral transshipment* de inventario se definen como movimientos de inventario entre entidades localizadas en el mismo grado en la Cadena de Suministro, es decir, entre competidores. Esto permite corregir discrepancias entre la demanda observada y el nivel de inventario actual sin necesidad depender del tiempo de entrega al consumidor por parte del fabricante o proveedor. En vez de solicitar al fabricante que proporcione productos adicionales, un vendedor al por menor que se encuentra en una situación de ruptura de Stock, puede transportar el producto desde otro vendedor que tiene exceso de inventario en un producto cualquiera. Más bien que moverse horizontalmente en la CS (del fabricante a través de un centro de distribución hasta los vendedores), los productos se mueven verticalmente a través de las entidades localizadas en la misma etapa de la CS.

Con el fin de poder poner en práctica mecanismos de Lateral transshipment, el flujo de información tiene que ser completo entre todas las entidades de la Cadena de Suministro (competidores incluidos) y verse como una web de intercambio que ligue a todas las entidades en la Cadena de Suministro.

El desarrollo común de nuevas tecnologías, requiere de verdadera congruencia de objetivos entre entidades que tienen poca preocupación por el comportamiento oportunista de otras entidades. Esto tiene que ver con la confianza, creencia de benevolencia y buena voluntad entre Entidades.

### **2.1.2. Literatura actual sobre Incertidumbre en la Cadena de Suministro**

Por la gran complejidad de la C/RS es difícil detectar las diferentes fuentes de incertidumbre e interrelaciones complejas entre las etapas de la C/RS. Además, el Ciclo de Vida de un producto es reducido y los constantes aumentos de las expectativas de

los clientes también son más difíciles de ver en la C/RS, sobre todo para productos nuevos.

En este documento, se pretende tener una perspectiva de las técnicas actualmente disponibles para tener en cuenta la incertidumbre y la formulación de planes de contingencia en la Planificación de la C/RS, enfatizando sus aplicaciones y su implantación comercial en Empresas.

Todas las C/RS tienen un cierto grado de incertidumbre en su ejecución. Es imposible saber con certeza y por adelantado qué factores deben conjugarse para determinar la incertidumbre en la C/RS. Para tener en cuenta realmente la incertidumbre, es común que se hagan planes de contingencia, cuya ejecución depende de una o varias condiciones. Por ejemplo, se puede tener un plan para aprovisionar un almacén si no hay demanda estacional, y otro en caso de que la haya. En este ejemplo, el plan “aprovisionar un almacén” está condicionado por el evento “demanda de temporada.” A pesar de la realidad de la variabilidad de los factores que intervienen en la Previsión de la Demanda, las técnicas formales para incorporar condiciones no determinísticas en su determinación han sido desarrolladas hace relativamente poco. Actualmente las nuevas heurísticas y meta-heurísticas que se emplean, se usan para minimizar la incertidumbre en función de probabilidades.

### **2.1.2.1. Incertidumbre**

El concepto de incertidumbre ha sido un componente central en un número amplio de teorías de Organización y Estrategia. March y Simon (1958), identificaron la Incertidumbre como una variable clave del Comportamiento Organizacional. Thompson (1967), sugirió que las primeras tareas de organizaciones enfrentan las contingencias del ambiente externo. Pfeffer y Salancik's (1978), sugieren que la teoría de la dependencia estructura sus relaciones externas en respuesta al resultado de incertidumbre por la dependencia de los elementos en el ambiente externo. Según Omta y De Leeuw (1997), la conceptualización de la incertidumbre todavía no es muy clara en la literatura.

### **2.1.2.1.1. Definición actual del concepto de Incertidumbre**

Galbraith (1977), define Incertidumbre como una discrepancia, la cual es la diferencia entre la cantidad de información requerida para desarrollar una tarea y la cantidad de información que realmente se posee para dicha organización. Esta definición empieza desde la asunción de que la incertidumbre está causada por la falta de información y la claridad acerca de las relaciones causa efecto.

Sheombar (1995), hace una distinción entre la incertidumbre de fenómenos inesperados, que llama perturbaciones (desviaciones de algo esperado), y la incertidumbre de los fenómenos esperados, los cuales tienen patrones estocásticos como el de demanda incierta. La incertidumbre es aleatoria, hace que los cambios anticipados sean más difíciles.

Daft y Lengel (1986), distinguen dos tipos de incertidumbre: la incertidumbre, en tanto no se sabe cuándo va ocurrir un suceso, y la incertidumbre en cuanto no se sabe cómo responder a un suceso cuando este ocurre.

Miles y Snow (1978), distinguen entre cambio de la aleatoriedad (según el entorno) y el cambio en la previsibilidad; ellos definen esto como incertidumbre.

Mason y Mitroff (1973), definen la incertidumbre como un problema que tiene carencia de certidumbre. Las decisiones de este problema son tomadas bajo aleatoriedad, sin tener ninguna certeza de los resultados a partir de sus acciones, pero conocen un conjunto de resultados posibles y de las probabilidades de solución. Con las Decisiones bajo Incertidumbre, la Toma de Decisión no es clara por las probabilidades de los resultados y por eso se buscan alternativas para ello.

El foco de esta Investigación es la Incertidumbre en la Cadena de Suministro y sus acciones para la Toma de decisiones, basados en los requerimientos de la CS y que se definen en los siguientes apartados.

### **2.1.2.1.2. Fuentes de Incertidumbre a lo Largo de la Cadena de Suministro**

La Cadena de Suministro bajo Incertidumbre, está referida a situaciones donde se deben tomar Decisiones en las cuales la Toma de Decisión tiene una carencia efectiva en el control de sucesos o una incapacidad en la predicción de los sucesos del comportamiento de un sistema debido a la falta de:

- Información del entorno de la Cadena de suministro.
- Un modelo consistente de Cadena de Suministro que presente relaciones entre variables e Indicadores de Rendimiento de la C/RS.

La Incertidumbre está más relacionada con el proceso, ya que es donde hay más incertidumbre (Persson; 1995). La presencia de la Incertidumbre en la CS estimula al decisor a crear buffers de seguridad en el tiempo, de Capacidad o de Inventario para prevenir los malos indicadores de la CS.

En un ejemplo de Incertidumbre en la Cadena de Suministro (Krajewski; 1987), se dan a conocer los hallazgos de un proyecto que tiene como objetivo determinar qué factores de incertidumbre afectan el entorno de producción de una empresa en particular. Se encontró: en la variabilidad de la demanda semanalmente; en la fiabilidad de la entrega del vendedor; en los tiempos de espera medios del vendedor y en la variabilidad de estos tiempos de espera; en las carencias de la capacidad; en las pérdidas de producción; en los fallos en la maquinaria y la duración de la indisponibilidad; en el informe de errores en la transacción de inventarios y en la magnitud de esos errores; en los tiempos de procesamiento y los tiempos por unidad de etapa. Los resultados de simulación sugeridos de la selección de un sistema de inventario/producción podrían ser menos importantes que el mejoramiento del entorno industrial mismo.

Distintos autores en la literatura han clasificado las posibles incertidumbres presentes en la CS de forma diferente. Davis, (1993) clasifica la incertidumbre en tres categorías: Incertidumbre de la Demanda, del Proceso y en el Suministro. La incertidumbre en el Suministro está causada por la variabilidad del funcionamiento del proveedor debido a las entregas defectuosas o retrasadas que realice. La Incertidumbre del Proceso resulta de la falta de fiabilidad del proceso de producción. Finalmente, la Incertidumbre que se presenta en la Demanda, es la más usual de las anteriormente mencionadas, por encontrarse en un contexto volátil y de previsiones inexactas. Davis, (1993) propone diferentes métricas para medir los tres tipos de incertidumbre definidos. Lee y Billinbgton, (1993) identifican también estas fuentes de incertidumbre en la C/RS: La Demanda (volumen y mix), el Proceso (producción, roturas de maquinas, fiabilidad del transporte), y el Suministro (calidades de las piezas, fiabilidad en las entregas).

### **2.1.3. Resumen**

Desde una perspectiva de investigación, en este apartado se hace referencia a las diferentes definiciones de Gestión de Cadena/Red de Suministro y se identifican los tipos significativos de ésta. Los investigadores pueden desarrollar modelos y teorías con los cuatro tipos de configuraciones identificadas por Lejune et Al. (2003), y relacionar sus conclusiones con una configuración específica. Además la tipología puede contribuir a la mejora de otros tipos de C/RS.

Al analizar la bibliografía de la Cadena/Red de Suministro, se identificaron los autores que van por la línea de incertidumbre. Así abordando este concepto, su literatura y fuentes que la generan. Clasificando los diferentes tipos de incertidumbre en la C/RS cómo, demanda, proceso y suministro.

#### 2.1.4. Referencias

APICS (Diccionario, Edición 11, 2005). The Educational Society for Resource Management announces the release of the 11th edition of the industry standard APICS Dictionary and the APICS Illustrated Dictionary on CD-ROM.

Ayers, J. (2001). Handbook of Supply Chain Management. Boca Raton, FL: St Lucie Press.

Berry, D., Towill, D., y Wadsley, N. (1994). 'Supply Chain Management in the Electronics Products Industry'. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 24/10: 20–32.

Burt, D. (1984). Proactive Procurement. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Christopher, M. (1992). Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Services. London: Financial Times/Pitman.

Companys, R., (2005). Diseño de sistemas productivos y logísticos. EPSEB-UPC.

Cooper, M. C., Lambert, D. M., y Pagh, J. D. (1997). 'Supply Chain Management: More than a New Name for Logistics'. The International Journal of Logistics Management, 8: 1–13.

Dyer, J. H. (2000). Collaborative Advantage. Winning Through Extended Enterprise Supplier Networks. Oxford: Oxford University Press.

Cho, Dong Sung, y Chu, Wujin (1998). 'Strategic Supplier Segmentation: The Next "Best Practice" in Supply Chain Management'. California Management Review, 40/2: 57-77.

Choi, T.Y. Dooley K.J. y Rungtusanatham, M., (2001). Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence, Journal of Operations Management 19, pp. 351–366.

Davis, T. (1993). Effective Supply Chain Management. Sloan Management Review, 34(4): 35-46.

Daft, R.L., Lengel, R.H. (1986). Organisational information requirements, media richness and structural design, Management Science, 32, 5, 554-571.

Ellram, L. M. (1991). 'Supply Chain Management: The Industrial Organisation Perspective'. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 21: 13–22.

Farmer, D., y Ploos Van Amstel, R. (1991). Effective Pipeline Management. Aldershot: Gower.

- Fiske, A.P. (1990). Relativity within Moose ("Mossi") culture: four incommensurable models for social relationships, *Ethos* 18, pp. 180–204.
- Fiske, A.P. (1991). *Structures of Social Life: The Four Elementary Forms of Human Relations*, Free Press, New York, NY.
- Fiske, A.P. (1992). The four elementary forms of sociality: framework for a unified theory of social relations, *Psychological Review* 99, pp. 589-723.
- Galbraith J.R. (1977). *Organisation design*, Addison-Westley.
- Handfield, R. B., y Nichols, E. L. (1999). *Introduction to Supply Chain Management*. Upper Saddle River, NJ.: Prentice-Hall.
- Harland, C.M., Lamming, R.C., Zheng, J. y Johnsen, T.E. (2001). A Taxonomy of Supply Networks. *Journal of Supply Chain Management*, Fall Issue, Volume 37(4), pp.21-27.
- Harland, C. (1994). 'Perceptions of Requirements and Performance in European Automotive Aftermarket Supply Chains'. Ph.D. thesis, Warwick.
- Jones, D. T. (1994). 'The Auto Industry in Transition: From Scale to Process'. *Journal of the Economics of Business*, 1/1: 139–50.
- Jones, T. C., y Riley, D. W. (1987). 'Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management'. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 17: 94–104.
- Lamming, R. C. (1993). *Beyond Partnership: Strategies for Innovation and Lean Supply*. Hemel Hempstead: Prentice-Hall.
- Lamming, R. C. (1996). 'Squaring Lean Supply with Supply Chain Management. (Lean Production and Work Organization)'. *International Journal of Operations and Production Management*, 16/2: 183–97.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C. (2000). "Issues in supply chain management", *Industrial Marketing Management*, Vol. 29 No.1, pp.65-83.
- Lario Esteban, F.C.; Vicens Salort, E. (2006). Modelos Conceptuales de la Cadena/Red de Suministro (R/CdS) en un contexto de modelado de Procesos de Negocio. X Congreso de Ingenieria de Organización CIO'2006.
- Lee, H. L., y Billington, C. (1992). 'Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities'. *Sloan Management Review*, 33/3: 65–78.
- Lee, H.L. y Billington, C., (1993). *Material Management in Decentralized Supply Chains*. *Operations Research*, 45(5): 835-847.

Lee, H. L., y Ng, S. M., (1997). 'Introduction to the Special Issue on Global Supply Chain Management'. *Production and Operations Management*, 6: 191–2.

Lejeune, Miguel A. y Nevena Yakova, (2005). "On characterizing the 4 C's in supply chain management." *Journal of Operations Management* 23.1: 81-100.

Lewis, J. C., Naim, M. M., y Towill, D. R., (1997). 'An Integrated Approach to Re-engineering Material and Logistics Control'. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 27/3–4: 197–209.

March, J.G, Simon, H.A. (1958). *Organisations*, John Wiley & Sons

Mason and Mitroff, (1973). *Management Science*, 19 5, 475-487.

Mentzer, W., DeWitt, J.S., Keebler, S., Min, N.W., Nix, C.D., y Zacharia, Z.G., (2001). Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics* 22 (2001) (2), pp. 1–25.

Miles, R. y Snow, C., (1978). *Organizational strategy, structure, and process*. Industrial Management. Mc-Graw Hill (New York).

Nassimbeni, G., (1998). 'Network Structures and Co-ordination Mechanisms: A Taxonomy'. *International Journal of Operations and Production Management*, 18/5–6: 538–54.

New, S. J., (1994). 'Supply Chains: Some Doubts'. *Proceedings of the Third Annual International Conference of IPSERA*, 345-62.

New, S. J., (1996). 'A Framework for Analysing Supply Chain Improvement'. *International Journal of Operations and Production Management*, 16/4: 19–34.

New, S. J. y Ramsay, J., (1997). 'A Critical Appraisal of Aspects of the Lean Chain Approach'. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 3/2: 93–102.

New, S. y Westbrook, R., (2004). *Understanding Supply Chains. Concepts, critiques, and futures*. Oxford University Press.

Nishiguchi, T., (1994). *Strategic Industrial Sourcing: The Japanese Advantage*. Oxford: Oxford University Press.

Oliver, R. K., y Webber, M. D., (1982). 'Supply-Chain Management: Logistics Catches up with Strategy', in M. Christopher (ed.), *Logistics: The Strategic Issues*. London: Chapman and Hall, 63–75.

Omta, S.W.F., Leeuw, A.C.J., (1997). Management control, uncertainty, and performance in biomedical research in universities, institutes and companies, *Journal of Engineering and Technology Management*, 14, 223-257.

Persson, G., (1995). Logistics process redesign: some useful insights, *International Journal of Logistics Management*, 6, 1, 13-25.

Pfeffer, J., Salancik, G.R., (1978), *The external control of organisations; a resource dependence perspective*, New York: Harper & Row

Sheombar, H.S., (1995), *Understanding logistics co-ordination - A foundation for using EDI in operational (re)design of dyadical Value Adding Partnerships*, Dissertation KUB, Tutein Bolthenius, 's Hertogenbosch, The Netherlands.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., y Sinchi-Levi, E., (2000). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. New York: Irwin McGraw-Hill.

Tan, K. C., Kannan, V. R., y Handfield, R. B., (1998). 'Supply Chain Management: Supplier Performance and Firm Performance'. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 34/3: 2-9.

Thompson, J.D., (1967), *Organisations in action*, McGraw-Hill.

## **2.2. Modelado del Proceso Colaborativo de Planificación de la Cadena de Suministro**

### **2.2.1. Marco de Planificación Colaborativa de la GC/RS**

Los modelos de negocios a nivel internacional están en continuo desarrollo, entrando en nuevas tendencias y economías, nuevas aéreas industriales y hasta nuevos modelos en un entorno de alta competitividad. Es complicado abordar la definición de los cambios desde un sólo punto de vista, por lo tanto, debe hacerse desde varias perspectivas. Una de éstas es la Planificación Colaborativa que ayuda al intercambio de información entre las diferentes etapas de la C/RS.

De forma general, los nuevos paradigmas de Gestión de la Cadena de Suministro y Logística, por un lado, modifican las alternativas de gestión de la producción. El desequilibrio en el Suministro, Producción, Distribución y Demanda desde el punto de vista de la logística, produce costes mayores, altera las condiciones del espacio y reduce la competitividad. De esta manera, la Gestión de la Cadena/Red de Suministro aparece para poder contrarrestar los efectos negativos del entorno que rodea nueva economía.

Stadler (2000) observa que la Planificación Colaborativa en una Cadena/Red de Suministro se interesa por establecer diferentes Procesos de Planificación y establece los distintos cambios de información para mejorar los diferentes tipos de planificación en los diferentes Niveles Jerárquicos. La Planificación Colaborativa se aplica a las distintas etapas de la Cadena/Red de Suministro teniendo en cuenta que en cada una de estas etapas los Procesos de Planificación interactúan con cada etapa que conforma la Cadena de Suministro.

El objetivo de Stadler (2005) es analizar y discutir los diferentes métodos de Planificación Colaborativa en la Cadena/Red de Suministro generados hasta el momento. En este apartado de la tesis se analiza, como paso previo, la Planificación Colaborativa de la C/RS en las etapas de Proveedor, Fabricación y Distribución.

### **2.2.2. Planificación Colaborativa en la Cadena/Red de Suministro**

El concepto de planificación colaborativa se puede aplicar tanto al proceso de planificación que se extiende hacia los clientes como el proceso de planificación a los proveedores.

El termino Dominio de Planificación Local indica el ámbito de planificación que corresponde a una única organización dentro de la cadena. El proceso de planificación colaborativa pretende extender la planificación entre múltiples dominios de planificación. La idea es conectar el dominio de planificación de cada una de las

organizaciones para intercambiar la información relevante para el proceso de planificación global. De esta forma los datos necesarios para la planificación se actualizan ágilmente pudiendo obtener resultados más precisos. La Fig. 2.2, muestra la conexión a través de la colaboración entre los dominios de planificación.

Para Stadtler (2002), el concepto de planificación colaborativa, se basa en identificar distintos dominios de planificación locales como partes de una Cadena/Red de Suministro y en establecer intercambios de datos entre los distintos dominios con el fin de mejorar las planificaciones locales.



**Figura 2.2.- Concepto de Planificación Colaborativa (Stadtler, 2002)**

Las colaboraciones se distinguen por los tipos de objetos que se intercambian entre los distintos dominios para establecer planes colaborativos. Es común aplicar la planificación colaborativa a los procesos de planificación que interactúan con clientes o proveedores.

La planificación Colaborativa requiere una colaboración con la intención de establecer una relación a medio plazo que permita unas actividades de planificación e intercambio de la información proporcionada por los socios que cree un valor adicional. Es decir, la colaboración no es una relación puntual, el objetivo es establecer un marco de trabajo común.

### **2.2.3. Tipos de Colaboración (Stadler, 2008)**

#### **2.2.3.1. Materiales y Servicios**

Dependiendo del tipo de Colaboración, la información que se intercambia entre los distintos agentes de la Cadena/Red de Suministro hace referencia bien a productos tangibles o bien a servicios.

Normalmente la Colaboración en temas de demanda e inventarios trata información sobre materiales, mientras que por ejemplo la colaboración en capacidad de producción trata de un servicio.

Tradicionalmente la disponibilidad de materiales y servicios se ha tratado manualmente, pero con las herramientas de planificación avanzada es más sencillo asegurar la sincronización de materiales y servicios necesaria para satisfacer la demanda en muchos casos.

Actualmente la compra de material informático (hardware y software) en las empresas es muy usual, donde es necesario sincronizar tanto el software como hardware para el manejo de materiales y servicios a lo largo de la Cadena/Red de Suministro, teniendo en cuenta que la salida y entrega de un material o un servicio es controlada por estas nuevas tecnologías.

#### **2.2.3.2. Colaboración en Demanda**

La Previsión de la Demanda está basada en el consenso y se utiliza tanto a nivel de intra-organización como inter-organización. Para estimar la Previsión de la Demanda normalmente se tienen en cuenta el personal de ventas, el personal de logística y el personal de marketing, estableciendo encuentros, que permiten reproducir el proceso de forma cíclica. Asimismo, definiendo un nivel de agregación común, esta forma de trabajo se puede expandir a una Previsión de la Demanda Colaborativa, uniendo los procesos de distintos dominios de planificación. Cuando existe Colaboración en la Previsión de la Demanda, la demanda de un socio se trata de forma preferente, asegurando siempre el servicio a los socios de la colaboración.

#### **2.2.3.3. Colaboración en aprovisionamiento**

Tiene la misma finalidad que la Colaboración de Demanda, pero esta interactúa con proveedores en vez de con clientes. Los requerimientos de material se ponen en común para ajustar así los planes maestros.

#### **2.2.3.4. Colaboración en Inventario**

El Inventario Gestionado por el Vendedor (VMI) es un ejemplo de colaboración en inventario, en la que para que el proveedor pueda gestionar el stock en la sede de su cliente ha de tener acceso a los niveles de stock de su cliente así como a las previsiones de la demanda de este en lo que respecta a los productos en los que colaboran.

#### **2.2.3.5. Colaboración en Capacidad**

En determinados casos la Colaboración se puede dar al intercambiar información relativa a la capacidad en vez de a los productos concretos. En este tipo de Colaboración el consumidor suele estar interesado en conocer la máxima capacidad que le puede suministrar su proveedor, mientras que al proveedor le interesa asegurar un mínimo de capacidad contratada.

#### **2.2.3.6. Colaboración en Transporte**

La Colaboración en este aspecto consiste en la preparación de rutas de reparto conjuntamente con un Proveedor de Servicios de Transporte en la que el Consumidor envía al Proveedor sus requerimientos y este ajusta las rutas y rechaza los servicios que no puede realizar enviando de vuelta la Planificación al Consumidor para que sea aceptada o rechazada. Una vez aceptada la Planificación el Pedido al Proveedor queda confirmado.

#### **2.2.3.7. Relaciones**

Lo visto hasta ahora hace referencia a colaboraciones entre pares de Clientes y Proveedores. Si lo vemos desde el punto de vista de una Cadena de Suministro, se observa que una modificación hecha en la Previsión de la Demanda entre dos agentes cualesquiera, afecta al resto de agentes y ha de propagarse. Si la Colaboración se realiza por pares de agentes la propagación puede resultar lenta.

Con el fin de acelerar la propagación de la información dentro de la Cadena de Suministro, se puede establecer una colaboración múltiple en la que todos los agentes tengan visibilidad de toda la Cadena al mismo tiempo. Para llevar a cabo este tipo de Colaboración es necesario que exista un líder reconocido dentro de la Cadena de Suministro que sea capaz de conducir la colaboración en los Procesos de Planificación así como de definir reglas y estándares. Por ejemplo (ver Fig. 2.3) en la industria del automóvil este rol lo suele asumir la empresa fabricante de vehículos.

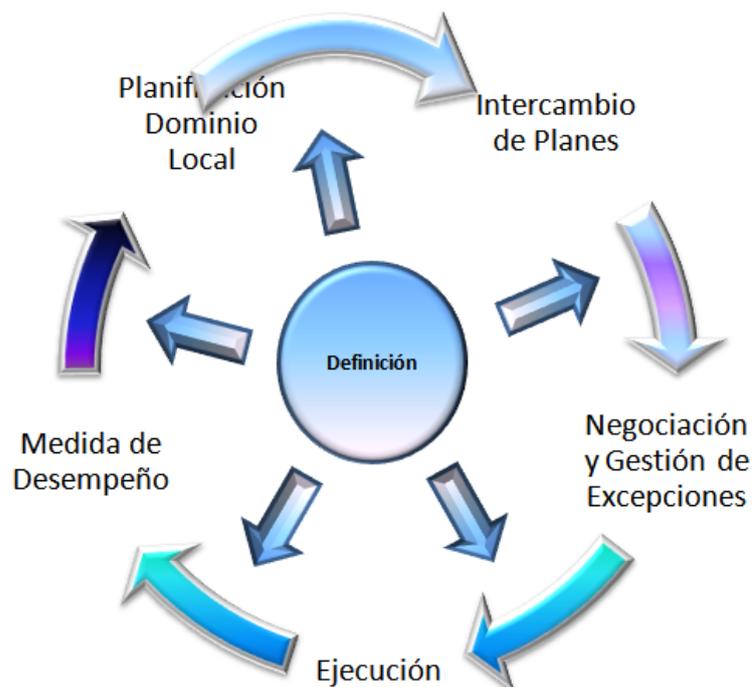


Figura 2.3.- Planificación Colaborativa Múltiple (Satdtler; 2008)

#### 2.2.4. Proceso de Colaboración Genérico

Un típico proceso de colaboración está dividido en las fases siguientes:

- a) Definición
- b) Planificación Dominio Local
- c) Intercambio de Planes
- d) Negociación y Gestión de Excepciones
- e) Ejecución
- f) Medida del Desempeño



**Figura 2.4.- Fases Proceso Planificación Colaborativa (Satdtler; 2008)**

- a) **Definición:** Define formalmente la manera de trabajar conjuntamente para conseguir una meta común. En la definición de una Colaboración se han de considerar los puntos siguientes: Qué aporta y qué recibe cada socio, los artículos (productos o servicios) en los que se colabora incluyendo los horizontes de planificación (corto, medio y largo plazo), el horizonte temporal de la colaboración y un mecanismo acordado que permita resolver posibles conflictos.

Tras la definición de la Colaboración, el marco operacional queda establecido.

- b) **Planificación Dominio Local:** Constituye la base para la comunicación entre los socios de la Colaboración. En el Proceso de Planificación Local se tiene en cuenta una situación de planificación local con una función objetivo individual, información interna detallada, know-how acerca de las restricciones del proceso y presunciones sobre el entorno, en particular sobre clientes y proveedores. Estas presunciones son inciertas, pudiendo asignarles distintos valores, y dando lugar en cada caso a planes distintos, aún con la misma función objetivo. Los planes realizados a partir de distintas consideraciones de entorno es conveniente conservarlos ya que pueden permitir reaccionar más rápidamente ante cambios en el entorno de la organización.

- c) Intercambio de Planes: En este proceso los socios de la colaboración intentan mejorar la calidad y fiabilidad de sus planes intercambiando información. La información que es necesario intercambiar puede residir tanto en los ERPs como en los Sistemas de Planificación Avanzada (APSs) locales.
- d) Negociación y Gestión de Excepciones: Al poner en común los planes locales, los socios de la Colaboración tienen una visión más global que les permite evaluar las posibilidades de alcanzar los objetivos predefinidos. En caso de que se detecte alguna desviación no prevista se deberá actuar para corregirla aunando los esfuerzos del grupo en conseguir los objetivos comunes.
- e) Ejecución: Un plan ajustado lleva a órdenes de Aprovisionamiento, Producción y Compras que permiten alcanzar los objetivos previstos.
- f) Medida del Desempeño: Después de la ejecución se han de medir los efectos de llevar a cabo la Planificación Global. Los resultados son más fácilmente aceptados si todos los socios ganan, pero si por el bien de la Cadena de Suministro algunos socios se sacrifican y salen perdiendo, debería existir un mecanismo de compensación. La desviación de la Planificación Global con respecto a la local para cada socio podría usarse como una medida.

### **2.2.5. Software de Apoyo**

Los Procesos de Planificación Colaborativa requieren de un software de apoyo que permita acceder a la información compartida de forma segura, además la integración con los sistemas locales también debería darse para asegurar la integridad de los datos compartidos. A continuación se especifica para cada etapa del proceso de Colaboración las herramientas software que se suelen utilizar:

- a) Definición: Los resultados de un proceso de definición no suele estar previsto que se almacenen en un APS, pero se pueden personalizar los Sistemas de Planificación Avanzada para contener esta información.
- b) Planificación Dominio Local: Para confeccionar los planes individuales se suelen utilizar APSs locales, donde se almacenan las distintas versiones de los planes locales.
- c) Intercambio de Planes: Para intercambiar información es importante utilizar formatos de datos comunes que permitan la interpretación de la información intercambiada a todos los socios. Se suelen utilizar formatos XML, ficheros planos, Excel, EDI, etc.
- d) Negociación y Gestión de Excepciones: Para soportar este proceso, es necesario poder identificar posibles problemas en la planificación para actuar lo antes

posible. Existen APSs en el mercado que contienen reglas predefinidas o tienen interfaces de programación de reglas que permiten hacer un seguimiento de posibles desviaciones.

- e) Ejecución: La ejecución del plan, es decir, el lanzamiento de órdenes se realiza a través de los distintos ERPs.
- f) Medida del Desempeño: Para medir la calidad de la consecución de un plan o de una serie de planes, se utilizan herramientas de reporting que permiten definir y extraer los indicadores (KPI: Key Performance Indicators) acordados entre los socios de la colaboración.

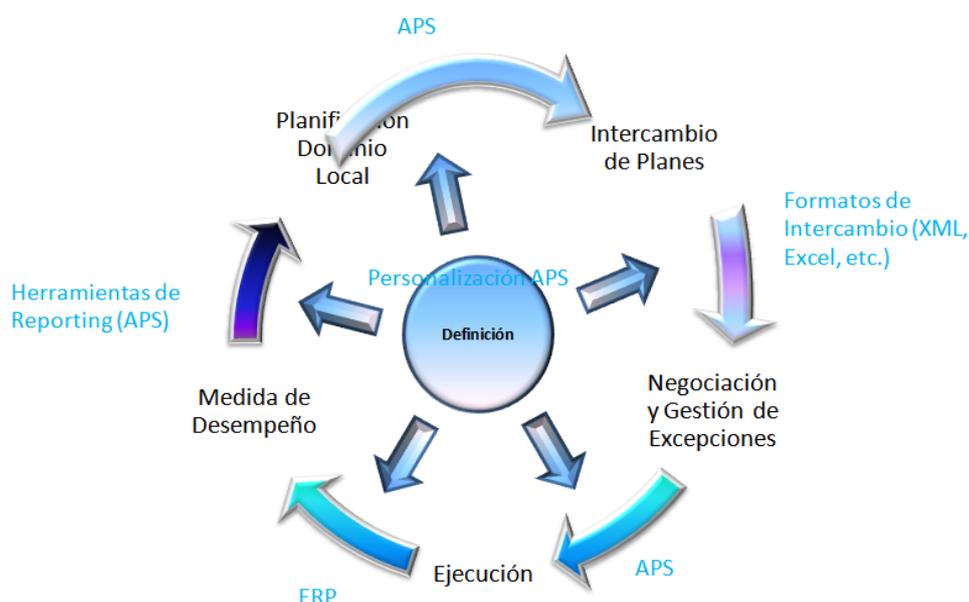


Figura 2.5.- Software de Apoyo Planificación Colaborativa (Satdtler; 2008)

### 2.2.6. Otras Aportaciones en la Planificación Colaborativa en la C/RS

El interés en la colaboración no es tan “reciente” después de todo. Dicho concepto surgió a comienzos del siglo XX. En 1910, Henry Ford comprendió la importancia de la integración vertical con relación al control de los componentes de los procesos de producción y distribución de sus automóviles (Batchelor, 1994). Más avanzado el siglo, la integración vertical se convirtió en una estrategia popular para la creación de ventajas competitivas en el marco de la fusión de varias empresas en una única Cadena/Red de Suministro (Megaempresas), a cargo de las funciones de Compras y Distribución integral.

La Colaboración en la C/RS a pesar de su simplicidad, no está tan bien definida en sus conceptos como se podría esperar. Para algunos la Colaboración en la Cadena/Red de Suministro va tan solo a Reservas de Stock; para otros esta es una completa filosofía a

la hora de controlar el Reaprovisionamiento de Stock con sus Costes de Producción, a través de grados múltiples los cuales tienen respectivos sistemas de Cadena de Suministro (Stadler, 2002).

La Planificación Colaborativa ayuda a las empresas a realizar actividades de intercambio de información y procesos logísticos en colaboración con los propios agentes planificadores de cada etapa de la cadena.

La información importante facilitada por los Decisores debe tenerse en cuenta para sincronizar la planificación en toda la cadena y nivelar la información usada con el fin de generar planes optimizados basados en datos obtenidos de la Cadena/Red de Suministro.

Entre los diferentes Procesos de Negocio que se podrían considerar en los problemas de tipo Coordinación (Diseño, Marketing, Coste, etc.), se va a considerar sólo el correspondiente a la Planificación Colaborativa. Como se verá con más detalle a lo largo de este apartado.

Los Procesos de Planificación Colaborativa se pueden aplicar a los procesos de planificación que interactúan con los Clientes (por ejemplo Planificación de Ventas) y aquellos que actúan con los Proveedores (por ejemplo Planificación de Aprovisionamiento). Además, las colaboraciones se pueden distinguir por los objetos que se intercambian y planifican colaborativamente, como la Capacidad de Suministro de los Proveedores o la Demanda de Productos de los Clientes. (Stadler; 2005)

La integración horizontal, por su parte, ofreció ventajas similares, ya que a través de ella, las empresas de un mismo sector industrial lograron acceso preferencial a servicios críticos. Las estrategias emergentes de ambas clases de integración (vertical y horizontal) se conocen habitualmente como “Estrategias de Colaboración Controlada”, ya que dicha Colaboración Interempresarial se concreta a través de la adquisición de los capitales de diversos integrantes de la Cadena de Suministro (Rey, 2001).

Dudek et al. (2005), proponen que la planificación de las operaciones en la Cadena de Suministro puede organizarse en términos de sistemas de Planificación Jerárquicos. Sin embargo, el enfoque jerárquico asume una única tarea de planificación centralizada que coordina las operaciones a través de la Cadena de Suministro. Cuando esa Coordinación Central sólo pueda realizarse para partes aisladas en una Cadena de Suministro, aparece la pregunta de si hay formas alternativas de coordinación.

Estos autores proponen un esquema no jerárquico, basado en negociación, que puede ser usado para sincronizar proyectos entre dos socios independientes de la Cadena de Suministro unidos por el flujo de materiales. Y ellos asumen que la Planificación Colaborativa se realiza basándose en modelos de programación matemática que

muestran cómo versiones modificadas de estos modelos pueden ser utilizados para evaluar órdenes de materiales o provisiones propuestas para que cualquier socio de la Cadena de Suministro pueda generar contrapropuestas. El resultado es un proceso iterativo, de negociación y de mejora del plan general. Las pruebas computacionales sugieren que el esquema venga acompañado de resultados óptimos como los que se obtienen en la Coordinación Central de esta investigación.

Danese et al. (2004), dicen que la teoría de Coordinación en Red proporciona una base teórica para explicar cómo las compañías pueden ampliar sus límites organizativos y restricciones para mejorar conjuntamente los procesos operativos a través de Redes de Suministro. En particular, estos autores se centran en el Reaprovisionamiento, Previsión y Planificación Colaborativa (CPFR). Es un proceso de colaboración por lo cual los socios empresariales de la Cadena de Suministro activan mecanismos de coordinación para planificar conjuntamente actividades claves de Cadena de Suministro, de gestión, de aprovisionamiento de materias primas de producción, y de entrega de productos finales para el consumidor final. Se discuten tres casos de implantación del CPFR en las Redes de Suministro: en el sector Farmacéutico, del Automóvil y el Mecánico. Esta investigación proporciona un marco teórico que contribuye a la explicación de relaciones entre mecanismos de coordinación Interempresas y sus características de interdependencia entre los actores envueltos en esta implantación del CPFR.

Según Holweg y Matthias (2005), la Colaboración en la Cadena de Suministro ha sido extensamente discutida, y tiene una gran riqueza de conceptos a mano. Los proyectos a gran escala como el de Respuesta Eficiente al Consumidor (ECR), en el sector de bienes de consumo rápido, el de Inventario Gestionado por el Vendedor (VMI) y el de Reaprovisionamiento, Previsión y Planificación Colaborativa (CPFR), son iniciativas que generalmente proporcionan una serie de estrategias de Colaboración entre socios de la Cadena de Suministro. La eficacia de la Colaboración en la Cadena de Suministro se basa en dos factores: el nivel en el cual se integran las operaciones internas y externas, y el nivel en el cual los esfuerzos se alinean a los ajustes de la Cadena de Suministro en términos de localización geográfica, modelos de demanda y características del producto.

Akkermans et al. (2004), describen un caso de Colaboración en una Cadena de Suministro en el Sector Electrónico, que cuenta con alta tecnología y con múltiples compañías que son independientes entre sí. El Proceso de Negocio se llama Planificación Colaborativa: los representantes de compañías toman decisiones conjuntamente en cuanto a producción y embarque para una gran parte de la Cadena de Suministro. Se presta particularmente atención a la interacción entre niveles donde la confianza entre socios y la transparencia de información y mejoras, resultan de la

interpretación que dan agentes externos de la Cadena de Suministro. Es muy importante y necesario un gran esfuerzo en el desarrollo del Work Flow para el soporte del Proceso de Planificación Conjunto; el comienzo de un ciclo de mejora constante en todos los aspectos de Colaboración de la Cadena de Suministro.

La Innovación Colaborativa y los proyectos de desarrollo de un producto pueden considerarse como un nuevo desafío en la Gestión de la Innovación, que en parte se refleja por la demanda que actualmente tienen herramientas de Planificación Estratégicas que sirven para este objetivo. Hacklin et al. (2006), plantean un software que proporciona soporte a decisiones operacionales, teniendo en cuenta los diferentes factores de esta área, para el éxito en su Planificación Colaborativa. Y ven de gran importancia la experiencia en la planificación, para poder hallar los mejores socios en la R/CS.

Verheij et al. (2006), investigan sobre el desarrollo de nuevos métodos para una plataforma de soporte para la planificación de procesos, llamada Construcción de Ingeniería y Arquitectura (AEC). Con este enfoque es posible generar sistemáticamente la planificación de procesos para proyectos, conservando y determinando la lógica y la inteligencia en estrategias de Planificación Colaborativa. La metodología subyacente trata de la planificación de un posible proyecto, como una ejecución, de una serie de diálogos estructurados entre socios de este. En esta investigación, la selección anticipada de una sociedad diseñada y construida, se utiliza como un ejemplo de implantación, la cual trata de una metodología que muestra como la definición del workflow se difunde y desarrolla por el prototipo de plataforma del Proyecto de Investigación de European e-HUBs.

Alemaný et al. (2009), dicen que la Planificación Colaborativa (PC) en un contexto de Cadena de Suministro (CS) presenta una alta complejidad, lo cual hace necesario su análisis de forma estructurada. Buscan la coordinación de flujos de información entre los miembros implicados en la CS, mediante la formulación de modelos de programación matemática de ayuda a la toma de decisiones, para obtener su óptimo y lograr una solución satisfactoria. Describen un caso de estudio en el que realizan un análisis del proceso actual (AS-IS) de la PC para una CS del Sector Cerámico español. Dan a conocer la descripción estructurada de la PC para caracterizar y definir aquellos elementos importantes para la toma de decisiones en la CS. Obtienen así la caracterización del proceso de PC para una CS del Sector Cerámico español y la identificación de aquellos aspectos importantes para la toma de decisiones del decisor de la CS.

---

### 2.2.7. Resumen

De lo recopilado en este apartado, un aspecto de gran importancia es la necesidad del desarrollo de una metodología que ayude a establecer colaboración en los tipos de Cadena/Red de Suministro ya sean Coordinadas, Cooperativas y Competitivas, y que también permita colaboración en los diferentes niveles jerárquicos de cada etapa de estas.

En esta bibliografía al tratar el problema de Planificación Colaborativa, se consideran dos etapas de la Cadena/Red de Suministro ya sea Proveedor/Planta o Planta/Distribuidor, y los temas menos abordados en la Planificación Colaborativa son donde se hablan de varias etapas o multietapas de Cadena/Red de Suministro.

Este apartado es de gran importancia para los Capítulos 3 y 4 que será de gran ayuda para mejorar la colaboración entre las etapas de la CS y sus niveles jerárquicos. La mayoría de autores estudiados se enfocan más en las Cadenas/Redes de Suministro Centralizadas.

Del análisis del actual Estado del Arte se deduce que el Contexto de Incertidumbre ha sido el menos investigado. Por tal razón en los siguientes apartados se hablará más de estos temas, los cuales han ido ganando más relevancia en problemas de incertidumbre de la C/RS.

### 2.2.8. Referencias

- Akkermans, Henk, Paul Bogerd, y Jan van Doremalen., (2004). Travail, transparency and trust: A case study of computer-supported collaborative supply chain planning in high-tech electronics. *European Journal of Operational Research* 153.2, pp. 445-456.
- Alemany, MME., Alarcón, F., Lario, F.C. y Boj, J.J., (2009). Caracterización del Procesos de planificación colaborativo de una cadena de suministro del sector cerámico. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Barcelona.
- Batchelor, Ray, (1994). *Henry Ford: Mass Production, Modernism, and Design* . New York : Manchester University Press/St. Martin's, 1994. Brief, informative biography of Ford, with an emphasis on his automobile design features and production.
- Danese, Pamela, Pietro Romano, y Andrea Vinelli, (2004). "Managing business processes across supply networks: the role of coordination mechanisms." *Journal of Purchasing and Supply Management*
- Dudek, G. y Stadtler, H., (2005). Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. *European Journal of Operational Research* 163.3: 668-87.
- Fiske, A.P., (1990). Relativity within Moose ("Mossi") culture: four incommensurable models for social relationships, *Ethos* 18 (1990), pp. 180–204.
- Grosz, Barbara J. y Luke Hunsberger, (2006). The dynamics of intention in collaborative activity. *Cognitive Systems Research* 7.2-3: 259-72.
- Fredrik, H. Marxt, C. y Fahrni, F., (2006). Strategic venture partner selection for collaborative innovation in production systems: A decision support system-based approach. *International Journal of Production Economics* 104.1 (2006): 100-12.
- Holweg, Matthias, et al., (2005). Supply Chain Collaboration:: Making Sense of the Strategy Continuum. *European Management Journal* 23.2: 170-81.
- Lejeune, Miguel A. y Nevena Yakova, (2005). On characterizing the 4 C's in supply chain management. *Journal of Operations Management* 23.1: 81-100.
- Rey, M., (2001). Supply Chain Collaboration. 40-42. *Transport & Logistics, Business Briefing: Global Purchasing and Supply Chain Networks*.
- Sheppard y Sherman, (1998). The grammars of trust: a model general implications, *Academy of Management Review* 23 (1998) (3), pp. 422–437.
- Stadler, H. ; Kilger, C. (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning, Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer, Berlin.

Stadler, H. ; Kilger, C. (2002). Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer.

Stadler, H. (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning-Basics, overview and Challenges, European Journal of Operational Research, 163: 575-588.

Stadler, H. y Kilger, C., (2008). Supply Chain Management an overview in Supply Chain Management and Advanced Planning (Stadler, H., Kilger, C. Editors) Springer-Verlag.

Verheij, Hans y Godfried Augenbroe, (2006). Collaborative planning of AEC projects and partnerships. Automation in Construction 15.4 (2006): 428-37.

### **2.3. Visión Jerárquica en la Vista Decisional de la Planificación de la Cadena/Red de Suministro**

El objetivo de la Visión Decisional es mostrar el proceso de Toma de Decisiones en las distintas etapas de la Cadena/Red de Suministro (C/RS), desde el punto de vista de una estructura Descentralizada (distintos grados) vs. Centralizada. Esto es obviamente una simplificación y hay muchos matices que tienen que ver con el tipo C/RS, donde tienen que ver sus diferentes Etapas y Niveles Jerárquicos.

En la C/RS es difícil detectar y transmitir la Información que se encuentra dispersa y fragmentada que va desde el proveedor de materias primas hasta el consumidor final. La realidad nos muestra que no hay C/RS que pueda disponer de toda la información necesaria para mejorarla.

La Planificación Jerárquica, surge como una opción robusta y potente, para resolver el problema de Gestión de la Cadena/Red de Suministro. La Planificación Jerárquica se basa en una estructura de desagregación-agregación de los productos y de los recursos, con diferentes niveles jerárquicos, en la cual, los niveles jerárquicos más altos presentan los datos más agregados, con horizontes de tiempo más largos y los niveles jerárquicos inferiores son más detallados y con horizontes más cortos. Cada nivel jerárquico está conformado por etapas, por entidades y sus atributos y un problema de toma de decisiones. En esta investigación se trabajará con dos niveles jerárquicos. Los niveles jerárquicos permanecen y se emplean continuamente tanto para revisar las decisiones propias, como las heredadas del nivel superior, generando un ambiente de continua retroalimentación.

En esta Visión Decisional de la Planificación Jerárquica se ha tenido en cuenta tres autores: Schneeweiss (1995, 1998 y 2002), Stadler (2000, 2002, 2005 y 2008) y Burton (1980, 1984, 1988, 1989 y 1995). Lo que se pretende con este apartado es tener una perspectiva de las tres tipologías de clasificación Jerárquica definida por estos tres autores.

Además estos autores coinciden al identificar el Problema de Planificación Colaborativa en la C/RS, identificando así tres niveles jerárquicos (Estratégico, Táctico y Operativo).

#### **2.3.1. Visión Decisional según Schneeweiss, (1995, 1998 y 2002)**

Lo más relevante de Schneeweiss, (1995, 1998 y 2002) se basa en los Sistemas de Toma de Decisiones Distribuidos (TDD) en la Cadena de Suministro.

Muchas aproximaciones de estos sistemas se han desarrollado en diferentes disciplinas. De hecho, en la C/RS se habla de Gestión de la Producción y

Operaciones, Logística, Investigación de Operaciones, Inteligencia Artificial y Economía. El propósito de Schneeweiss, (1995, 1998 y 2002) tiene dos objetivos:

1. Obtener una clasificación de problemas de Toma de Decisiones (TD) ayuda a mejorar la C/RS. Se muestra una tipología en el marco de TD para la C/RS a partir de la TD.
2. Identificar varias disciplinas que se preocupen por las clases particulares de problemas TDD para poder tener una visión decisional de la C/RS.

### 2.3.1.1. Clasificación de sistemas de Toma de Decisiones (TD) para la CS

La clasificación de Sistemas de TD propuesta por Schneeweiss se basa en cómo se organizan las empresas con la Cadena/Red de Suministro. Estas pueden elaborarse de acuerdo con el número de unidades TD (decisores) involucradas, la simetría o asimetría de la información, y el número de decisores que se comunican. En la Fig. 2.6, se muestra la clasificación de los sistema de TD.

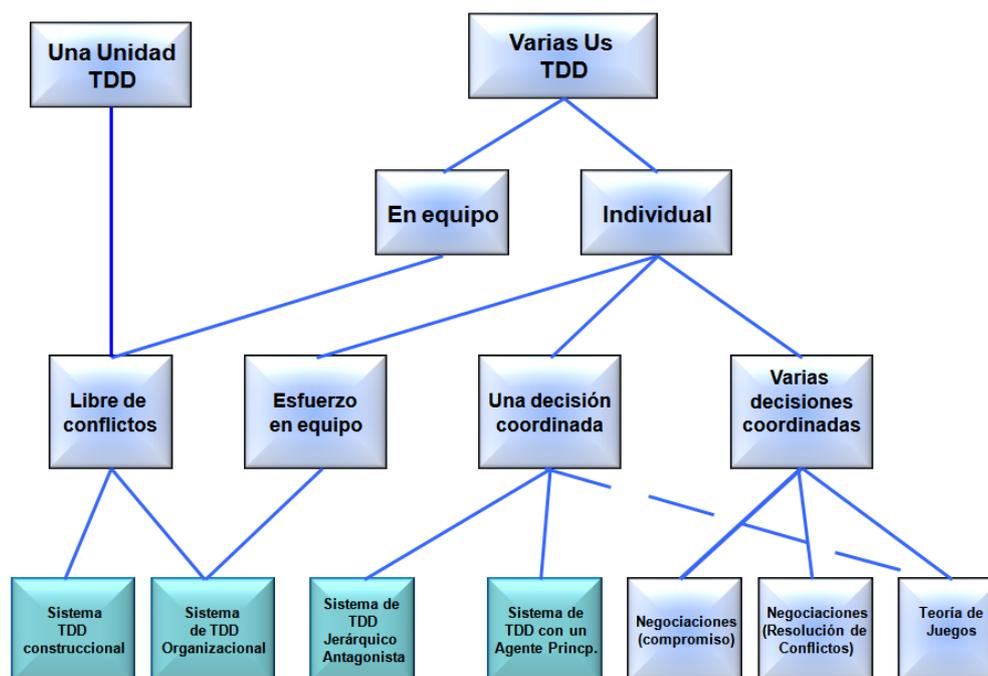


Figura 2.6.- Sistemas de TDD (Schneeweiss, 1998 y 2002).

Los sistemas TDD pueden dividirse en aquellos que están formados por una única unidad TDD y los que tienen más de una unidad TDD.

La versión más simple de los sistemas de TDD, se puede ver de mejor forma en la parte inferior de la Fig. 2.6, la cuales describen sistemas de no más de una o dos Unidades TDD.

- Sistemas de TDD de una única unidad: llevan a situaciones de planificación sin conflicto.
- Sistemas TDD de varias unidades: Se diferencian entre los basados en TD en equipo y TD individuales.
- TD en equipo: se consideran como los formados por un Sistema de TDD de una única unidad y se indican como problemas de TDD sin conflictos.
- TD individuales: estos persiguen metas competitivas propias. Esto es típico para Teoría de Juegos, en particular Oligopolios, para socios coordinados.

Los cuatro sistemas sombreados en un azul más oscuro en la Fig. 2.6, todos de carácter jerárquico, pueden caracterizarse como sigue:

1. Sistemas TDD Construccional. Equipo y simetría de información.
2. Sistemas TDD Organizacionales. Equipo y asimetría de información.
3. Sistemas TDD Coordinativos. Individuales y simetría de información.
4. Sistemas TDD de Agente Principal. Individuales y asimetría de información.

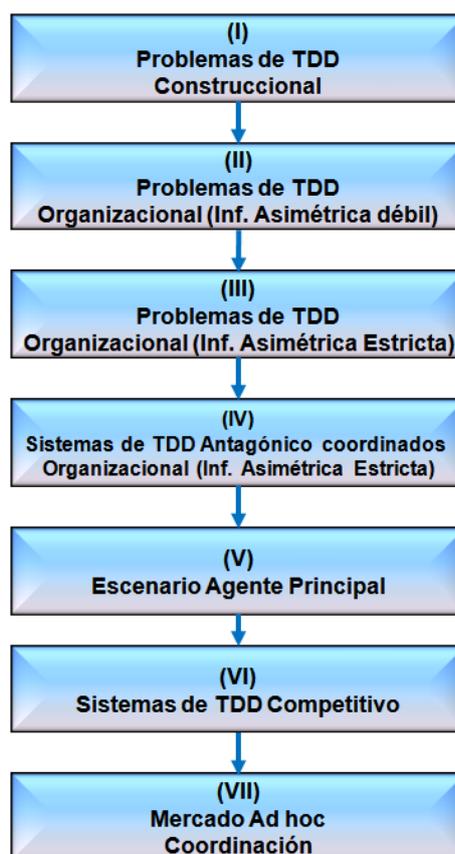
### **2.3.1.2. Naturaleza de los Problemas de las TDD en La Red de Suministro**

Caracterizar la naturaleza de los problemas de TDD en la C/RS permite seguir la idea general de interrelación decreciente de la Cadena/Red de Suministro, empezando por socios con mucha relación y finalizando con unidades de TDD (decisorias) poco relacionadas. La Fig. 2.7, muestra los grados de interrelación dentro de la Cadena de Suministro.

I) Sistemas TDD Construccional: Estos problemas con su carácter de equipo y estado simétrico de la información, son típicos para situaciones de logística clásica. La mayoría de los softwares actuales para la C/RS es de este tipo, es decir, se piensa en una sola empresa con la que en principio es posible intercambiar todos los datos pertinentes. Esto es un problema de decisión complejo que se divide en problemas locales coordinándose de modo centralizado por una unidad principal, que tiene acceso a toda la información.

II) Sistemas TDD Organizacionales (Información asimétrica débil): En estos sistemas se tiene una relación menos firme. Caracterizada por una situación de equipo con poca información, donde esta se muestra cuando el tiempo transcurre, es decir, se tiene el tipo táctico-operacional del sistema. Para diferenciarlo, se tiene una relación a largo plazo con niveles a corto plazo, donde se presenta la incertidumbre en el nivel inferior en el momento que se toma una decisión en este nivel. De nuevo se tiene una

situación de CS que puede describirse en la logística clásica.



**Figura 2.7.- Grados de relación dentro de la Cadena de Suministro (Schneeweiss, 1995, 1998 y 2002)**

III) Sistemas TDD Organizacionales (Información asimétrica estricta): Una Cadena/Red de Suministro de este tipo podría caracterizarse por integrantes que tienen alguna información privada (definiendo un estado de asimetría estricta de información), pero que todavía forman un equipo, es decir, el nivel superior adopta un criterio base y se consigue un canal de coordinación, dependiendo de las restricciones impuestas por el nivel base. Las partes siguen sus propios objetivos autónomos pero se apoyan entre ellos y no se aprovechan de modo oportunista de su información privada. No siendo un problema la distribución de los beneficios totales.

IV) Sistemas TDD Coordinativos: Aquí se consideran los contratos de la Cadena/Red de Suministro entre socios que son informados simétricamente (formando un sistema TDD coordinado) o, en el caso de información asimétrica, no se comportan de modo oportunista. Como el caso de Sistemas TDD Organizacionales (Información asimétrica estricta), este tipo de coordinación parece ser adecuada para la Cadena de Suministro, donde se supone que el engaño no es bueno para una relación a largo plazo. Debería estar claro, sin embargo, que los socios no están interesados en una optimización del canal sino simplemente en la coordinación entre ellos.

V) Sistemas TDD de Agente Principal (PA): Define una coordinación de socios informados de modo asimétrico (no es uniforme), que en principio buscan cooperación pero se comportan de modo oportunista. No optimizan la Cadena de Suministro como un conjunto, sino sus objetivos locales. Esta es una situación típica de los sistemas PA en que la coordinación se consigue dando incentivos basados en contratos realizados para evitar comportamientos poco sinceros. Éste no resulta típico para la Gestión de la Cadena/Red de Suministro, que normalmente busca relaciones a largo plazo y basando sus contratos en una conducta sincera.

VI) Sistemas de TDD Competitivos: no se coordinan a través de contratos explícitos sino que los socios se influyen entre ellos en un mercado de oligopolio. Tal coordinación podría ser tan estricta como un contrato formal. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que un contrato normalmente describe una situación más estable siendo típico en una Cadena/Red de Suministro.

VII) Sistemas de Mercado dispuestos para un fin “Ad Hoc”: En este tipo de coordinación se deben tomar (a corto plazo) las negociaciones y los intercambios en el mercado que no están gobernadas por un conocimiento o un plan de coordinación predefinido. La pregunta podría plantearse si todavía existieran o no socios coordinados de manera espontánea formando una Cadena de Suministro, o si se debe hablar de un intercambio del mercado.

Resumiendo, se podría identificar (I) y (II) como problemas de organización de logística tradicional, mientras (V) – (VII) describen a largo plazo la coordinación en la Cadena de Suministro. Para (V) esto es cierto, un comportamiento *oportunista* no es una buena base para relaciones a largo plazo. Para (VI), una cooperación dentro de la Cadena/Red de Suministro no puede mantenerse sin algún acuerdo formal y para (VII), una relación a largo plazo no puede basarse en una decisión de mercado ad hoc. Sólo en una situación (no ad hoc) en que solo participan algunos socios preseleccionados, el (VII) puede llevar a una sociedad a largo plazo. En este caso, una selección descrita en (VII) podría entenderse como un primer paso para llegar a un contrato descrito en (III), (IV) y (V). De ahí, (III) y (IV) pueden considerarse como próximos a la naturaleza organizacional de problemas de TDD de la Gestión de la Cadena/Red de Suministro.

### **2.3.1.3. Interdependencias entre los Niveles Jerárquicos**

Tradicionalmente las relaciones entre los subsistemas integrantes de una jerarquía se han reducido a interdependencias puras de arriba-abajo. Si bien es cierto que en muchas ocasiones las interdependencias verticales de estos subsistemas no son simétricas, una clasificación realista de estas interdependencias no incluye meramente

relaciones de abajo-arriba. Se pueden distinguir, en la Fig. 2.8, 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. A menudo, un nivel inferior anticipado no es más que un nivel inferior agregado o algunos aspectos particularmente importantes que deben considerarse. 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 (que transmite al nivel inferior base y sobre el cual actúa) al nivel inferior o base. A esta decisión se denomina instrucción. Por ejemplo, el aprovisionamiento con ciertos recursos al nivel inferior. 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 base 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 2.8.- Interdependencias entre los niveles jerárquicos (Schneeweiss, 1995 y 1998)

Debería tenerse en cuenta que los Niveles del Sistema Decisional actúan sobre un Sistema Objeto a través de la Implementación. El resultado da lugar a una Realimentación desde el Sistema Objeto al Sistema Decisional.

En muchos casos habrá más de un ciclo instrucción-reacción con fases de anticipación previas a cada instrucción. Finalmente, el nivel superior e inferior acuerdan una decisión que conlleva una implantación que actúa al denominado sistema objeto.

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 las jerarquías de planificación en función del grado de anticipación existente en ellas. Se puede distinguir principalmente entre anticipación reactiva y anticipación no reactiva.

- **Anticipación Reactiva:** La 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, el nivel superior 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 distribución de probabilidades de la demanda).
  - **Anticipación Reactiva Implícita:** En este caso, sólo se anticipa 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.
- Obviamente, los cuatro tipos de anticipación descritos anteriormente, sólo representan importantes tipos de interdependencia. Se podrían encontrar numerosos ejemplos de anticipaciones intermedias. Además, normalmente, cada tipo consiste en una variedad de subtipos particulares.

### **2.3.2. Visión Decisional según Stadler, (2000, 2002, 2005 y 2008)**

Lo extraído con más relevancia para ver el punto de vista en la Visión Decisional por Stadler (2000, 2002, 2005 y 2008), está basado en la planificación jerárquica de la Cadena/Red de Suministro.

Un sistema de Planificación Jerárquica de la Cadena/Red de Suministro se apoya en los siguientes cinco elementos:

- descomposición y estructura jerárquica
- agregación
- coordinación jerárquica
- construcción de modelos
- resolución de modelos

Un problema global de decisión se descompone en dos o más niveles de decisión. Las decisiones se asignan a cada nivel según una clasificación por nivel de importancia, plazo de decisiones, etc. La separación en distintos niveles se denomina jerarquía.

Como en la descomposición, la agregación se utiliza para reducir la complejidad del problema disminuyendo la incertidumbre. La agregación es posible en tres áreas: tiempo, productos y recursos. La coordinación jerárquica se consigue a través de directrices y feedback.

Una unidad de decisión, puede alimentar a través del feedback a niveles superiores sobre el cumplimiento de los objetivos. Así los niveles superiores pueden revisar sus planes, coordinar sus decisiones y habilitar planes factibles a los niveles inferiores.

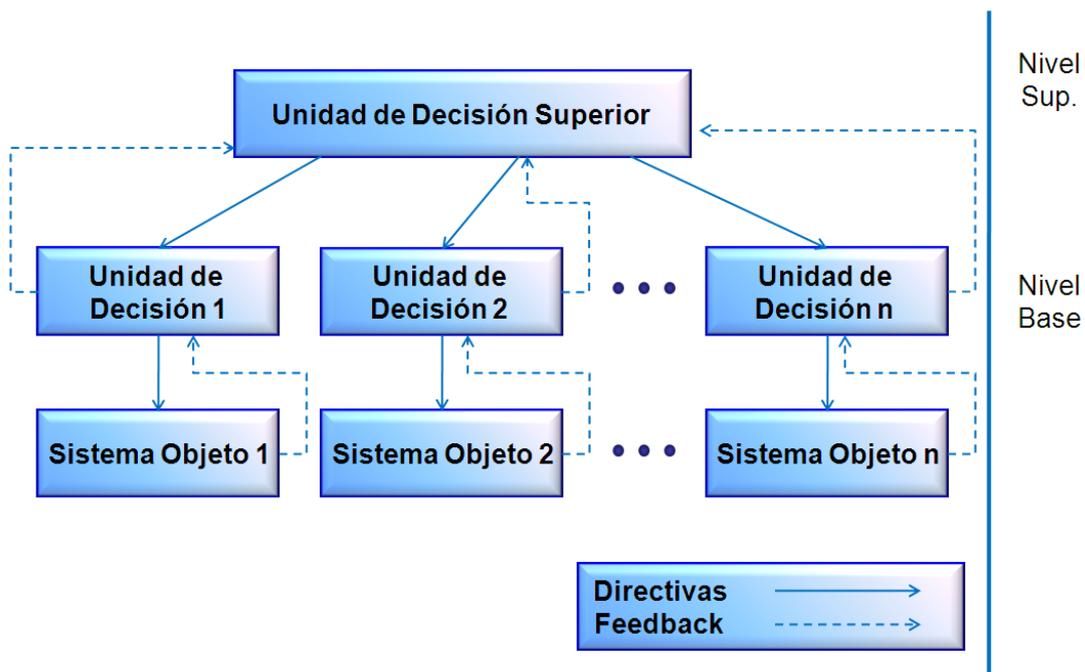


Figura 2.9. - Sistema jerárquico (Stadler, 2008)

### 2.3.3. Visión Decisional según Burton, (1980, 1984, 1988, 1989 y 1995)

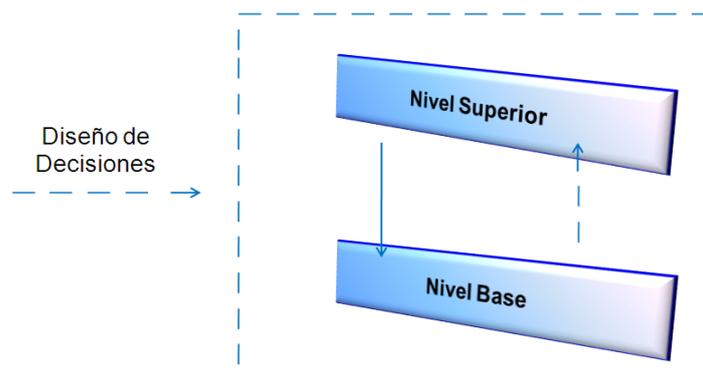
Lo extraído con más relevancia para ver el punto de vista en la Visión Decisional por Burton (1995), está basado en la Negociación Jerárquica de la Cadena de Suministro.

En este apartado se hace más referencia a las Negociaciones Jerárquicas o Decisiones Jerárquicas en Grupo, las cuales a menudo son parte importante de mecanismos de coordinación dentro de problemas de Planificación Jerárquicos. Un punto en común en la literatura que tuvo como apoyo Burton (1989 y 1995), es la de Decisión en Grupo, donde todos los decisores llegan a un acuerdo. Este punto de apoyo de la literatura no es conveniente si los decisores pertenecen a Niveles Jerárquicos diferentes en una organización.

Si sólo se consideran dos Niveles Jerárquicos (superior y base), el nivel superior puede tener el derecho de restringir la libertad de ejecución al nivel base. Una restricción extrema debería anular la ejecución de cualquier decisión. Otra posible amenaza del nivel superior es romper negociaciones y dar estándares obligatorios. Al tener en cuenta diferentes aspectos jerárquicos aumenta la complejidad de los procesos de Decisión de Grupo.

La estructura especial de Negociaciones Jerárquicas se perfila en el estudio de Burton modelando los diferentes niveles dentro de un programa dinámico estocástico. Sobre la base del programa se dice que el nivel superior debería recibir la información de

modo que sea capaz de conducir el proceso de negociación racionalmente. Además, se muestra como puede reducirse la complejidad de negociación.



**Figura 2.10. - Sistema jerárquico (Burton, 1995)**

En general, la Gestión de la Cadena de Suministro representa sistemas muy complejos. Para reducir esta complejidad se intenta trabajar estos sistemas por separado, pudiendo así crear subsistemas más asequibles, que permiten clasificar en muchas situaciones un orden jerárquico. Para la Planificación y las Tareas de Gestión se tienen diferentes prioridades y dependencias parciales. En particular, algunas tareas pueden ocurrir después de que otra haya terminado

Según Burton (1988, 1989 y 1995), llamar a un subsistema dentro de una clasificación de Nivel Jerárquico y limitarlo solo a dos niveles, nos permite identificar el más independiente, como el nivel superior y el más dependiente, como nivel básico. Estos dos niveles, juntos con ciertas reglas de interferencia mutua, constituyen una Estructura Jerárquica que tiene que ser establecida en el diseño inicial de la toma de decisión.

Esta visión de Burton proporciona un método conceptual para el diseño de Estructuras Jerárquicas. En particular, es capaz de clasificar los Sistemas Jerárquicos y revelar las interdependencias entre diferentes campos de aplicación, mostrando diferentes opciones para estructurar influencias jerárquicas mutuas y proporcionar una mejor comprensión en el proceso de diseño. Burton consideró una organización como una interacción de procesos de decisiones individuales; así describiendo las principales propiedades de un proceso, explicando la Interacción Jerárquica de estos procesos de decisión resultantes en un marco conceptual general y por último especifica como sobrellevar la Planificación Jerárquica, el Agente Principal y los Problemas de Negociación.

### **2.3.4. Resumen**

Este Apartado se tiene en cuenta el estudio de tres visiones decisionales ((Stadler, 2000, 2002, 2005 y 2008) (Schneeweiss, 1995, 1998 y 2002), (Burton, 1980, 1984, 1988, 1989 y 1995)), las cuales son de gran importancia para poder llegar a un enfoque propio. Podemos ver que la planificación jerárquica juega un papel muy importante en el desarrollo de este apartado.

De acuerdo con este apartado, los problemas de la gestión de C/RS están ligados a la Planificación Colaborativa, haciendo referencia a los niveles jerárquicos táctico y operativo, pero en algunos casos hacen referencia al estratégico y táctico. En el Capítulo 3.2, se hace referencia al Modelo Decisional y Colaborativo de esta investigación, este tiene en cuenta el nivel táctico y operativo de la cadena. Así mismo vemos que estos dos niveles jerárquicos se encuentran en las etapas a lo largo de la cadena y las cuales son: proveedor, fabricación, distribución y detallista.

Por último se destaca que lo recopilado en este apartado es de gran ayuda para la propuesta de modelado (Capítulo 3) y en la implantación de la metodología propuesta (Capítulo 4).

### 2.3.5. Referencias

Burton, R.M. y Obel, B., (1980). A Computer Simulation Test of the M-form Hypotheses, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 25, No. 3, pp. 457-566.

Burton, R.M. y Obel, B., (1984). *Designing Efficient Organization: Modelling and Experimentation*, Amsterdam, North Holland.

Burton, R.M. y Obel, B., (1988). Opportunism, Incentives, and the M'form Hypothesis: A Laboratory Study. *Journal of Economic Behavior and Organization*. Vol. 10, pp. 99-119.

Burton, R.M. y Obel, B., (1989). Using Historical Information in the Design of a Decentralized Firm's Budgetary Planning system. *Computers and Operations Research*. Vol. 16, No. 2, pp. 129-143.

Burton, R.M. y Obel, B., (1995). *Organization Studies: An Information Processing Perspective*, Saul Gass and Carl Harris, editors, *The Encyclopedia of Operations research and Management Science*, Boston, Kluwer Academic Publishers.

Burton, R. M., (1995). *Design Models for Hierarchical Organizations: Computation, Information, and Decentralization*. Kluwer Academic Publishers.

Schneeweiss, C., (1995). "Hierarchical Structures in Organizations: A Conceptual Framework". *European Journal of Operational Research*, Vol. 86, 4-31.

Schneeweiss, C. (1998). Hierarchical planning in organizations: Elements of a general theory, *International Journal of Production Economics*, Volumes 56-57, Pages 547-556, ISSN 0925-5273, DOI: 10.1016/S0925-5273(96)00109-0.

Schneeweiss, C., (2002). Distributed decision making in supply chain management. *Int. J. Production Economics*. Vol 84, pp. 71-83.

Stadler, H. ; Kilger, C. (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning, Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer, Berlin.

Stadler, H. ; Kilger, C. (2002). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer.

Stadler, H. (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning-Basics, overview and Challenges, *European Journal of Operational Research*, 163: 575-588.

Stadler, H. y Kilger, C., (2008). *Supply Chain Management an overview in Supply Chain Management and Advanced Planning* (Stadler, H., Kilger, C. Editors) Springer-Verlag.

## 2.4. Metodologías de Modelado en la Planificación de la Cadena de Suministro en el contexto de Incertidumbre

La Planificación es una de las actividades más importantes para mejorar la productividad y mejorar la calidad en toda una función organizacional, ya que la mayor parte de los resultados de una Planificación son influyentes en la Toma Decisiones de los gestores y en la evaluación del desempeño de una compañía. En muchos casos, los sistemas de planificación se desarrollan para servir como instrumentos de diagnóstico para identificar las incidencias potenciales en actividades organizacionales (Fildes y Hastings; 1995).

Makridakis y Faucheux, (1996) se enfocan en el desarrollo de un sistema computarizado de planificación causal, que permite pronosticar eficientemente varios índices de rendimiento implicados en la Cadena/Red de Suministro. Estos sistemas abarcan procesos enteros de inputs y outputs de logística en una compañía, desplazándose desde el suministro de material hasta la entrega a los consumidores finales.

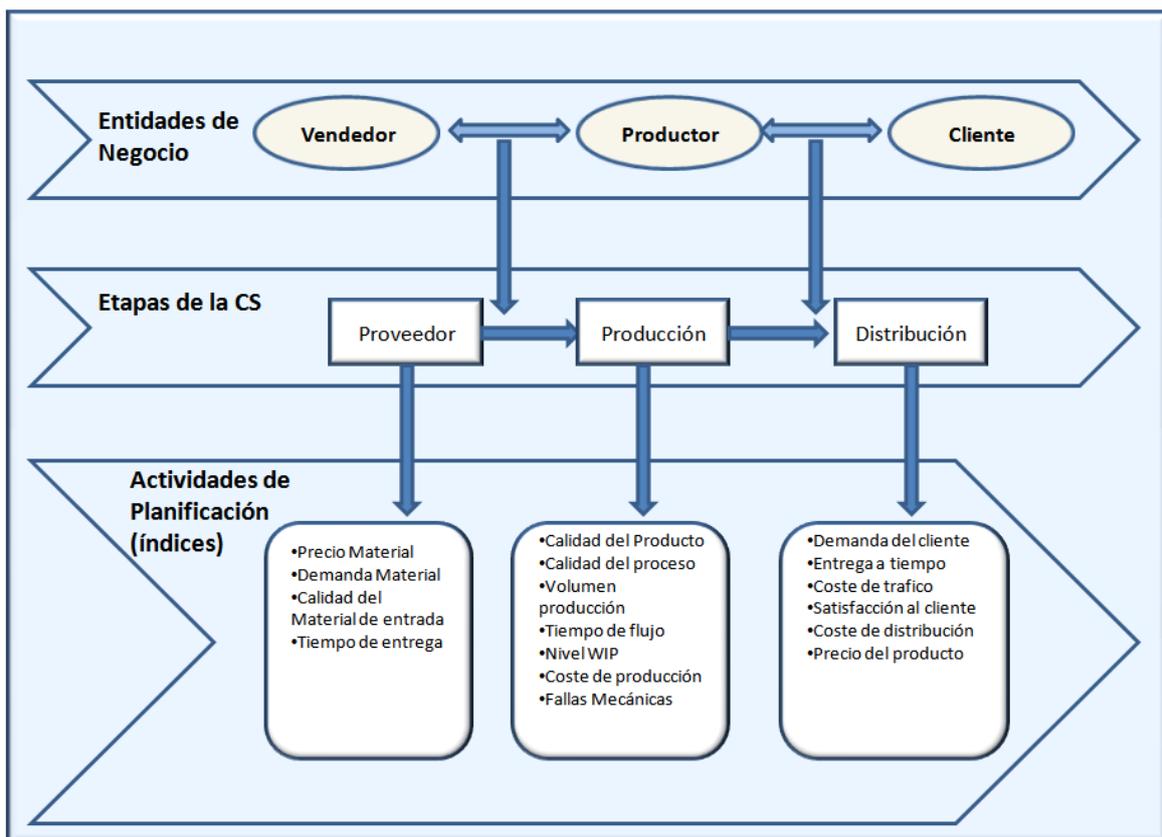


Figura 2.11.- Actividades de Planificación en la Cadena de Suministro (Fuente elaboración Propia)

Según Bongju et al. (2002), la Cadena de Suministro consta de 3 etapas: Proveedor, Producción y Distribución. Estas etapas también implican tres entidades de negocio como se muestra en la Fig. 2.11, Vendedor, Productor, Distribuidor y Cliente, los cuales inician y ejercen esfuerzos en cada correspondiente etapa. Muchos investigadores consideran a los Distribuidores y a los Detallistas como entidades claves del negocio (Beamon; 1998).

Aunque se incluyen muchas actividades y diversas funciones en cada una de las etapas definidas por Bongju, en esta investigación se realiza un enfoque importante de las actividades de Planificación Colaborativa. Reconocer la importancia de la actividad de planificación en una etapa determinará cuán efectiva es la Cadena/Red de Suministro bajo un ambiente externo e interno de Incertidumbre. Las actividades de planificación en una Cadena de Suministro son diferentes unas de otras según sus variables de planificación y las etapas implicadas, como se muestra en el Fig. 2.11.

Numerosas investigaciones tratan de determinar el problema de la Incertidumbre en la Planificación y generalmente emplean métodos estadísticos. Sin embargo, uno de los grandes problemas de la Planificación se centra en la Previsión de la Demanda debido a su incierta influencia de ambientes internos y externos. Recientemente, la Inteligencia Artificial se está aplicando a la Planificación de la Demanda por su funcionamiento prometedor en áreas de incertidumbre, la cual puede ser usada para toda la Red/Cadena de Suministro. En apartados posteriores se darán a conocer la diferentes Metodologías de Inteligencia Artificial en la Cadena/Red de Suministro.

#### **2.4.1. Clasificación de los Modelos para la Planificación Jerárquica en la Cadena/Red de Suministro bajo Incertidumbre.**

Una Cadena/Red de Suministro integra los procesos a los cuales se someten las materias primas y se convierten en productos acabados y se entregan a sus usuarios finales. Estos procesos, incluyendo aprovisionamiento, producción, y distribución, se relacionan uno con el otro y requieren la colaboración entre ellos para lograr una Cadena Integrada. A causa de la globalización comercial y las exigencias del mercado, la Cadena de Suministro debe estar configurada de tal modo que pueda lograr los objetivos propuestos. Por lo tanto, un Diseño apropiado y una Gestión de la Cadena de Suministro correcta son vitales. Además el tener un buen modelo de Cadena de Suministro facilita el diseño y ejecución de otro nuevo. Según Vernadat et al. (1996), hay dos aspectos básicos para modelar una Cadena de Suministro: 1) Gestionar de manera efectiva y 2) los procesos deben estar integrados y coordinados según las necesidades. El modelo debe ser capaz de captar las complejidades de la Cadena de Suministro y facilitar la integración de Cadena de Suministro. En Zhengping L. et al.

(2002), se muestran los principales ítems para el modelado de una Cadena de Suministro:

- Captura de complejidades para el mejor entendimiento y representación uniforme de la Cadena de Suministro.
- Diseño de los procesos de la Gestión de la Cadena de suministros para gestionar la interdependencia de la Cadena de Suministro.
- Establecimiento de la visión de intercambio (Información) entre compañeros de la Cadena Suministro, proporcionando la base para el Internet en la Cadena de Suministro permitiendo coordinación y la integración.
- Buen control del flujo de información para mejorar la dinámica de Cadena de Suministro en fases de diseño.

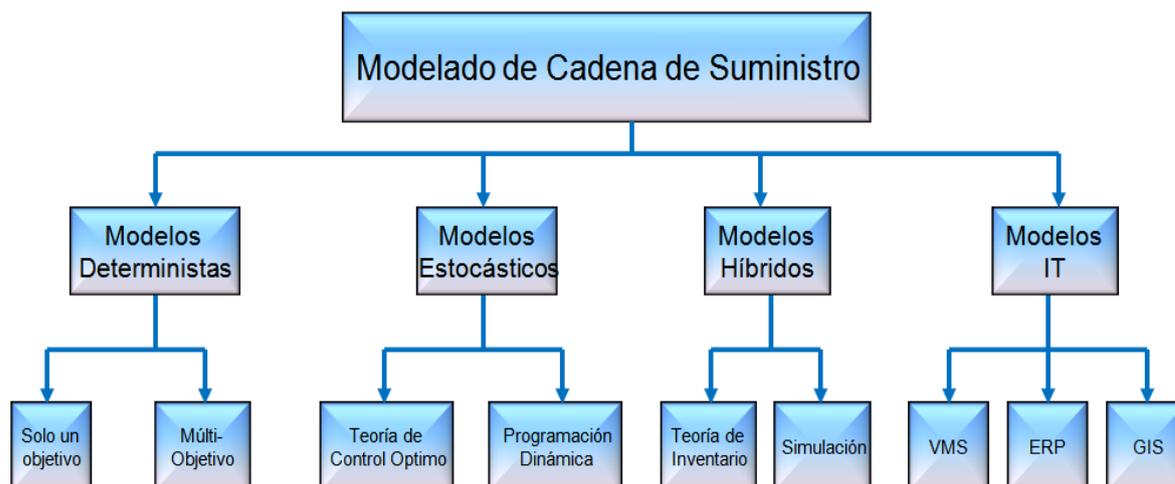
### **2.4.1.1. Clasificación de los métodos de modelado de la Cadena de Suministro**

Se han propuesto un gran número de métodos de modelado de la Cadena de Suministro. Beamon et al. (1999), clasificó un modelo multi-etapa de análisis y diseño de la Cadena Suministro en cuatro categorías de enfoques analíticos y matemáticos. Estas son:

- Modelos analíticos deterministas,
- Modelos analíticos Estocásticos,
- Modelos Económicos, y
- Modelos de Simulación.

Los modelos deterministas asumen que todas las variables se conocen y pueden especificarse con certeza, mientras que los modelos estocásticos tienen al menos una variable que se desconoce y se asume que sigue una distribución de probabilidad particular.

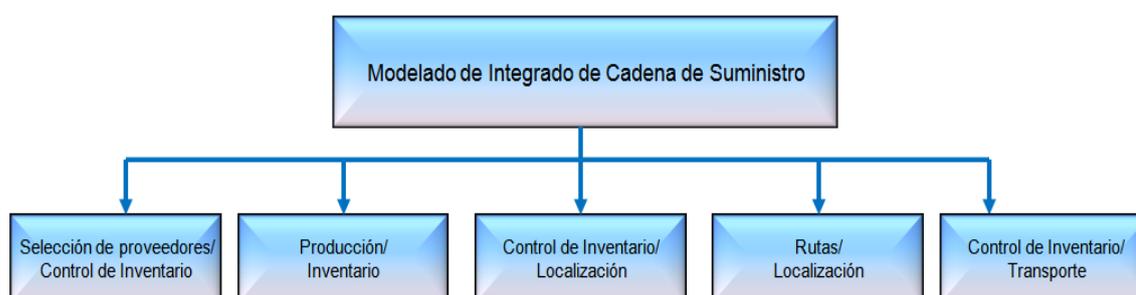
Min & Zhou (2002), añaden dos categorías más al modelado de una Cadena de Suministro: un Modelo Híbrido y los Modelos IT (ver Fig. 2.12). También tienen en cuenta los modelos deterministas y estocásticos con más detalle. Los modelos deterministas están compuestos por uno o varios objetivos y los modelos estocásticos son subclasificados en Teoría de control Óptima y Modelos de Programación Dinámica.



**Figura 2.12.- Modelos de Cadena de Suministro (Min and Zhou; 2002)**

Los Modelos Híbridos comparten características tanto de los modelos deterministas como de los estocásticos. Estos modelos incluyen la teoría del inventario y los modelos de simulación y pueden abordados tanto con parámetros deterministas como estocásticas.

Los Modelos IT reflejan la variedad de muchas aplicaciones informáticas para el modelado de la Cadena de Suministro, ayudando a su rápido desarrollo. Estos modelos apuntan a la integración y la coordinación a lo largo de la Cadena de Suministro, basándose en aplicaciones en tiempo real, entre las que se incluyen una amplitud de diferentes sistemas y módulos, como los Sistemas de Gestión de Almacenamiento (WMS), los de Planificación de Recursos de Empresa (ERP), los Sistemas de Información Geográficos (GIS), los Sistemas de Planificación de la Demanda, Distribución y Sistemas de Transporte.



**Figura 2.13.- Tipos de integración en la Cadena de Suministro (Min & Zhou; 2002)**

Además de las clasificaciones basadas en conceptos matemáticos, Min & Zhou et al., (2002) muestran un modelo de la Cadena de Suministro en cuanto alcance y área de

aplicación del problema (la Fig. 2.13). El alcance del problema del modelo se enfoca a través de la Cadena de Suministro debido a que sólo estos modelos pueden cubrir sus diferentes funciones como por ejemplo localización/enrutamiento, producción/distribución, localización/control de inventario, control de inventario/transporte, y selección de proveedores /control de inventario.

### **2.4.2. Tipos de Modelos en la Gestión de Cadena/Red de Suministro para Planificación de la Cadena de Suministro en Contexto de Incertidumbre.**

Una forma de abordar el contexto con incertidumbre es el problema del Vendedor de periódicos, descrito por Arrow et al. (1951), y Morse y Kimball (1951), que se desarrolla a partir de la compra a un proveedor cualquiera, estando en un entorno de demanda variable. Si el Vendedor no compra suficiente cantidad de producto pierde ventas potenciales que equivalen a ingresos, en cambio si compra demasiada el excedente se pierde o se devalúa en el tiempo. Este modelo permite analizar diferentes formas de compartir riesgos entre los socios de la Cadena de Suministro. Un contrato que meramente pacte un precio de venta del fabricante al mayorista no lleva a un intento de coordinación, en cambio se pueden elaborar diferentes tipos de contrato que induzcan al vendedor a comprar una cantidad que se corresponda con el tamaño de lote global. En este sentido Lariviere et al. (1999), discute como se puede llegar a la coordinación a través de forzar la cantidad de compra, de la posibilidad de devolución al proveedor, y a través de un esquema flexible de cantidades. Cachon et al. (2001), muestra una visión general sobre condiciones contractuales para el problema del vendedor de periódicos así como varias extensiones.

Escudero et al. (1999), dan a conocer una metodología de modelado para la mejora de un problema de planificación en una cadena de fabricación, ensamble y distribución (MED) bajo incertidumbre en la demanda del producto, en el coste de aprovisionamiento de los componentes y en el tiempo de entrega. Este problema lo abordan con un programa lineal multiproducto, multiperiodo y multinivel. Trabajando la incertidumbre y haciendo un análisis de escenarios de dos etapas basadas en un enfoque de cambio parcial de la planificación, donde la política de la cadena MED puede ser implantada para un conjunto inicial de periodos de tiempo, de forma que la solución de los demás periodos no necesite ser anticipada. En cualquier caso, se toma en consideración todos los escenarios. Para reducir las dimensiones del problema se usan expresiones matemáticas de ciertos tipos de variables. Concluyen indicando que el modelo equivalente determinista para el problema estocástico de dos etapas tiene aún tales dimensiones que es no es práctico resolverlo sin usar algún tipo de enfoque de descomposición.

Lee y Whang (1999), analizan una Cadena de Suministro más compleja que se asemeja a un Sistema de Inventario multi-escalón en serie, con demanda final aleatoria. Cada socio compra a su proveedor inmediato y soporta costes de posesión de stock. Los Pedidos se satisfacen cumplido el plazo de entrega o quedan pendientes de servir si no hay stock suficiente. La coordinación en este tipo de sistemas implica, también, compartir riesgos ya que el único socio que tiene un coste debido a la demanda de clientes insatisfecha es el que está al final de la Cadena de Suministro y los demás participantes no tienen ningún incentivo por acarrear con niveles de inventario más altos. Analizan como se puede implementar la política de control óptima desarrollada por Clark y Scarf (1960) desde la perspectiva de un planificador central, a través de un sofisticado esquema de incentivos.

Zha,X.F. (2002), propone un método Multiagente en el marco Cooperativo/Colaborativo basado en un protocolo Inteligencia Artificial (AI) propuesto para facilitar la integración de agentes inteligentes para diseño de ensamble, planificación, evaluación y simulación de procesos.

Para Jeong et al. (2002), el Pronóstico de Actividades se realiza extensamente en diferentes áreas de la Cadena de Suministro, tales como la Gestión del Volumen de Demanda, la Calidad del Producto en Procesos Industriales, el uso de la Capacidad de Gestión en Producción, la Gestión en Costes de Transporte, etcétera. Estos autores presentan un Sistema Computarizado aplicado a las actividades que requieren de pronósticos en la GCS. Para desarrollar el modelo genérico aplicado a las actividades de pronósticos en la GCS, se propone un Modelo Lineal que pronostica y sus coeficientes son determinados eficientemente utilizando algoritmos genéticos (GA), GA canónico y GA dirigido (GGA). Comparando el GA canónico, el GGA adopta una función de ajuste con unos operadores de castigo y utiliza el Índice de Diversidad de Población (PDI) para alcanzar una convergencia prematura del algoritmo. Los resultados obtenidos de los dos casos muestran que el GGA proporciona una mejor certeza en pronóstico y supera el análisis de retroceso y métodos canónicos del GA. Estos autores aplicaron este Sistema Computarizado en actividades de pronóstico en líneas verdaderas de fabricación de vidrio, teniendo un buen resultado.

Gupta et al. (2003), plantea una Cadena de Suministro Multi-etapa con Planificación de Demanda bajo Incertidumbre a mitad de trimestre. Este estudio está basado en un programa estocástico el cual describe como modelar un proceso de Planificación y de cómo este programa reacciona a las Ejecuciones de Demanda que se despliegan con el tiempo. En el marco propuesto, la toma de decisiones se modela como decisiones 'here and now' (aquí-y-ahora), las cuales se hacen antes de la Ejecución de Demanda. Posteriormente, las decisiones de logística se posponen en un modo 'wait and see' (ver y esperar) para optimizar ante la Incertidumbre. Además de esto, este modelo tiene en

cuenta la compensación entre el nivel de satisfacción al cliente y los costes de producción. Este modelo proporciona una herramienta que es eficaz para la evaluación y gestión de activos de empresas (como niveles de inventario y márgenes de beneficio) con incertidumbre en el mercado.

Berning y Guido et al. (2004), consideran un problema de programación compleja en la industria de proceso químico que implica producción por lotes. La aplicación descrita en esta investigación comprende una Red de Plantas de producción con programas de producción interdependientes, producción gradual en instalaciones multiuso, y producción en Cadena. Esta investigación está dirigida con tres aspectos diferentes: una solución de programación obtenida de un algoritmo genético (GA) basado en un optimizador, un mecanismo para la Planificación Colaborativa entre las plantas implicadas y, una herramienta para actualizaciones manuales y cambios de programación.

Chen y Lee (2004) investigan el problema de la distribución justa de beneficios para las diferentes empresas pertenecientes a una Cadena de Suministro abarcando desde las plantas de fabricación hasta el cliente final, incluyendo fábricas, centros de distribución, almacenistas y minoristas o mercados. Implementan un modelo de planificación de la producción-distribución multi-producto, multi-etapa, y multi-periodo para cumplir con los siguientes objetivos: maximización del beneficio de cada participante de la CS, maximización del nivel de servicio al cliente, maximización del nivel de inventario de seguridad y asegurando una distribución justa de los beneficios. Para poder trabajar con multi-objetivos en una Red de Cadena de Suministro multi-etapa con incertidumbre en la demanda de mercado y de precios de productos. La demanda de mercado con incertidumbre se modela en distintos escenarios con probabilidades conocidas, usando conjuntos difusos para describir incompatibilidad en precios de productos de preferencia entre vendedores y compradores. El modelo se formula como un problema multi-objetivo de programación no lineal entera mixta, que resuelven utilizando un enfoque basado en la teoría de conjuntos difusos. Esto para lograr una distribución justa con beneficio, en niveles de inventario de seguridad, en niveles maximización de servicio al cliente y en robustez en las la toma de decisiones de demanda de productos con incertidumbre entre todos los participantes de la cadena. Los niveles de compromiso en precios de productos son de preferencia por los vendedores, teniendo en cuenta las consideraciones de los compradores. La inclusión de medidas de robustez como parte de los objetivos reduce la variabilidad de valores en la demanda del producto con incertidumbre. Se puede lograr un objetivo entre todos los participantes de la Cadena de Suministro con una solución compensadora, con un método de toma de decisiones con conjuntos difusos.

En Jung et al. (2004), la Gestión de la Cadena de Suministro es rentable bajo varios mercados Logísticos y de Producción bajo Incertidumbre; esto es una cuestión crítica para compañías en la industria de proceso químico. La incertidumbre en la Cadena de Suministro normalmente aumenta al notarse una disconformidad con los beneficios (o gastos) de la compañía, aumentando la probabilidad de pocos beneficios. La Incertidumbre de la Demanda, en particular, es un factor importante para considerarse en el diseño de Operaciones y de la Cadena de Suministro. Para contrarrestar la Demanda bajo Incertidumbre, se tienen en cuenta los Niveles de Stock de seguridad que comúnmente se introducen en las diferentes Operaciones de Cadena de Suministro así como en el diseño de Cadena de Suministro. Aunque en la literatura se hace más referencia a los Niveles de Stock de seguridad los cuales están basados en la Teoría de Inventario tradicional, estos autores proporcionan una metodología que ayuda a ver la complejidad en las Cadenas de Suministro de las Industrias de Procesos Químicos. Esto para que no puedan afectar en su diseño, planificación y programación. También proponen el uso de la Planificación Determinista con modelos de programación que incorporen los Niveles de Stock de Seguridad como un medio para contra restar la Incertidumbre en la Demanda. El problema de determinar el Nivel de Stock de Seguridad, es encontrar el nivel deseado de satisfacción al cliente; para encontrar este se usa un enfoque basado en simulación.

Uno de los temas principales de la Gestión de Cadena/Red de Suministro es su integración a lo largo de esta, a fin de mejorar su desarrollo. En sus artículos Van Donk et al. (2005), contribuyen al entendimiento de las condiciones comerciales para determinar prácticas de integración. Desarrollan un marco para investigar a qué nivel y alcance de la integración pueden conseguirse recursos compartidos en una Cadena de Suministro, y si el tipo o cantidad de incertidumbre varía para compradores diferentes. Exploran más adelante el caso de un productor de pigmento y sus cinco compradores principales. En general, vieron que la incertidumbre aumenta y que hay necesidad de más integración, mientras que los recursos compartidos limitan la posibilidad de alcanzar un nivel alto de integración. Los autores muestran claramente en su trabajo que los recursos compartidos posibilitan la integración, también en los diferentes niveles de integración existentes en cada una de las cinco relaciones de comprador-proveedor según cantidad y tipo de la incertidumbre.

Wang y Liang (2005) proponen un modelo que minimiza el coste total impreciso, maximiza la posibilidad de obtener un coste total más bajo y minimizar el riesgo de obtener costo total (usando la distribución de posibilidad triangular) siguiendo el enfoque de Lai y Hwang (1992). Esto a partir de un modelo de Programación Lineal Posibilista (basado en la teoría de la posibilidad) (PLP) interactivo para resolver el problema de Planificación agregada multiproducto con previsión de la demanda

imprecisa, costes de operación y capacidad imprecisos. Todos los objetivos propuestos los unen para tener solo un objetivo y así poder trabajar en éste con un modelo de decisiones difusas y un método de programación difusa de Zimmermann (1978). El enfoque propuesto consigue una eficiente solución de compromiso al problema de Planificación agregada, como una alta satisfacción de las metas determinadas por el decisor. Facilita también el proceso de decisión permitiendo al decisor modificar interactivamente los valores imprecisos y los parámetros relacionados hasta obtener una solución satisfactoria. Comparan su PLP con modelos de programación lineal, programación de objetivos difusos, programación lineal difusa y programación lineal estocástica, y afirman que el enfoque de PLP es el más adecuado para tomar decisiones de Planificación agregada en el mundo real.

Ying Xie et al. (2005), presentan un enfoque Jerárquico, de dos Niveles de Gestión de Inventario y Control de Cadenas de Suministro (CS). Una CS es vista como un Sistema a gran escala que consiste en Producción y Unidades de Inventario, organizadas en una estructura consecutiva. Se supone que las operaciones de CS bajo Incertidumbre en la demanda del cliente, son términos imprecisos y modelados por Conjuntos Difusos. El Control de Inventarios de la toda la CdS se realiza en dos niveles:

Primer Nivel: Es un problema en que la CS está dividido en varios sub-problemas formados por un nivel.

Segundo Nivel: Cada Sub-problema se optimiza independientemente según su objetivo local. A fin de mejorar la interpretación de toda la CS, un nivel líder (primer nivel) que coordina el Control de Inventarios de la CS modificando los sub-problemas de optimización en el segundo nivel. Este proceso es repetido iterativamente hasta que el desempeño de toda la CS pueda mejorar.

En Hua et al. (2006), la Cooperación es un enfoque para mejorar ventajas competitivas en la Cadena de Suministro. Consideran que la Cadena de Suministro consiste de dos Etapas, una de Fabricación y otra de Demanda. En la cual se estudia la Incertidumbre en la Demanda, describiéndose como un coeficiente de variación. Se desarrolla un mecanismo de cooperación entre el Fabricante y la Demanda; considerando dos situaciones en el mercado:

Precio al por mayor y cantidad de órdenes, las cuales son variables de decisión.

Venta al por mayor y precios al detalle, así como la cantidad de órdenes son variables de decisión.

En ambas situaciones de mercado, estos autores muestran que:

- El mecanismo de Cooperación puede mejorar el margen de beneficios del canal, asignando los beneficios a cada miembro de la Cadena de Suministro.

- La Cooperación es un condicional para la Incertidumbre en la Demanda. Donde el Mercado de Venta al Público: puede ser puesto en práctica si, y sólo si, su fluctuación de la Demanda es relativamente pequeña y su coeficiente de variación no excede el superior establecido.
- Los impactos que tiene la Incertidumbre en la Demanda del Mercado de Venta al Público, tienen que ver más con el precio al por mayor, con la cantidad de ordenes y/o precios al detalle. También se tienen en cuenta algunos análisis analíticos y numéricos. Aunque estos autores se basan en que el fabricante domina la Cadena de Suministro en una situación no cooperativa, siendo esto en el caso de las Cadenas de Suministro bajo la Demanda.

Leung y Ng (2007), a partir del estudio que exponen en su publicación de 2007a, modelan y analizan el proceso de planificación de la producción para productos perecederos con programación estocástica y análisis de escenarios. Su modelo de programación estocástica es de dos etapas con un cambio de plan que no permite entregas diferidas así penalizando el plan con coste de escasez (under-fulfillment). Este trabajo cuenta con cuatro escenarios (muy bueno, bueno, medio y pobre) de demanda con sus respectivas probabilidades (tres alternativas de diferentes probabilidades). Los costes unitarios de producción y de inventario dependen del escenario y del producto (pero son datos). Los costes de escasez dependen adicionalmente del período (cuanto más cerca al período de mayor demanda, mayores son). Todos los demás costos y restricciones son como en su artículo de 2007a. Los autores muestran que en todos los casos (diferentes escenarios y distintos costes de escasez) es preferible el plan de producción con aplazamiento al plan de producción sin él, y que el ahorro es mayor cuanto mayor es la demanda y cuanto mayor es el coste de escasez.

Peidro et al. (2007), estudian un problema de planificación táctica centralizada en la cadena de suministro (demanda, proceso y suministro) bajo incertidumbre con un modelo de programación matemática difusa. Así formulando el problema como un programa lineal entero mixto difuso donde los datos son inciertos y son modelados mediante números fuzzy triangulares en el contexto de la teoría de la posibilidad. El modelo fuzzy provee planes de decisión alternativos con diferentes grados de posibilidad. Prueban su modelo usando datos de una cadena de suministro real del automóvil. Esta aplicación usa un horizonte de planificación rodante de 17 semanas (en el que el primer periodo en cada corrida del programa es considerado fijo), un solo producto final (un asiento de automóvil) y sus componentes (dos niveles en la Lista de Materiales), sólo el producto final tiene demanda externa, costo muy elevado de escasez debido a que el nivel de servicio debería ser del 100 %, etc.

Chern y Hsieh (2007) proponen un algoritmo heurístico llamado “multi-objective master planning algorithm” (MOMPA) para resolver problemas de Planificación Maestra (Master Planning) para una red de suministro con múltiples productos terminados. El MOMPA tiene tres objetivos: minimizar los costes de entregas retrasadas, minimizar el uso de capacidad subcontratada y minimizar los costes de materiales, proceso, transporte e inventario; todo respetando las limitaciones de capacidad y los plazos de entrega (demand deadlines) de todos los involucrados en una red de suministro dada. El MOMPA planifica cada demanda, una por una, sin retroceso, y ordena las demandas usando un mecanismo de ordenamiento que es parte del algoritmo. Para cada demanda, determina el árbol (cadena de suministro) de menor coste de producción dentro de los límites de su plazo de entrega. La capacidad máxima disponible de este árbol es luego calculada para el caso “sin retrasos”. Siguiendo este cálculo, se evalúa si tener o no tener retrasos para determinar si es o no es necesario el retraso adicional. El MOMPA compara los resultados de estos dos procedimientos y asigna las capacidades (apropiadas a la demanda) a todos los nodos en el árbol elegido. Si el árbol de mínimo coste de producción no tiene capacidad disponible, el MOMPA ajusta la red y busca un nuevo árbol. En cuanto a la complejidad y análisis computacional, el MOMPA ha demostrado ser muy eficiente en resolver problemas de planificación maestra, generando algunas veces la misma solución que el modelo de programación lineal.

En Mena et al. (2009), se identifica una Metodología de Planificación Colaborativa en contexto de Incertidumbre en la Gestión de la Red/Cadena de Suministro (Mena et al. 2008) así determinando las bases de un Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI); para ello tienen en cuenta qué parámetros del Modelo Matemático Determinista (MMD) de la Red/Cadena de Suministro (R/CS) pueden adquirir el carácter de parámetros con Incertidumbre. La representación del MMI es básicamente igual que la del MMD salvo porque se considera que varios costes y otros parámetros son inciertos. Los autores han considerado, como método más adecuado para afrontar la Incertidumbre, la Programación Matemática con Redes Neuronales Artificiales (ANN) en el contexto de la teoría posibilista. El modelo realizado, utiliza una R/CS inspirada en problemas reales, teniendo en cuenta parámetros similares a los reales. Examinan el desempeño del modelo usando técnicas de solución que permitieron la aplicación del modelo y obtención de resultados.

### 2.4.3. Modelos seleccionados y sus aportaciones

A partir de los diferentes Modelos bajo Incertidumbre (Los temas de Incertidumbre se abarcan en el apartado 2.1.) analizados, se ha elegido los modelos mas relevantes para la planificación táctica de la producción de una empresa cerámica. Sus aportes específicos a este fin son los siguientes:

Lee et al. (2002), proponen incluir en el modelo la falta de recursos y las entregas diferidas, el costo de compra de materias primas, tres niveles en su lista de materiales y la venta de subensambles; además, la expedición a detallistas desde almacén de la fábrica y desde los centros de distribución (CD), todos los tiempos de transporte y capacidades de los almacenes (fábrica, CD y detallistas).

Chen y Lee (2004) en su artículo proponen una Cadena de Suministro que cuenta con fábricas, centros de distribución, almacenistas y minoristas o mercados. Trabajan con un modelo de planificación de la producción-distribución multi-producto, multi-etapa, y multi-periodo. Maximizando los beneficios, nivel de servicios, nivel de inventario. El modelo se formula como un problema multi-objetivo de programación no lineal entera mixta, que resuelven utilizando un enfoque basado en la teoría de conjuntos difusos.

Peidro et al. (2007), tienen en cuenta los nodos con las funciones de producción, almacén, suministro, aprovisionamiento, todas ellas o sólo algunas. Consideran incertidumbre de suministro, proceso y demanda, y modelan los parámetros mediante números *fuzzy* triangulares. Usa un horizonte de planificación rodante. Lo que más vale destacar de este autor es la idea de aplicar incertidumbre a los parámetros deterministas.

Chern y Hsieh (2007) en sus estudios tienen en cuenta y proponen 5 tipos de nodos (proveedores, fabricantes, subcontratistas, distribuidores y detallistas), transportes, límites de capacidad por nodo/ítem/periodo y entregas diferidas.

Mena et al. (2009), comparan un Modelo Matemático Determinista con un Modelo Matemático con Incertidumbre, y así analizan los resultados de diversas estrategias y decisiones. Se formulan ambos modelos para Minimizar los Costes del Plan Agregado de una Red/Cadena de Suministro. El objetivo principal de su investigación es el Modelo Matemático con Incertidumbre, ya que este, trabaja con una metodología de Redes Neuronales Artificiales, la que considera costes y parámetros con Incertidumbre, para la resolución del problema.

### 2.4.4. Resumen

En este apartado se ha dado a conocer un análisis de la extensa literatura sobre Metodologías de Modelado en la Cadena de Suministro/Planificación de la Cadena de Suministro en el contexto de Incertidumbre. Para la clasificación de este trabajo, se han tenido en cuenta diferentes autores, los cuales han contribuido a esta tesis de forma significativa. Así ayudando a la propuesta de modelado del Capítulo 3.

Lo que se refiere a los métodos de modelado está constituido por cuatro categorías: deterministas, estocásticos, económicos y de simulación. A partir de estos modelos se estudiaron diferentes tipos de modelos para la planificación de la CS en el contexto de incertidumbre, así identificando tres tipos principales de incertidumbre que afectan a la CS, y son: en la demanda, fabricación y suministro.

En este apartado, se quiere brindar un método que ayude a los investigadores ha familiarizarse en el ámbito de la planificación bajo incertidumbre. A partir de este análisis, se han identificado campos de investigación que podrían tenerse en cuenta para futuras investigaciones:

- Aplicación de diferentes modelos que aborden los diferentes tipos de incertidumbre en una Cadena de Suministro.
- Nuevas metodologías de modelado para la incertidumbre. En esta tesis se aplican las Redes Neuronales aplicadas a la planificación de la CS.

Debido a que el tema de esta investigación se centra en el contexto de Incertidumbre de la Gestión de la Cadena/Red de Suministro ante cambios en las condiciones iniciales de los parámetros que influyen directamente a lo largo de esta se quiere implantar un modelo que minimice la aleatoriedad En el siguiente apartado se revisan los métodos empleados para afrontar la incertidumbre en toda la cadena.

#### 2.4.5. Referencias

- Arrow, K.A., Harris, T.E., y Marschak, J., (1951). Optimal inventory policy. *Econometrica* 19, pp. 250–272.
- Beamon, B.M., (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management* 19[3], 275-292.
- Beamon, B.M., (1998). Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics* 55, 281–294.
- Berning, Guido, et al., (2004). "Integrating collaborative planning and supply chain optimization for the chemical process industry (I)--methodology." *Computers & Chemical Engineering* 28.6-7: 913-27
- Bongju Jeong, Ho-Sang Jung y Nam-Kyu Park, (2002). A computerized causal forecasting system using genetic algorithms in supply chain management; *The Journal of Systems and Software* 60 223–237
- Cachon, G.P., (2001). Supply Chain coordination with contracts, working paper, The Wharton School of Business, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Chen, C.L. y Lee, W.C., (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computer & Chemical Engineering*, 28(6-7), 1131-1144.
- Chern, C.C. y Hsieh J.S., (2007). A heuristic algorithm for master planning that satisfies multiple objectives. *Computers & Operations Research*, 34(11), 3491 – 3513.
- Clark A. J. y Scarf H., (1960). Optimal Policies for a multiple echelon inventory problem. *Management Science* 6, pag. 475-490
- Escudero, L.F., Galindo, E., García, G., Gómez, E. y Sabau V. (1999). Schumann, a modelling framework for supply chain management under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 119(1), 14-34.
- Fildes, R., y Hastings, R., (1995). The organization and improvement of market forecasting. *IEEE Engineering Management Review* 23, 33–44.
- Gupta, A., y Maranas, C.D., (2003). "Managing demand uncertainty in supply chain planning," *Computers and Chemical Engineering*, 27, 1219-1227
- Hua, Z., Li, S., y Liang, L., (2006). Impact of demand uncertainty on supply chain cooperation of single-period products. *International Journal of Production Economics*. Volume 100, 2, Pag. 268-284.

Jeong, B., Jung, H., y Park, N., (2002). A computerized causal forecasting system using genetic algorithms in supply chain management; *The Journal of Systems and Software* 60 (2002) 223–237

Jung, J.Y., Blau, G., Pekny, J.F., Reklaitis, G.V., y Eversdyk, D., (2004). "A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty", *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 28 No.10, pp.2087-106.

Lai, Y.J. y Hwang, C.L., (1992). A new approach to some possibilistic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 49, 121–133.

Lariviere, M.A., (1999). Supply Chain contracting and coordination with stochastic demand, S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine, eds. *Quantitative Methods for Supply Chain Management*. Kluwer Academia Publishers, Norwell, M.A.

Lee, Y.H., Kim, S.H. y Moon, Ch., (2002). Production-distribution planning in supply chain using a hybrid approach. *Production Planning & Control*, 13(1), 35–46.

Lee, H., y Whang, S., (1999). Decentralized multi-echelon supply chains: incentives and information. *Management Science*. Vol.45, Nº 5, pp.633-640

Leung, S.C.H. y Ng, W-L., (2007). A stochastic programming model for production planning of perishable products with postponement. *Production Planning & Control*, 18(3), 190-202.

Makridakis, S., (1996). Forecasting: its role and value for planning and strategy. *International Journal of Forecasting* 12, 513–537.

Mena, N., Lario, F.C., y Vicens, E., (2008). Planificación Colaborativa en el Contexto de Incertidumbre en la Gestión de la Red/Cadena de Suministro; 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Burgos.

Mena, N., Lario, F.C., y Vicens, E., (2009). Modelo Matemático con Incertidumbre para una Red de Suministro: Un enfoque a las Redes Neuronales; 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Barcelona.

Min, H. & Zhou, G., (2002). "Supply chain modeling: past, present and future", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 43, no. 1-2, pp. 231-249.

Morse, M.P., y Kimbal, G.E., (1951). *Methods of operations research*, MIT Press, Cambridge, MA.

Peidro, D., Mula, J. y Poler, R., (2007). Supply chain planning under uncertainty: a fuzzy linear programming approach. *Fuzzy Systems Conference. FUZZ-IEEE 2007*. IEEE International. July 2007. Page(s): 1-6.

Van Donk, Dirk Pieter y Van der Vaart., Taco, (2005). "A case of shared resources, uncertainty and supply chain integration in the process industry." *International Journal of Production Economics* 96.1: 97-108.

Vernadat. F., (1996). *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*. CHAPMAN & HALL.1996.

Wang, R.C. y Liang, T.F., (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *Int. J. Production Economics* 98, 328–341.

Ying Xie y Keith Burnham., (2005). A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand. *International Journal of Production Economics*. Volume 102, 1, Pages 37-50.

Zha, X.F., (2002). A knowledge intensive multi-agent framework for cooperative/collaborative design modeling and decision support of assemblies. *Knowledge-Based Systems* 15.8: 493-506.

Zimmermann, H.J., (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets & Syst.*, 1, 45–56.

Zhengping Li, et al. (2002). Supply chain modelling – a co-ordination approach. *Integrated Manufacturing Systems* 13[8].

## **2.5. Metodologías de Inteligencia Artificial para la Cadena/Red de Suministro**

### **2.5.1. Introducción a la Inteligencia Artificial en la Cadena/Red de Suministro**

La Inteligencia Artificial empezó como resultado de la investigación en la psicología cognitiva y de la lógica matemática. Se ha encaminado sobre el entendimiento mental y construcción de algoritmos de solución a problemas de propósito general; punto de vista que favorece la abstracción y la generalidad.

La Inteligencia Artificial también es una mezcla de la ciencia del ordenador, fisiología y la filosofía, tan general y amplia que reúne varios campos. Siendo estos, los sistemas de gestión de base de datos y sus estructuras que son cada vez más sofisticados, el desarrollo de algoritmos de inserción, la anulación y traspaso de datos, así como la introducción de máquinas capaces de realizar tareas pensadas en el ámbito de la inteligencia humana. Surgiendo de esta forma el término Inteligencia Artificial. La inteligencia artificial es un área inmadura. Desde que John McCarthy mencionó por vez primera este término en 1956, se han pensado innumerables aplicaciones de esta herramienta. Concretamente el área de la CS es una de ellas, la cual brinda un abanico muy amplio y atractivo que puede trabajarse bien fácilmente por la Inteligencia Artificial, ayudando en la creación de sistemas especializados o bien funcionando como componente de sistemas más complejos de toma de decisiones, para que sean utilizados como herramientas de gran ayuda para los grandes empresarios actuales.

La utilización de las tecnologías de la información en la vida diaria, ha demostrado ser una herramienta que ofrece infinitas ventajas competitivas y de ahorro de recursos, que anteriormente no se tenían. Además, estas tecnologías permiten la generación de áreas de oportunidad, las cuales aprovechadas correctamente ofrecen grandes beneficios a todo aquellos que las apliquen. En una cuota del mercado, la oportunidad se encuentra en los sistemas de inteligencia artificial, los cuales se han aplicado en una gran variedad de tareas, desde la enseñanza hasta la automatización de procesos productivos.

Dentro del gran panorama de oportunidades que tenemos para poder aplicar la inteligencia artificial en las empresas, es muy notoria la presencia de un punto en especial, “La inteligencia artificial en la Cadena de Suministro”.

En muchas ocasiones, la competencia en la Cadena de Suministro radica en la acertada toma de decisiones, en tiempo y forma. Pero también es difícil encontrar personas que tengan las características necesarias para tomar decisiones correctas en todo momento. Estos decisores, necesitan de herramientas que les permitan visualizar de un modo general, las fortalezas y debilidades de su Cadena, así como las

áreas de oportunidad que pudieran llegar a presentarse. Además necesitan de sistemas que les ayuden a mejorar la calidad de las decisiones que se toman día a día.

La mayoría de los Sistemas de Inteligencia Artificial, tienen la peculiaridad de “aprender”, lo que les permite ir perfeccionando su desempeño conforme pasa el tiempo. Además, estos sistemas pueden analizar volúmenes muy grandes de información a muy alta velocidad, lo que permite obtener indicadores puntuales de las operaciones de la empresa.

En este apartado se efectúa la revisión de tres metodologías de Inteligencia Artificial (IA), que son de gran relevancia en el estudio de la Incertidumbre en la Cadena de Suministro. Se subdivide en varias secciones que abarcan: Metodologías de Inteligencia Artificial (MIA) (apartado 2.5.2), Metodología del Simbolismo (apartado 2.5.2.1), Metodología del Conexionismo (apartado 2.5.2.2), Metodología del Conductismo (apartado 2.5.2.3), Aplicaciones de la Metodologías de IA para mejorar la Incertidumbre en la C/RS y Conclusiones (2.5.4) (Li, D., y Du, Y., 2008).

### **2.5.2. Metodologías de Inteligencia Artificial (MIA)**

Muchos investigadores resumen las metodologías y teorías fundamentales de la I.A. de la siguiente manera en Simbolismo, en Conexionismo y en Conductismo. El Simbolismo está basado en la hipótesis de un sistema definido por símbolos, es decir, un sistema de operadores simbólicos y una teoría de racionalidad limitada. El Conexionismo concierne a los sistemas de Redes Neuronales Artificiales (ANNs) y Computación Evolutiva. El Conductismo se enfatiza en particular en la relaciones entre percepción y acción.

El Conductismo trata de entender los fenómenos psicológicos humanos partiendo de principios muy generales obtenidos en el estudio de la conducta de los animales. Es una aplicación particular de la famosa máxima de Bacon: “Busca en los fenómenos más simples las leyes que actúan en los fenómenos más complejos”. Esta misma situación ocurre con los modelos de Newell y Simon, pero en este caso los fenómenos más simples se encuentran en el funcionamiento de las máquinas, no en el comportamiento de los animales. (Barr A. y Feigenbaum, E. A., 1977; 1981)

Como se ve en la Fig. 2.14 las Metodologías de IA se subdividen en tres, a su vez cada subdivisión está conformada por varios modelos. Podemos ver que los modelos más utilizados en la Cadena/Red de Suministro (C/RS) están sombreados. Más adelante se hacen referencias de algunos de estos trabajos en el apartado Aplicación de Metodologías de IA para mejorar la Incertidumbre en la C/RS (Apartado 2.5.3).

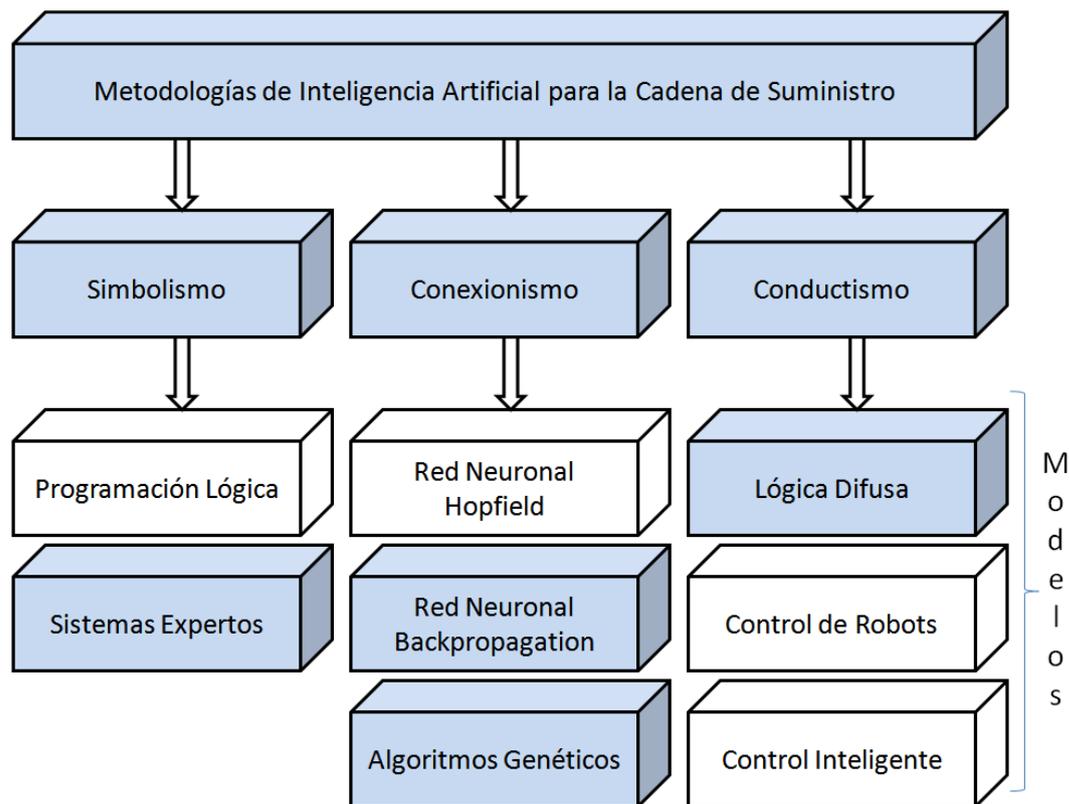


Figura 2.14.- Metodologías de Inteligencia Artificial para la C/RS

### 2.5.2.1. Metodología del Simbolismo

#### 2.5.2.1.1. Nacimiento y desarrollo del Simbolismo

Algunos investigadores creen que la importancia de la computación en la ciencia es lo mismo que la “masa” y “energía” en la física; y que el “gen” y la “proteína” en la biología. Sin embargo, la descripción matemática del concepto de la computabilidad intuicionista es un concepto de la máquina Turing. Alrededor de 1935, Alonzo Church, Stephen Cole Kleene y Kurt Gödel sostuvieron una serie de discusiones acerca de la computabilidad intuicionista en la Universidad de Princeton, y le dieron una descripción matemática en definibilidad y funciones recursivas (También conocidas como funciones recursivas- $\mu$ ; son una clase de funciones de los números naturales en los números naturales que son «computables» en un sentido intuitivo). Al final, Church se dio a conocer con su “Tesis Church”: A partir de una función matemática de números enteros positivos, los cuales son calculables en el caso que sean recursivos. Tal investigación hace que Church sea uno de los pioneros en las funciones recursivas “Teoría Básica para la Computación Teórica” (Church, 1941”).

Por otra parte, Turing pensó cómo calcular los teoremas de la lógica, así describiendo el concepto de Máquina de Turing, el cual consistía en “calcular un número lógico por medio de una LCM (máquina de computación lógica)” siendo esto expresado como “la tesis de Turing”.

Además Gödel trabajaba en la prueba de sus teoremas de la incompletitud, el concepto básico de sistemas formales no estaba todavía completamente claro (Gödel, 1940). Fue en 1936 cuando surgió el concepto de la Máquina Turing, por lo cual las personas empezaron a darse cuenta que un sistema formal era no más que un programa de una máquina que generaba teoremas. El concepto del Sistema Formal transformó todas las deducciones dentro de una máquina de computación que fue aplicada a las formulas de algoritmos. Máquina de Computación significa “algoritmo” precisamente descrito por una Máquina Turing. En otras palabras, un Sistema Formal no es más que una Máquina de Turing Multivalor, que permite hacer cambios en un rango predeterminado en ciertos pasos (Gödel, K., 1940).

A partir del concepto de algoritmo, términos y teorías en Ciencias Informáticas como la computabilidad, el procesamiento de datos en serie y en paralelo, ha dado lugar al desarrollo de la Ciencia Cognoscitiva.

Minsky, M. y Simon, H. (1969), desarrolladores de la ciencia cognoscitiva, proponían como pauta de investigación la cognición computacional que es todavía dominante en el círculo académico. Pese a todas las diferencias, puede ser que el cerebro humano y el ordenador en términos de hardware y software, sean capaces de producir, operar y procesar símbolos abstractos en términos de teoría computacional.

La operación y procesamiento consiste en lo que se supone “computación” según la Máquina Turing y cualquier estado cognoscitivo e intelectual, es simplemente un estado de ésta. Entonces cualquier actividad cognoscitiva e intelectual es calculable por un algoritmo. Esto significa que el reconocimiento de las actividades cognoscitivas humanas, puede ser simulado por el ordenador. Empezando de este punto, diferentes expertos han llegado a la conclusión de que algún día, el ordenador puede hacer toda clase de tareas y hasta llegar a ser como un ser humano.

El propósito de la “cognición computacional” es dar como pauta el estudio de la cognición humana para entrar en una fase científica de investigación regular. Según Newell y Simon (1976), anteriormente al desarrollo de la ciencia cognoscitiva, “antes de que la computadora fuera considerada como un sistema de procesamiento de símbolos universales, había muy pocos conceptos científicos y enfoques para el estudio de la naturaleza de la cognición y la inteligencia”. La “cognición computacional” llegó a ser el principio de una línea de la Inteligencia Artificial,

Sicología Cognoscitiva y Lingüística Matemática, ayudando enormemente al avance de la IA (Simon, H. A., 1997).

Bajo la línea de la “Cognición Computacional,” surgió el estudio del paradigma simbolista, creyendo que la unidad básica del pensamiento es la simbología, que el corazón de la inteligencia debe ser el conocimiento y que el conocimiento debe razonar la solución de un problema. La base para la actividad intelectual es la computación de símbolos físicos; tanto el cerebro humano como el ordenador son sistemas de símbolos físicos y que la inteligencia humana, puede ser simulada completamente estableciendo un sistema teórico inteligente basado en la lógica simbólica (Liu, X., y Gödel, K., 2003).

El simbolismo en términos de cognición es el procesamiento de símbolos y en el que proceso del pensamiento humano puede ser descrito por ciertas clases de símbolos. En otras palabras, el pensamiento es la computación (o la cognición es la computación). Esta ideología constituye una de las bases filosóficas para la Inteligencia Artificial.

El enfoque simbolista está representado por Newell y Simon (1976). Propusieron la Hipótesis del Sistema de Símbolo Físico, manteniendo que el sistema de símbolo físico es una condición necesaria y suficiente para representar comportamientos intelectuales. La utilización de métodos matemáticos para estudiar la inteligencia y buscar formas, modelos, y fórmulas de la estructura inteligente permite a la inteligencia ser sistematizada y formalizada como una fórmula y símbolo matemático. De esta manera, cualquier sistema de procesamiento de información puede ser visto como un sistema de símbolo físico materializado que usa memoria a base de reglas para obtener y buscar un conocimiento de control y operadores hacia la solución de un problema general. Las personas son consideradas sistemas de proceso de información inteligentes, que se ven como sistemas de operación simbólica o sistemas de símbolos físicos. El llamado símbolo es un modelo; cualquier modelo, mientras pueda ser distinguido de otros modelos, es un símbolo. Por ejemplo, los diferentes caracteres chinos o las cartas inglesas son símbolos. Trabajar con símbolos es compararlos y averiguar sobre los mismos y diferentes símbolos. La tarea y la función fundamental en un sistema de símbolo físico es identificar y distinguir entre diferentes símbolos. Para todo esto, es necesario que el sistema sea capaz de ver las diferencias entre los símbolos. Los símbolos pueden ser concretos, como los modelos de electrones que se mueven en el mundo físico o los modelos de neuronas que se mueven en el cerebro humano. Los símbolos también pueden ser abstractos, como conceptos del pensamiento humano. (Newell A., y Simon, H. A., 1976)

Un Sistema de Simbología completo consta de las siguientes seis funciones básicas:

1. Símbolos de entrada

2. Símbolos de salida
3. Símbolos de almacenamiento
4. Símbolos de duplicación
5. Creación de estructuras de simbologías; es decir formar estructuras de simbología en un sistema de símbolos observando las relaciones entre estos
6. Migración condicional, quiere decir, llevar un proceso de acción basado en símbolos existentes

Un sistema de simbología que puede completar todo un proceso es un Sistema de Símbolo Físico integrado (PSS). Los humanos, y los ordenadores como tal, poseen las seis funciones de simbología antes mencionadas. Por lo tanto, tanto el humano como el ordenador son sistemas de símbolo físicos completos.

La hipótesis de un Sistema de Símbolo Físico dice que cualquier sistema que es capaz de ser inteligente, tiene que cumplir las seis funciones y que cualquier sistema que tenga las seis funciones es capaz de ser inteligente. Uno proporciona la condición suficiente y necesaria para el otro. Junto a estas hipótesis vienen tres deducciones:

1. Los humanos poseen inteligencia, por lo cual los humanos tienen PSS.
2. Un ordenador es un PSS, por lo cual es inteligente.
3. Un humano es un PSS, un ordenador es un PSS, por lo cual podemos usar un ordenador para simular actividades intelectuales humanas.

En este sentido, puede decirse que el ordenador se comporta como la inteligencia humana. De este modo, el simbolismo aboga por adoptar un enfoque de simulación funcional, para realizar la inteligencia artificial por funciones analíticas conocidas por el sistema cognoscitivo humano y luego usar el ordenador para simular estas funciones. Para que el enfoque de simbolismo sea de IA, la base son las matemáticas simbólicas, que son plasmadas en el cálculo del predicado y sus principios de resolución. El medio para el desarrollo de estas es una herramienta de diseño para programas, la que da la expresión del lenguaje de programación lógico y su objetivo es una aplicación, que es reflejada en un sistema experto. (Liu, X., y Gödel, k., 2003) y (Wang, D., 2002).

#### **2.5.2.1.2. Principio de Resolución y Cálculo de un Predicado**

El cálculo de un predicado, añade al cálculo proposicional la capacidad de especificar las relaciones y establecer generalizaciones. La proposición es una declaración que afirma o niega algo y que puede ser verdadero o falso.

Una proposición que es considerada irreducible es como un átomo. Las proposiciones y los átomos pueden formar proposiciones compuestas en virtud de algunas conectividades, incluso la negación ( $\neg$ ), conjunción ( $\wedge$ ), separación ( $\vee$ ), implicación ( $\rightarrow$ ),

y equivalencia ( $\leftrightarrow$ ). Con estas conectividades, podemos tener la separación de forma normal y la conjunción de forma normal, por la cual el cálculo de proposiciones puede ser realizado, como prueba, deducción, y razonamiento.

El átomo es el elemento básico del cálculo de proposiciones, pero su granularidad es demasiado grande para expresar la relación entre los individuos en una proposición. Entonces el predicado de la palabra es adoptado para expresar la correlación, que es llamada el cálculo de predicado. En el cálculo del predicado, hay dos tipos de cuantificadores: (1) Cuantificación existencial (existe) “ $\exists$ ” y (2) Cuantificación universal (para todos) “ $\forall$ ”.

Los átomos o sus negaciones son literales. Una cláusula está formada de una disjunción de los literales (Fang, S., 2000) y (Zhang, X., 1998). Un predicado puede ser usado para expresar los detalles de las proposiciones y aumentar la descripción formal de la relación entre las proposiciones. De este tema, el cálculo del predicado es más detallado que el cálculo de la proposición. El cálculo del predicado puede implicar una cuantificación universal y aumentar la descripción formal de su relación. Siendo el cálculo del predicado más general y más flexible que la proposición. Una oración de instancia en el cálculo de predicado es una aseveración en el cálculo de una proposición. El cálculo del predicado mencionado principalmente se concentra en la expresión de las cuantificaciones, literales y cláusulas. Pero esta es la resolución que realiza el proceso de razonamiento.

Los medios de resolución para llegar a una conclusión (verdadera o falsa) se realizan a partir de conjuntos de una cláusula y de pasos finitos para demostrar que la conclusión es verdadera. Esta función es llamada “El Principio de Resolución”. Este es el contenido básico de la metodología de simbolismo. Supongamos A, B, y C son átomos. Entonces  $A \vee B \vee \neg C$  es una cláusula, pero  $(A \wedge B) \vee C$  no lo son.

La idea básica del principio de resolución puede ser demostrada por el siguiente ejemplo:

*Supongamos que C1 y C2 son dos cláusulas. Si existen dos literales L1 y L2 en C1 y C2, y*

$$L1 = \neg L2$$

$$C1 = L1 \vee C'1$$

$$C2 = L2 \vee C'2$$

Entonces tenemos

$$C1 \vee C2 = L1 \vee C'1 \vee L2 \vee C'2 = C'1 \vee C'2$$

Donde ambas  $C'1$  y  $C'2$  son cláusulas y  $C'1$  y  $C'2$  son la solución de las cláusulas C1 y C2.

Como se menciona anteriormente, el principio de resolución es un método de operaciones sencillas. Sólo anulando los literales complementados en las dos cláusulas pero permaneciendo la disjunción.

El silogismo es un caso especial del principio de resolución. Por ejemplo:

Tenemos

$$C1 = \neg A \vee B, C2 = A$$

Aplicando el principio de resolución a C1 y C2, llegamos a B.

Si  $C1 = A \rightarrow B$ ,  $C1 = A$ , B puede ser obtenida de C1 y C2. Este es el silogismo.

Quando se prueban algunos teoremas matemáticos la principal resolución, es actualmente un proceso contradictorio. Por ejemplo, si queremos probar el teorema:  $((A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C) \wedge A) \rightarrow C$  por lo cual solo se necesita probar  $((A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C) \wedge A \wedge \neg C)$  siendo esto falso. Por lo tanto:

1. Transferir esta fórmula a un conjuntivo:  $(\neg A \vee B) \wedge (\neg B \vee C) \wedge A \wedge \neg C$ , entonces reescribir esto para un conjunto de cláusulas: S

$$S = \{\neg A \vee B, \neg B \vee C, A, \neg C\}.$$

2. Obtener B desde la resolución de  $\neg A \vee B$  y A.
3. Obtener C desde la resolución de B y  $\neg B \vee C$ .
4. C y  $\neg C$  son contradictorios, desde el cual una cláusula permanente (cláusula nula) puede obtenerse para esta resolución.
5. Entonces S es permanente falsa.

Con esto se complementa dicha prueba.

El principio de resolución puede ser ampliado propiamente; por un lado con el método de sustitución sinérgico; entonces el principio de resolución es usado para describir el predicado del predicado (predicado llamado de segundo orden). Por otro lado, además de la cuantificación existencial original y la cuantificación universal, hay más cuantificadores, en minoría, sumamente individuales y en masas, etc., porque el principio de resolución puede ser ampliado para multi-valorar la lógica y la lógica difusa. En efecto, el principio de resolución puede ser ampliado a la lógica no estándar general. (Zhang, X., 1998) y (Liu, x., y Jiang, Y., 1987).

### 2.5.2.1.3. Lenguajes de Programación Lógica

En 1959, basándose en el cálculo de Alonzo Church "list structure", Simon y Newell, y John McCarthy introdujeron el desarrollo la famosa LISP (Lista de Procesamiento de Lenguaje), que más tarde fue el lenguaje que más ha ayudado en la investigación de

Inteligencia Artificial (Church, A., 1941). LISP es un lenguaje funcional de procesamiento simbólico, que trata de un programa hecho de subrutinas funcionales. Su estructura funcional es análoga a la estructura de la función recurrente en matemáticas, siendo capaz de construir nuevas funciones desde unas funciones básicas de ciertos medios. Por lo tanto, es un lenguaje de programación funcional.

También es un lenguaje de programación lógico, porque su cálculo está basado en símbolos más bien que números y esto realiza deducciones por medio del cálculo simbólico. LISP está caracterizado por las siguientes características técnicas (Wu, H. y Cui, L., 2000) y (Cai, Z., y Xu, G., 1996):

1. Uso de expresiones simbólicas, más que números para el cálculo.
2. Capacidad de procesamiento de listas, es decir, usando listas unidas para representar todos los datos.
3. Capacidad de formar funciones más complejas dentro de las estructuras de control básico para la composición funcional.
4. Uso de la Recurrencia como un modo de describir un problema y proceso.
5. En el lenguaje LISP, la función EVAL es usada como el intérprete y la definición formal para este lenguaje.
6. Como otros datos, el programa en sí mismo se representa por la estructura lista.
7. Describe la restricción del objeto.
8. Capacidad ponerse en marcha interactivamente.

Estas características del LISP son claves para la solución de un problema simbólico. Además, su estructura de lista elegante es también un instrumento conveniente y poderoso para la programación simplificada de LISP (aunque con ello este incluido el problema de demasiado soporte). Por lo tanto, desde su invención, LISP también ha sido extensamente usado en pruebas de teoremas, cálculo de predicados, teoría de juegos, sistemas expertos, etc., además de ser usado para el cálculo simbólico en matemáticas. De todo esto se ha derivado una serie de nuevos productos como Visual LISP, Auto LISP, Concurrent LISP, que son extensivamente explotados en muchas áreas específicas. Hasta se ha intentado hacer la máquina de LISP para simular la inteligencia humana, pero hasta ahora no ha tenido éxito.

PROLOG (Programador Lógico) es otro famoso lenguaje de programación lógico, que fue creado por Robert Kowalski, un joven estudiante de la Universidad de Londres en el Reino Unido. Fue puesto en práctica en 1972 por el grupo de investigación de Alain Colmerauer de la Universidad de Marsella en Francia.(Colmerauer, A., 1990) Más

---

Tarde, Pillipe Roussel introdujo el intérprete de PROLOG; y David Warren contribuyó con el primer compilador de PROLOG. (Roussel, P., 1975)

PROLOG está caracterizado por las siguientes características generales:

1. Este es un lenguaje descriptivo, concentrado principalmente en la descripción del problema a resolver sin tener en cuenta la secuencia de ejecución del programa. Y a diferencia de lenguajes avanzados, este no tiene cláusulas de control, como if-cláusula, when-cláusula, as if-cláusula, case-cláusula y for-cláusula.
2. Tanto los datos como el programa son representados por términos.
3. El camino básico de la ejecución del programa son los mecanismos de asociación (matching) y la búsqueda en retroceso (backtracking), que determinan la orden de la ejecución del programa; de hecho esta es una máquina de razonamiento deductiva.
4. Contiene una variedad de funciones internas y poderosas para la ejecución de cálculos numéricos y funcionales.
5. PROLOG tiene una variedad de interfaces para programas, la última versión incluye grupos de funciones GUI para Windows, ODBC/OCI, grupo de funciones de bases de datos y grupos de funciones de Internet como Socket (definido por una dirección IP, un protocolo y un número de puerto.), FTP, HTTP, y CGI (Interfaz de Entrada Común).

Si decimos que el lenguaje LISP toma la forma funcional como su homólogo PROLOG. PROLOG se enfoca más en la descripción del problema e incluyendo además una lista de la función de procesamiento. PROLOG trabaja de forma similar a como operan las bases de datos; desarrollando “queries” (consulta de datos en la base de datos) en las bases de datos del Lenguaje Query Estructurado “SQL”. El desarrollo de queries complejas sobre la base de datos SQL es considerado como una prueba deductiva de nivel avanzado en PROLOG (Li, D., 1984).

PROLOG trabaja de forma eficaz con Sistemas Expertos y tiene interfaces excelentes para sistemas de base de datos SQL, sistemas de desarrollo en C y Delphi. Consecuentemente, esto lo hace una herramienta de desarrollo poderosa para el entendimiento de lenguajes naturales, pruebas de teoremas mecánicos y sistemas expertos. En 1995, la Organización para Estandarización Internacional (ISO) publicó el estándar de PROLOG en ISO. Después de la creación de PROLOG, muchos investigadores han tratado en vano desarrollar una máquina PROLOG para simular la inteligencia humana, pero sin éxito (Genesereth, M. R., y Nilsson, N. J., 1987).

#### 2.5.2.1.4. Sistemas Expertos

La base matemática para el simbolismo, fue traída día a día por el perfeccionamiento en sistemas matemáticos o lógicos, los cuales han sido diseñados con alguna clase de sistema de regla de producción. La mayor parte de categorías del conocimiento han sido representadas por reglas de producción basadas en el cálculo de predicado y el principio de resolución, los cuales han proporcionado una base teórica para el desarrollo de Sistemas Expertos, en diferentes campos del conocimiento en este siglo de Tecnologías de la Información.

La descripción de existencia de un evento (o de algunos eventos) lleva a la creación de la regla de producción, que es representada simbólicamente como sigue:

Si A entonces B o AB

Donde A es llamado precondición, y B es llamado Poscondición, significa que A es verdadero y B también.

El Sistema de producción, que toma como su estructura reglas de producción, puede describir el conocimiento de los expertos en un gran número de áreas. Un sistema de producción consiste de tres partes:

1. una recopilación de reglas de producción,
2. una memoria de trabajo de hechos, y
3. un conjunto de motores de inferencia.

Las reglas de producción se ejecutan cuando el conocimiento experto es clasificado y almacenado. En su memoria son almacenados datos iniciales y datos objetivo, es decir, base de hechos así como datos intermedios producidos durante el proceso de ejecución de la producción.

La ejecución de un motor de inferencia es representada como el disparo (triggering) de una sentencia (string) de reglas y la ejecución de estas. Por lo general, son tomadas tres medidas en la opción de reglas y ejecución:

1. Mecanismo de Asociación (Matching): Este une la base de hechos actual con la condición previa de la regla. Esto si hay una unión perfecta, entonces la regla se menciona como una regla de eliminación (fired). Es posible que las condiciones previas de varias reglas sean encontradas al mismo tiempo, de ahí surge un conflicto. De todas las reglas de dar de baja, sólo una es ejecutada y ésta es llamada una regla de dar de alta (enabling). Cuando hay un conflicto, una regla debe ser elegida como dada de alta entre varias reglas de dar de baja. Por lo cual, el segundo paso es el acertado.

2. Resolución de conflictos: La tarea de resolución de conflictos se desarrolla por el motor de inferencia. Actualmente, hay muchos modos de solucionar un conflicto como lo son: la estrategia de búsqueda de profundidad, la estrategia de búsqueda de anchura, la estrategia de búsqueda de velocidad, y la estrategia de búsqueda de tiempo.

La racionalidad de la resolución de un conflicto es relativa; y el mecanismo de resolución de un conflicto determina la interpretación de un sistema de producción.

3. Operación: Se ejecuta la pos-condición de la regla y después de algunas variantes se crean instancias y así los contenidos actuales de la memoria de trabajo se alteran.

Tras lo que se para o se hace el siguiente ciclo de operación de Resolución de Conflicto Matching.

Es sobre la base del Sistema de Producción que el sistema experto se desarrolla. Siendo los lenguajes de programación lógicos como LISP y PROLOG los que ayudan al diseño de éste. Por lo cual, un Sistema Experto es un sistema que se basa en experiencia y conocimiento, ayudando a la simulación de procesos de toma de decisiones para resolver problemas complejos. También se basan en el conocimiento de uno o más expertos. El sistema experto tiene las siguientes características (Lin, Y., Zhang, B., y Shi, C., 1988) y (He, X., 1990).

1. Enmascarado de lógica simbólica: a menudo la habilidad es a menudo no matemática. Normalmente no se espera expertos especializados para expresar una habilidad o procedimiento de razonamientos en términos y símbolos matemáticos. El sistema experto puede lograr esto construyendo un marco matemático de propósito general y representando cada caso del experto especializado con reglas. Este es el camino más natural para solucionar problemas ocultando el procedimiento de razonamiento. Cuando el problema es dado, el sistema experto tendrá el resultado correcto por la inferencia de reglas. El resultado es una resolución o una comprobación de la lógica simbólica, donde el usuario no puede ver el proceso para llegar al resultado. Aquí es donde está el encanto de las matemáticas.
2. Ejecución del programa sin procedimiento: El sistema experto requiere sólo la descripción de un problema, mientras el procedimiento de la solución del problema es realizado por el motor de inferencia en el sistema. La naturaleza de la solución del problema se debe buscar por la clausula de conjunción, el Mecanismo de Asociación, las Instancias, y la Búsqueda en Retroceso. El paso

siguiente para tomar la solución de problema es el procedimiento de ejecución del programa, que es transparente hasta para un programador.

3. Flexibilidad en la extensión de la habilidad: Cuando en el enmascarado de la lógica simbólica, no hay procedimiento en la ejecución del programa del sistema experto. Esto permite la fácil agrupación del conocimiento y la fácil actualización de bases de datos. Entonces, el sistema experto, puede ampliar el conocimiento continuamente para aplicaciones más extensas.
4. Credibilidad y Agradabilidad: Casi todos los sistemas expertos tienen subsistemas de explicación, cuya función debe explicar al usuario el comportamiento del sistema, incluso la explicación en exactitud de la conclusión y de porque razón esta opción; aunque esta sea no más que una repetición del actual procedimiento. Esta es una resolución que ha realizado enormemente la credibilidad y agrado del sistema experto.

## 2.5.2.2. Metodología del Conexionismo

### 2.5.2.2.1. Nacimiento y desarrollo del Conexionismo

Después de los años ochenta, la revolución de las Redes Neuronales Artificiales (ANN) tomo lugar en la IA, permitiendo al Conexionismo ejercer un gran impacto en el simbolismo. En contraste para el simbolismo con la hipótesis del sistema de símbolo físico, el Conexionismo mantiene que las actividades cognoscitivas humanas están basadas en la actividad de las neuronas que están en el cerebro humano.

La concepción más temprana de las ANNs se remonta a 1943, cuando W. S. McCulloch y W. Pitts, fisiólogos americanos, propusieron modelos matemáticos para representar las neuronas humanas, formando la base para los modelos neuronales e integrándolos como modelos multi-capas y llamándolos Redes Neuronales. (McCulloch W. S., y Pitts, W., 1943). En 1960, la combinación de modelos de células de neuronas artificiales con los modelos de ordenador, hizo posible la percepción automática. La percepción automática es una forma de diseñar y construir mecanismos que reconocen patrones. Esto porque de una forma u otra, son mecanismos naturales que utilizamos a diario gracias a nuestros sentidos. La automatización o mecanización de estos procesos nos ayuda a realizar labores repetitivas (sensitivas) en las que usamos los sentidos como, el tacto, el olfato o el oído. Cambiando estos por sensores que permiten escoger o categorizar objetos de una forma más práctica y con menos errores. En el caso de la música o de las técnicas de arte, estos mecanismos ayudarían significativamente en el proceso de interacción. Actualmente, existen aplicaciones que van desde el reconocimiento de voz automatizado, reconocimiento de huellas digitales, reconocimiento de caracteres ópticos hasta la identificación de sucesiones de ADN.

En los años 1970, la investigación de la percepción automática y de las Redes Neuronales se estanca. En 1982 John J. Hopfield desarrolla una Red Neuronal (la cual lleva su nombre), que sirvió con éxito para solucionar el Problema del Viajante del Comercio (TSP), la que tenía una complejidad calculada por un tipo de Polinomio No determinista (complejidad no polinómica), dando un resurgimiento a la investigación en Redes Neuronales (Hopfield, J. J. 1982) y (Hopfield, J. J., 1988). En 1983, Geoffrey E. Hinton y Terrence Sejnowski desarrollaron un modelo de Red Neuronal capaz de solucionar el problema de optimización de un sistema dinámico no lineal. En 1986, David E. Rumelhart y Geoffrey E. Hinton proponen un algoritmo de aprendizaje backpropagation de redes neuronales (Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., y WilliamsR.J., 1986).

Alrededor de 1987, se desarrolla la Percepción Automática Multicapa para la solución de una percepción no lineal y para el reconocimiento de un patrón complejo;

desarrollando así una Red Neuronal de excelente auto-adaptación. Teniendo en cuenta como punto de partida la Red Neuronal Hopfield, la cual ha ayudado a la investigación actual de redes neuronales.

Las ANN son un nuevo tipo de método para el proceso de información, ganando cada vez más su uso y extendiéndose en campos como el reconocimiento de patrones, el control automático y la optimización combinatorial. Sin embargo, hasta ahora no han dado muy buenos resultados en la parte de hardware; por lo cual no se han hecho muchos trabajos en este campo.

Esto quiere decir, que no muy lejos de las desarrolladas ANNs la perfección de los Sistemas Distribuidos en Paralelo (Parallel-Distributed Systems), no han llegado a funcionar como la inteligencia humana, aunque estas desempeñen un papel cada vez más importante en el proceso de información. Por lo tanto, gran cantidad de investigadores piensan que su futuro es incierto.

Por otra parte, los Algoritmos Genéticos, son una metodología de optimización que se basa en una analogía de selección natural y genética, la cual se desarrolló por Holland en el año 1975 (Goldberg, 1989). Su proceso es de selección natural, donde los individuos más aptos sobreviven al entorno. La selección natural permite que las especies o individuos que sobrevivan y se reproduzcan, dejen más genes de los mismos caracteres, originando abundancia de estos en el entorno. Por lo tanto, la selección natural, no consiste en un proceso de mejora sino de adaptarse al medio.

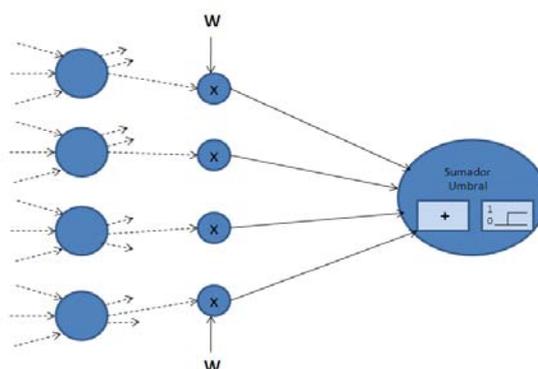
### **2.5.2.2.2. Características del Conexionismo: Estrategias y Técnicas**

Los pioneros del conexionismo son McCulloch y Hopfield. Tenían en cuenta que para simular la inteligencia humana, es necesario construir un modelo cerebral con la ayuda de la biónica. Y también que la unidad básica del pensamiento humano son las neuronas, en vez de los símbolos y que la inteligencia es el resultado de la competición de las neuronas interconectadas y coordinadas.

En 1943, el psicólogo McCulloch y el matemático Pitts crearon un modelo cerebral y lo llamaron MP (usaron sus iniciales). Esto los hizo investigar modelos de redes neuronales y modelos cerebrales empezando desde células neuronales, abriendo un nuevo modo de simular el cerebro humano y sus funciones; y de preparar el terreno para el desarrollo de la inteligencia artificial en una nueva dirección. (McCulloch W. S., y Pitts, W., 1943)

Las neuronas del cerebro humano consisten en dos partes: una célula cuerpo llamada soma y el proceso. El proceso está dividido en un axón y una dendrita. El axón es responsable de las señales de salida, mientras la dendrita es la receptora. El axón de

cada neurona se une a la dendrita de otra neurona de modo que la transmisión de información se realiza. Este sistema biológico es el que ayuda a la simulación de las ANN, las cuales son de gran escala, no lineal y autoadaptable formadas por numerosas unidades de procesamiento distintas e interconectadas por activación. El elemento de procesamiento (PE) de la red neuronal es capaz de almacenar y operar localmente. Las ANN se pueden considerar como grafos dirigidos con los PE, como los nodos interconectados por arcos acompañados de pesos. En el grafo dirigido, los PE son la simulación de una neurona biológica, mientras el arco dirigido es la simulación de un "axón-sinapsis-dendrita" y el peso acompañado al arco dirigido representa la fuerza de la interrelación entre dos unidades de procesamiento. La Fig. 2.15 es un esquema de una ANN, en el cual la entrada, los valores del peso, son sumados y comparados con el valor de umbral. Cuando la suma es mayor que el valor umbral, la salida es 1, que corresponde a la excitación; por otra parte si la salida es 0, corresponde a la inhibición. En un modelo de ANN simple, las propiedades de un axón son simuladas por el peso y multiplicación; la relación inter-conexional es simulada por el sumador; y la propiedad de activación causada por la reacción estimulada en el cuerpo de la célula es simulada; comparándola con su valor de umbral. El proceso de entrenamiento es el de ajustar pesos y umbrales.



**Figura 2.15.- Descripción matemática de una Red Neuronal Artificial**

Cada unidad de procesamiento tiene una sola salida, necesaria y puede bifurcarse en varias uniones paralelas con la misma señal de salida. La salida es independiente del número de ramas. Las operaciones ejecutadas en cada unidad de procesamiento deben ser localmente autónomas, es decir, sólo el valor actual de todas las señales de entrada y sus operaciones son almacenados en la unidad de procesamiento.

Las partes básicas que constituyen una estructura conexionista pueden ser activadas a cierto grado en ciertas circunstancias, justo como una unidad simple de una neurona cerebral. Algunas unidades son interconectadas con otras unidades como lo es en las neuronas cerebrales. La fuerza de la conexión varía con las actividades dentro del sistema. La influencia de una unidad sobre otro está en constantemente cambio. Un

sistema cognoscitivo básico es una conectividad integridad en estas unidades. Las ANN se diferencia del enfoque simbolista, porque la red de neuronal de conocimiento es representada por el valor de pesos en las interconexiones entre unidades; estos pesos pueden ser continuos. La regla de aprendizaje de la red depende de las ecuaciones de valores activos que toman los pesos continuos como variantes. Así, las unidades básicas para describir actividades cognoscitivas e intelectuales en una regla de aprendizaje, son las variantes de valores de sub-símbolos distintos más bien que sólo los símbolos distintos abstractos que no tienen nada que ver con la biología. Por esto, las ANN han dado un gran avance hacia la biónica y se enfocan en adelante en la consistencia neuronal del cerebro humano a microescala. Por lo tanto, el propósito de ANN es considerado como una revolución, la cual puede ser llamada la transformación de la metodología de investigación en la ciencia cognoscitiva del simbolismo hacia la ciencia del conexionismo (Miller, W. T., 1990).

La red neuronal consta de tres técnicas principales:

1. Almacenamiento de información distribuido y procesamiento paralelo a gran escala: La información se distribuye en toda la red con un gran número de almacenamiento neuronal. Cada neurona completa sus propias operaciones con sus propios pesos simultáneamente participando tanto en cálculos paralelos, como cálculos distribuidos.
2. Excelente Auto-adaptación y Auto-organización: Cada neurona es capaz de tratar señales de simulación continuas, información caótica, información incompleta e información difusa y a su vez mejorar y aproximar lo posible la solución. El mecanismo de la conexión de la neurona es muy simple y hay varias opciones para capas entre numerosas neuronas; sus estructuras son auto-organizadas.
3. Habilidades de fuerte aprendizaje y falta de tolerancia: A través del entrenamiento una red neuronal puede tener condiciones de valor de umbral para cada neurona permitiendo el auto aprendizaje. A causa del gran número de neuronas, la salida es posible aun cuando existen condiciones parciales. Un buen resultado puede ser obtenido aun si algunas entradas contienen algunos errores o si algunas neuronas han sido afectadas.

### **2.5.2.2.3. Modelo de Red Neuronal de Hopfield**

En el enfoque Conexionista, su representación típica es el Modelo de Redes Neuronales Hopfield, desempeñando un rol importante en el resurgimiento de la investigación en las ANN. La NN (Neuronal Network) de Hopfield se compone de una sola capa, un modelo de retroalimentación completo; con las siguientes características técnicas:

1. La NN de Hopfield es una conexión completa de una sola capa y de un sistema de retro alimentación completo compuesto de componentes no lineales. Cada neurona de la red esta interconectada desde su salida a otras neuronas a través de conexiones, y al mismo tiempo, recibe la información enviada de otras neuronas. Por lo tanto, en el tiempo,  $T$ , el estado de salida de una neurona en la red indirectamente tiene que ver con su propio estado de salida en el tiempo,  $t-1$ .
2. Un rasgo importante de la NN Hopfield es su estabilidad. Cuando la función de energía alcanza mínimos, esto es un estado estable para la red. Aquí la función de energía representa una tendencia de transición en el estado de la red. El estado varía con las reglas de operación Hopfield y es finalmente capaz de alcanzar la función objetivo de un valor mínimo. Cuando la función de energía alcanza mínimos, se le denomina la convergencia de la red. Si la función objetivo en un problema de optimización se convierte en función de energía de red, las variables deben corresponder al estado de la red; por lo tanto, la red neuronal de Hopfield se utiliza para solucionar problemas de optimización combinatorios.
3. Mientras la red neuronal de Hopfield se pone en marcha, la conexión entre sus pesos permanecen fijos y sólo el estado de salida se actualiza. Para una red de la misma estructura, el cambio de parámetros (pesos y umbrales), hace que el número de mínimos de la función de transferencia de la red (llamado "punto de equilibrio para la estabilización del sistema") y sus valores mínimos sean cambiados. Por lo tanto, se necesita de un patrón de memoria como punto de equilibrio para estabilizar la red. Y así la red tiene  $M$  puntos de equilibrio, para almacenar  $M$  patrones de memoria. Además, la red neuronal de Hopfield almacena datos de una forma asociativa. Cuando la salida de la red neuronal proporciona una parte de información de un cierto patrón, la red actualiza su estado y empieza desde un estado inicial más cercano al del patrón de memoria, para usar reglas de operación Hopfield y así llegar a estabilizar la red al mínimo de la función de transferencia. Así completando el proceso de asociación de la red neuronal causado por la falta de información.

Las principales contribuciones del modelo de Hopfield son las siguientes:

1. Propuesta de una Función de Transferencia para el sistema, que toma la retro-alimentación de la Red Neuronal como un sistema dinámico no lineal para estabilizar el análisis del sistema.
2. Uso de circuitos electrónicos análogos para construir un modelo de circuito para la red de Hopfield.

3. Este modelo trabaja mejor para solucionar problemas de optimización combinatorios tales como los de TSP.

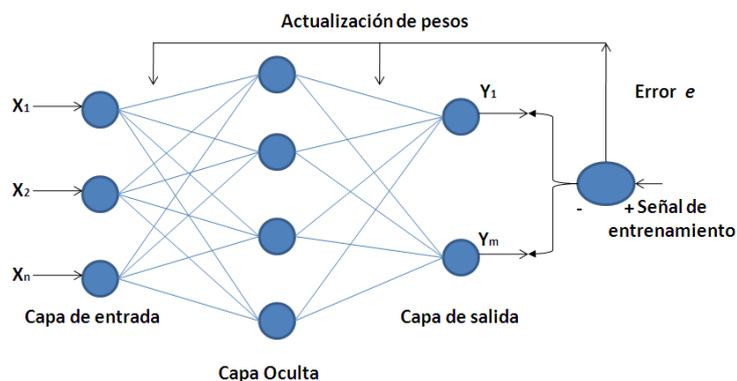
#### **2.5.2.2.4. Modelo de Red Neuronal Back-Propagation**

Este modelo es otro tipo de estructura del conexionismo (Werbos, P. J., Regression, B., 1974), propuesto en 1974 por Paul J. Werbos. Poco después David Parker y D. Rumelhart llegaron al algoritmo Back-Propagation solucionando el problema de aprendizaje en los valores de pesos de conexiones en unidades de capas ocultas en una Red Neuronal Multicapa, y su ejecución dio la idea a M. L. Minsky de una Red Multi-capas. En un modelo de propagación feed-forward, las señales de entrada se procesan desde una capa a la siguiente por capas ocultas múltiples y, después de esto, se propagan a la capa de salida (En computación, el concepto feed-forward normalmente hace referencia a redes multicapa en las que las salidas de las neuronas van a las siguientes capas pero no a las anteriores, de modo que no hay bucles de retroalimentación). Cada neurona de salida en una capa sólo afecta el estado de la siguiente capa. Un modelo back-propagation consiste en minimizar el tipo de error en el aprendizaje, cuyo proceso de aprendizaje es realizado en dos partes: propagación feed-forward de entrada y propagación feed-back de error. El error se propaga hacia atrás cuando aparece entre la entrada y la salida esperada durante el proceso feed-forward. Durante se efectúa el back propagation, los valores de los pesos en cada conexión entre cada capa de neuronas son corregidos y gradualmente ajustados hasta que el error de salida mínimo sea alcanzado. La Fig. 2.16 es un diagrama de una red de back propagation.

El método de entrenamiento de una red de back propagation consiste de dos fases: feed-forward y propagación feed-back. Durante la fase feed-forward, el vector de entrada se introduce desde la capa de entrada a través de capas ocultas a la capa de salida, mientras que el valor de salida de la red es calculado. En este tiempo, los valores de los pesos de la red son fijados.

En la fase de propagación feed-back, la señal de error se obtiene restando el valor de salida de red por el valor de salida esperado, y es entonces, propagada hacia atrás por varias capas ocultas a la capa de entrada de modo que los valores de los pesos sean actualizados.

Al repetir las dos fases, se repite el proceso de aprendizaje de modo que la red produzca una mejor aproximación a la salida deseada.



**Figura 2.16.- Red Neuronal Back-propagation**

En este proceso de formación, es necesario para determinar la condición en que el proceso de aprendizaje será terminado. Usualmente, uno de los siguientes items puede ser establecido como la condición final:

1. Cuando el gradiente del vector de valor ponderado es más pequeño que el umbral predeterminado.
2. En el ciclo Enésimo del proceso de aprendizaje, la variancia media de la salida es más pequeña que el valor aceptable predeterminado.
3. Al final de cada ciclo de aprendizaje, comprobar la red, para ver si la aplicación ha encontrado los objetivos predeterminados.
4. Integrar los tres métodos anteriores y determinar una condición que finalice el proceso, para evitar que el vector de valor ponderado, que oscila constantemente, no pueda converger o converja lentamente.

Los algoritmos back-propagation trabajan de forma acertada en clasificación de patrones, control fuzzy, restauración de perdida datos (missing data restoration), aproximación de funciones, etc. Al mismo tiempo, muchos investigadores proponen mejoras para el algoritmo back-propagation: (Duda, R.O., Hart, P.E. y Stork, D.G., 2000)

- 1) Como determinar el número de capas ocultas, unidades ocultas en el diseño de la estructura de red;
- 2) Garantizar la convergencia global del vector, con la disminución del gradiente, del vector de valores ponderados en la red;
- 3) Incrementar la rata de entrenamiento.

#### **2.5.2.2.5. Algoritmos Genéticos**

Los algoritmos genéticos requieren para su aplicación de representaciones codificadas como un cromosoma. Cada cromosoma tiene varios genes que corresponden a los parámetros del problema en cuestión. En la naturaleza, los cromosomas se encuentran

ubicados en parejas en el interior del núcleo celular, y los genes son una secuencia de nucleótidos, es decir, fragmentos de ADN en una determinada localización del cromosoma como se observa en la Fig. 2.17.

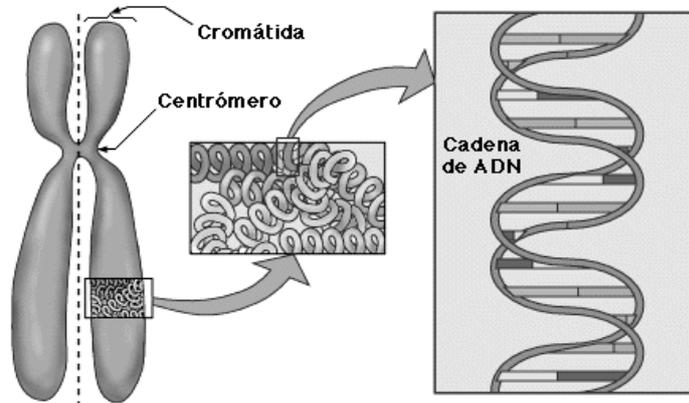


Figura 2.17.- Célula, cromosoma y gen

Para poder emplear estos genes en el programa, es necesario representarlos en una cadena  $n$  elementos (genes), es decir, una secuencia donde cada gen puede tomar cualquier valor dentro de un conjunto de longitud finita:

$$\theta = \{s_1, \dots, s_k\} \quad (1)$$

Este conjunto  $\vartheta$ , formará el genotipo del individuo (cromosoma), que se manifestará también como un fenotipo. El fenotipo representa las características tangibles u observables del individuo, es decir, los rasgos morfológicos.

Posteriormente, para evaluar la adaptación del fenotipo al entorno se emplea la función objetivo y las restricciones. Como se ha comentado, los cromosomas están constituidos por genes que son las  $N$  variables del problema, a su vez cada gen puede estar constituido por  $n$  dígitos cuyo valor representa un alelo. Alelo significa literalmente la forma alternativa, es decir, la variación alternativa de un determinado gen y por lo tanto de un rasgo característico. En la Fig. 2.18, la variación del alelo, implica un color diferente en los ojos de la mosca en función del sexo.

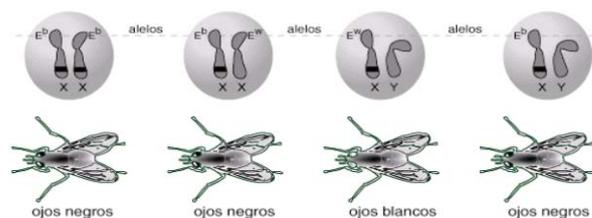


Figura 2.18.- Influencia del alelo en los ojos de la mosca

Dependiendo de la naturaleza del problema, se empleará codificación binaria (Beasley et al., 1993, Rajasekharan et al., 1998; Dunker et al., 2003), real o decimal 0...9 (Muñoz, 1997; Sánchez, 2000), números enteros (Suresh et al., 1995; Lazo y Pacheco, 1999; Kyu-Yeul Lee et al., 2003), alfanuméricos (Islir, 1998; Hicks, 2003).

Goldberg (1989), enunció dos principios que se deben cumplir en un proceso de codificación:

- Las soluciones deben ser expresadas en esquemas cortos y de bajo orden, es decir, bloques constructivos que expresen fijamente las características de los individuos.
- El conjunto de elementos para formar el cromosoma deberá ser mínimo y asegurando que representan el problema en cuestión.

### **2.5.2.3. Metodología del Conductismo (Behaviorism)**

#### **2.5.2.3.1. Nacimiento y Desarrollo del Conductismo**

Esta ha sido la Teoría de Control más usada por la investigación en la I.A. Los conductistas creen que la inteligencia depende del comportamiento y la percepción, proponiendo un modelo “comportamiento-percepción” de comportamiento intelectual, usualmente llamado conductismo. Remontándonos años atrás en su desarrollo, esta ha pasado aproximadamente por tres períodos (Li, Z., y Tu, Y., 2003).

Desde los años cuarenta hasta los sesenta, fue el período de la “Teoría de Control Clásica”, en el cual el desarrollo principal era la solución del problema de una entrada/una salida (SISO), basado en el análisis de funciones de transferencia, propiedades de frecuencia, el método del lugar geométrico de raíces, e investigación sobre sistemas lineales e invariantes en el tiempo. Los logros teóricos en este período, con H. W. Presagie y W. R. Evans como representantes, dieron muy buenos resultados para el problema una entrada/una salida en el proceso de producción. (Bode, H. W., 1960).

Entre los años sesenta y setenta surge la Lógica Difusa, que es una simple idea, que nació en un artículo de Lotfi A. Zadeh publicado en 1965 y titulado "Fuzzy Sets" (Conjuntos Difusos). La lógica difusa permite representar de forma matemática conceptos o conjuntos imprecisos, tales como días fríos, meses calurosos, personas altas, salarios bajos, guisos con mucho condimento, profesores poco valorados, etc.

Desde los años sesenta hasta los setenta, con el desarrollo rápido del ordenador, la teoría de control entró en un período de “Teoría de Control Moderna.” Una ecuación diferencial de último orden se transforma en una ecuación diferencial de primer orden para describir el proceso dinámico del sistema, referido como el método espacio-

estado (state-space method). Este método se usa para solucionar problemas multi-entrada/multi-salida, así cambiando un sistema lineal estable en un sistema no lineal variante en el tiempo.

Los representantes de este período son Lev Semenovich Pontryagin, Carl Michael Bellman, y Rudolph E. Kalman. A partir de los años setenta en adelante, desarrollan una teoría de control que iba en dirección de la “Teoría de Sistema Generalizada,” por una parte investigando dentro de la representación estructural, métodos analíticos, y en la coordinación de un Sistema Generalizado basado en el control y la información. Por otra parte, trabajando en la simulación de los procesos y comportamientos de la percepción humana, desarrollando procesos de procesamiento de información, y control con funciones de seres vivos (biological functions). (Fu, J., 1989).

El temprano enfoque del conductismo se basa en funciones y comportamientos intelectuales humanos en el proceso del control tales como auto-optimización, auto-adaptación, auto-ajustador, auto-calma, auto-organización y auto-aprendizaje, y en el desarrollo también llamado “animats”. En los ochenta, el sistema de control inteligente y los robots inteligentes, surgieron del empuje del conductismo en la investigación de la IA como lo último en tecnología a lo que se refiere. En 1988, Rodney Brooks, un representante de conductismo, creó un robot de seis-piernas basado en el modelo de comportamiento-percepción y en el sistema de control que imita los comportamientos de insectos. Actualmente, el sistema de control de péndulo invertido y RobotCup han sido de gran ayuda en la investigación conductista de la IA (Wiener, N., 1988). En computación, el concepto feed-forward normalmente hace referencia a redes multicapa en las que las salidas de las neuronas van a las siguientes capas pero no a las anteriores, de modo que no hay bucles de retroalimentación.

### **2.5.2.3.2. Lógica Difusa**

La lógica difusa se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo “hace mucho calor”, “no es muy alto”, “el ritmo del corazón está un poco acelerado”, etc.

La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje (en los ejemplos de arriba “mucho”, “muy” y “un poco”).

En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos (ver también subconjunto difuso), en los que se basa esta lógica.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto

difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son la trapezoidal, lineal y curva.

Se basa en reglas heurísticas de la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica (nótese la importancia de las palabras “muchísimo”, “drásticamente”, “un poco” y “levemente” para la lógica difusa):

SI hace muchísimo calor ENTONCES disminuyo drásticamente la temperatura.

SI voy a llegar un poco tarde ENTONCES aumento levemente la velocidad.

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser simples, veloces y eficaces. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia). Para escoger una salida concreta a partir de tanta premisa difusa, el método más usado es el del centroide, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de Redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones.

Los datos de entrada suelen ser recogidos por sensores, que miden las variables de entrada de un sistema. El motor de inferencias se basa en chips difusos (Eichfeld H., et al., 1996) que están aumentando exponencialmente su capacidad de procesamiento de reglas año a año.

Un esquema de funcionamiento típico para un sistema difuso podría ser de la siguiente manera:



**Figura 2.19.- Esquema del funcionamiento típico de un Sistema Difuso**

Funcionamiento de un sistema de control difuso:

En la Fig. 2.19, el sistema de control hace los cálculos con base en sus reglas heurísticas, comentadas anteriormente. La salida final actuaría sobre el entorno físico,

y los valores de las nuevas entradas sobre el entorno físico (modificado por la salida del sistema de control) serían tomadas por sensores del sistema.

Por ejemplo, imaginando que nuestro sistema borroso fuese el climatizador de un coche que se autorregula según las necesidades: Los chips borrosos del climatizador recogen los datos de entrada, que en este caso bien podrían ser la temperatura y humedad simplemente. Estos datos se someten a las reglas del motor de inferencia (como se ha comentado antes, de la forma SI... ENTONCES...), resultando un área de resultados. De esa área se escogerá el centro de gravedad, proporcionándola como salida. Dependiendo del resultado, el climatizador podría aumentar la temperatura o disminuirla dependiendo del grado de la salida.

### **2.5.2.3.3. Control de un Robot**

La teoría de control es una rama importante de la investigación en la robótica. Los problemas tratados son los sistemas sensoriales, movimientos óptimos de brazos, y planificación de métodos para la implementación de secuencia en la ejecución de un robot, del cual el control es una parte importante para estas investigaciones. Analógicamente a la psicología “la estimulación”, hace a un robot hacer y tomar determinadas acciones a través del control, una vez que cada condición realizada es satisfecha.

Si la condición a realizar es la más adecuada y la diferencia entre las acciones es obvia, el robot reaccionará hasta sin necesidad de la IA. La exactitud del control de un robot depende de la densidad de integración de su circuitería, la velocidad de los componentes usados para el algoritmo de control, la capacidad de almacenaje de datos, las propiedades de los chips a programar, el diagnóstico y comunicación, la exactitud del servomecanismo, etc.

El desarrollo rápido de la investigación en la robótica, es gracias al avance en la automatización industrial y a la investigación en la IA. La combinación de automatización e intelectualización probablemente fue empleada para simular estados de procesamiento de automatización industrial, describir la transformación de un estado de producción a otro, y de programas de como la secuencia de acción son llevados a cabo y de como la ejecución de planes son supervisados. Con la ayuda del ordenador, el proceso de información y el control de actividades son generalizados como actividades intelectuales y de producción intelectualizada.

Hoy en día, la investigación robótica, se amplía rápidamente a sistemas cognoscitivos incluso aquellos de tacto, fuerza, auditivos, y especialmente a la detección de imágenes en un robot. Esto también se extiende a estructuras de los sistemas, mecanismos de control, ensamblajes de robots y sus lenguajes. Las aplicaciones para las

robots cada vez son más usadas en la industria, agricultura, comercio, turismo, y en las fuerzas armadas. Los robots trabajan en cualquier tipo de ambiente, ya sea en el aire, en el mar y demás. (Jiang, X., 1987) y (Wang, H., y Mao, Z., 2002)

#### 2.5.2.3.4. Control Inteligente

La metodología de teoría de control tradicional, se basa en la relación entrada y salida del objeto a controlar el cual se expresará por una función de transferencia a partir de un modelo matemático exacto, que es a menudo difícil de realizar. Algunos investigadores han trabajado en el mecanismo de control de auto-aprendizaje y auto-organización; introduciendo tecnología de inteligencia artificial en el sistema de control. El profesor Jerry M. Mendel empleó el mecanismo de aprendizaje en su vehículo de vuelo espacial y propuso la primera idea de control inteligente artificialmente. Al introducir el término de “control inteligente”, algunos investigadores sugirieron que el control inteligente es una inter-disciplina entre la IA y el control, y construyendo una arquitectura de un sistema de control inteligente jerárquico interactivo máquina-hombre. En los años 1980, la creación de los microprocesadores y los sistemas incorporados proporcionó condiciones para el desarrollo de reguladores inteligentes.

Los avances tecnológicos en la expresión del conocimiento, influyen en la investigación de la IA y en los progresos tecnológicos en el diseño y la construcción de sistemas expertos; también proporcionando nuevos medios para el estudio de sistemas de control inteligente. En 1992, la Fundación de Ciencia Nacional (NSF) y el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) de los Estados Unidos propusieron el “Control Inteligente” como un programa de investigación, publicado con este propósito. En 1993, un grupo de control inteligente fue establecido en el Instituto de Electricidad e Ingenieros Electrónicos (IEEE), en la Sociedad de Sistema de Control (CSS), Control Inteligente y Comité Técnico (TCIC). Y en 1994, el Congreso Mundial IEEE Inteligencia Computacional fue realizado en Orlando, integrando diversos temas como la: lógica difusa, las redes neuronales y la computación evolutiva, así enriqueciendo mucho más la connotación del control inteligente. El control inteligente se refiere a una amplia categoría de la estrategia de control con algunos dispositivos con características intelectuales aperi (En matemáticas, La constante de Apery es un número curioso que aparece en diversas situaciones. Se define como:  $\zeta(3) = 1 + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{3^3} + \frac{1}{4^3} + \dots$ ). Esto concierne al objeto controlado cuyos parámetros de modelos, hasta estructuras, son variables duras para ser descritas exactamente en métodos matemáticos, por tener propiedades no lineales, inciertas y variables en el tiempo. Cuando el control inteligente se encuentra en un ambiente externo, es difícil que sea restrictivo con

parámetros matemáticos, por lo cual requiere ser capaz de auto-organizarse, auto-aprender y auto-adaptarse, en pocas palabras tener comportamiento inteligente.

Las máquinas autónomas son tal ejemplo. Hay diversos métodos de control. Como lo puede ser el control de aprendizaje basado en un patrón de reconocimiento, el control de normas basado en un sistema experto, control difuso basado en conjuntos difuso y por último control neuronal basado en ANN. La auto-organización en el control inteligente concierne la arquitectura dentro de un sistema. Herman Haken, pionero de la Ciencia de un Sistema, cree que, “la Organización es un sistema comprendido de variables interdependientes.” Por “un sistema”, aquí se quiere decir la interrelación entre variables expresadas por parámetros.

Por “la auto-organización”, nos referimos a un sistema que espontáneamente cambia materiales, energía, e información con el mundo exterior para reducir el caos, es decir, disminuir la incertidumbre para aumentar el nivel de orden dentro de una estructura. Por ejemplo, los organismos vivos constantemente mejoran sus propias estructuras de organización por herencia, mutación, y la ley del más fuerte, resultado de la evolución de las especies. Esto es lo que llamamos un comportamiento de auto-organización. El control inteligente requiere del ajuste constante de la relación entre parámetro y variables dentro un sistema. Esta relación es a menudo no lineal y la característica de la estructura es variable. Los parámetros son ajustados basándose en la desviación actual y la rata de cambio en la desviación en términos de magnitud y dirección, hasta que la estructura dentro del sistema pueda ser cambiada de forma pasajera.

El auto-aprendizaje en el control inteligente principalmente concierne a los modelos matemáticos de un sistema. El aprendizaje de medios que reciben condiciones y resultados del exterior; son un proceso de la acumulación de conocimiento, llamado entrenamiento por algunas personas. De un punto de vista matemático, esto iguala la determinación de los parámetros y variables en el modelo matemático del sistema a través conjuntos de condición y resultado. El auto-aprendizaje de medios es un proceso durante el cual, el resultado correspondiente se basará en la experiencia acumulada cuando una nueva condición de entrada es determinada, o un proceso durante el cual los parámetros y las variables son mejorados o ajustados cuando una nueva condición y resultado son dados.

La auto-adaptación en el control inteligente se enfoca a un sistema que reacciona a los cambios del medio ambiente. La auto-adaptación significa que cuando el ambiente y las condiciones son cambiados, los parámetros dentro de la estructura de un sistema son automáticamente cambiados, recogiendo la información del cambio del medio ambiente en tiempo real, de modo que al correr el sistema entero, este satisfaga las características estipuladas. Es difícil decir las diferencias entre auto-organización, auto-

aprendizaje y auto-adaptación, cuando estos están interconectados. Por ejemplo, los órganos vivos continuamente mejoran sus propias estructuras de organización para llegar a su evolución de especies por herencia, mutación, la ley del más fuerte; lo que no es sólo una demostración de auto-organización, sino también de auto-aprendizaje y auto-adaptación.

### **2.5.3. Aplicación de Metodologías de IA para mejorar la Incertidumbre en la C/RS**

Desde que McCulloch y Pitts (1943) mencionaron por vez primera este término, se han pensado innumerables aplicaciones para estas metodologías. Metodologías que van de lo trivial a lo formal, de los juegos a la salud, de la guerra al salvamento de vidas. Pero hay infinidad de áreas que aún no se han beneficiado de las ventajas de esta tecnología, o bien no la han utilizado en gran escala. Concretamente el área de la C/RS es una de ellas, la cual brinda un abanico muy amplio y atractivo para aplicar las MIA, permitiendo la creación de sistemas expertos o bien sistemas más complejos de toma de decisiones, para que sean utilizados como herramientas invaluableles por los grandes empresarios actuales.

A partir de los planteamientos identificados en los apartados anteriores, se han recopilado una serie de trabajos realizados donde se han aplicado estas metodologías en la C/RS. Siendo estas una base importante para determinar una metodología que busque dar solución a la Incertidumbre en la C/RS. Pensado en el contexto del sector cerámico, se destaca la selección de un modelo que sirve como referencia y fundamento teórico para resolver el problema planteado. En virtud del futuro desarrollo del modelo que se planteara, su validación práctica es necesaria, por lo que se identifican aquellos trabajos en los siguientes párrafos.

#### **2.5.3.1. Aplicaciones de la Metodología del Simbolismo a la C/RS**

Actualmente el campo más trabajado en el Simbolismo son los Sistemas Expertos, ya que estos son los más encontrados en la literatura de C/RS

Chinnam, R.B., y Govind, R. (2006) se enfocan en el desarrollo de marcos metodológicos en la CS teniendo en cuenta 3 aspectos importantes. En el primer aspecto de este enfoque, desarrollan un marco metodológico centrado en el proceso genérico de una CS Multi-Agente (MAS), para complementar las carencias de las metodologías genéricas. Este marco metodológico ésta centrado en el proceso y adopta el Modelado de Referencia de Operaciones de la CS (SCOR), estando bien estructurado en lo genérico para el desarrollo de las metodologías MAS, las cuales son buenas guías para el Análisis y Diseño de Sistemas de la CS Multi-Agente (MASCS). El segundo enfoque, de implantación, es un marco basado en un software que se

compone de agentes para simplificar e incrementar el desarrollo de las metodologías MAS, basado en un Marco Desarrollado en Agentes en Java (JADE). El tercer enfoque es un marco basado en requerimientos representados por diferentes segmentos de la R/CS en niveles detallados o agregados en modelos híbridos de resolución.

Lau et Al. (2007), modelan una CS bajo un Sistema MAS, donde los agentes son autónomos y adaptables, refiriéndose a la capacidad de influir en decisiones dentro del MAS. Los agentes adaptables cambian su autonomía durante su ejecución y así mejoran los resultados bajo la influencia de cambios en el entorno. La CS, sus diferentes etapas y nodos, tienen niveles de autonomía en el entorno que las rodea. Los autores aplican el MAS a dos CS que tienen cambios en el entorno en tiempo real. La primera CS, es una de Control de Inventario Militar, la cual está en una transición de paz a guerra. Y la segunda CS se encuentra bajo una crisis (ya sea por ejemplo un ataque terrorista, una gripe aviar, etc.). En los resultados de estas, se ve como cada componente de cada CS se adapta al comportamiento y a los cambios del entorno.

Lin, F. et. al, (2008) proponen un Mecanismo de Coordinación Distribuida basada en Agentes (ADCM), que integra técnicas de negociación de Algoritmos genéticos, para una Planificación de fulfillment para encontrar los clientes que tienen más demanda. Evaluando así el mejoramiento y viabilidad de este modelo, con experimentos en una CS que fabrica moldes. Los resultados muestran que el ADCM propuesto es factible, para la organización y coordinación de la CS.

### **2.5.3.2. Aplicaciones de la Metodología del Conexionismo a la C/RS**

Lo que se refiere a las aplicaciones de la metodología del conexionismo, podemos darnos cuenta a partir de numerosos trabajos, de los cuales hemos tenido en cuenta los que más van con el enfoque de esta investigación. Así observando que los más destacados son los trabajos de Redes Neuronales y de Algoritmos Genéticos.

Leung, H. L., (1995) hacen una introducción general de las Redes Neuronales para ser estudiadas en la Cadena de Suministro. Sugieren que las redes neuronales son una herramienta de complemento para otras técnicas como los Sistemas Expertos, Programación Matemática, Simulación y etc.

También dicen que la CS está compuesta por diferentes Entidades de Negocio y que sus productos fluyen a partir del proveedor de materias primas hasta el consumidor final. Pudiendo ser modelada con varios grados, tal como el procesamiento de material, fabricación de componentes y otros. Considerando las siguientes características para la metodología propuesta por ellos:

**Optimización:** Hay una larga cantidad de actividades que se pueden incluir en está. Los ejemplos más obvios de estas actividades están derivados de la Gestión de Transporte del Just-In-Time, Localización de Recursos y Secuenciación tanto local como global.

**Pronóstico:** Es un problema muy común para muchas empresas, particularmente en la Gestión de la Cadena de Suministro como la inexactitud en la planificación de demanda.

**Simulación y Modelado:** Analiza la dinámica de la CS usando técnicas para describir eventos mediante la Simulación y Sistemas Dinámicos.

**Globalización:** La implicación de la globalización en la CS es que hay incremento en la coordinación entre actividades realizadas en diferentes centros.

**Soporte de Decisión:** El usos de las Redes Neuronales es para facilitar el proceso de toma de decisiones de la GCS.

Según Leung, H. L., (1995) las ANN son atractivas para un número de aplicaciones de la GCS. Nos preguntamos porque usar las ANN. Ya que hay una gran cantidad técnicas existentes, como los Sistemas Expertos y otros enfoques analíticos direccionado al mismo problema. La respuesta a esta pregunta, es que las ANN no se han pensado como un reemplazo, si no como una herramienta para complementar dichas técnicas. A partir de las perspectivas de aplicación de desarrollo, las ANN están consideradas como una buena herramienta de software, dependiendo del uso que se le quiera dar. Teniendo en cuenta esto, es previsible que las Redes Neuronales tiendan en gran medida a una forma de sistema híbrido en el ámbito industrial.

En particular el uso de las ANN es combinándolas con otras técnicas para proporcionar una mejor solución que no se puede proporcionar con una sola técnica. Por ejemplo, un Modelo Matemático realizado con una herramienta de producción para la gestión de la distribución en la Cadena de Suministro puede descomponerse en dos fases. La primera fase consiste en combinar los productos en familias para optimizar beneficios, esta es la fase en que la adopción de restricciones puede formularse con relativa facilidad y, por tanto, la fortaleza de las técnicas analíticas. Posteriormente, las ANN se pueden aplicar para resolver los problemas de incertidumbre en las diferentes actividades de planificación de distribución donde los parámetros pueden ser inciertos y así sucesivamente. El ámbito de aplicación de Redes Neuronales en diferentes metodologías híbridas no se limita a la combinación con pocas metodologías. Madey et. Al, (1994) ha investigado cómo las ANN se pueden integrar con una variedad metodologías para hacer frente a complejos problemas en este entorno. La Fig. 2.20 muestra diferentes ejemplos de metodologías híbridas de este tipo de enfoque. Desde el punto de vista de ingeniería, la capacidad de integración que tienen las ANN con

otras tecnologías existentes es muy importante porque permite la aplicación gradual que es una estrategia común para la introducción de cualquier nueva tecnología.

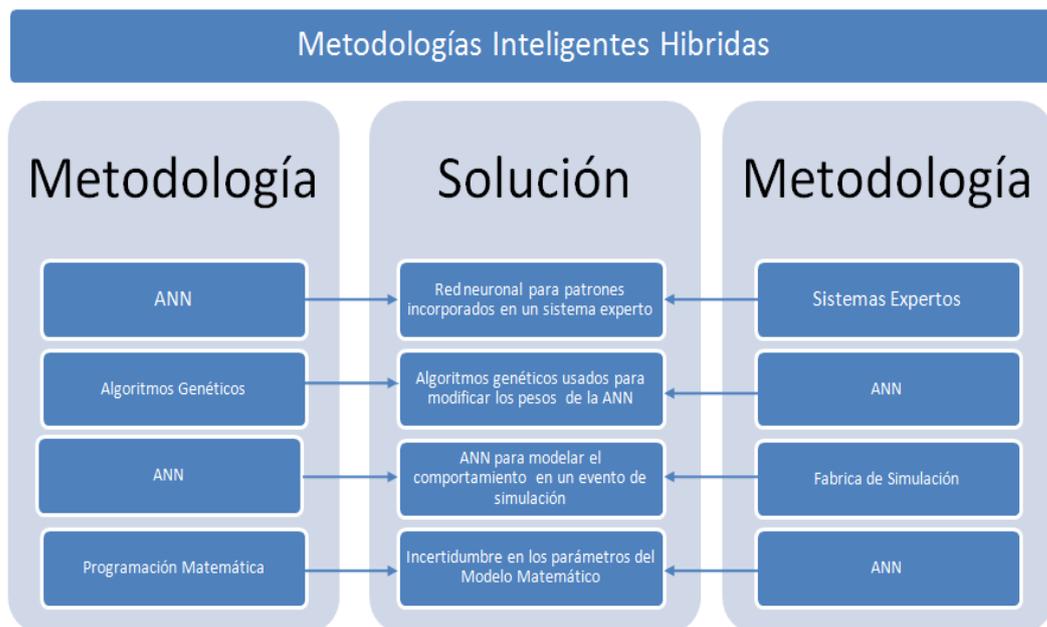


Figura 2.20.- Metodologías inteligentes híbridas (Modificado de: Leung, H. L., (1995))

Sexton, R., S., et. Al, (1998) presentan en su publicación, un estudio que examina la búsqueda tabú, como una alternativa de mejoramiento de la Red Back-propagation. Para probar las propiedades de la búsqueda tabú, como técnica de búsqueda Global para optimizar las Redes Neuronales, emplean la simulación Monte Carlo. Mantienen constante la arquitectura de la red, para probar siete funciones de prueba y aplican una serie temporal de ecuaciones diferenciales Mackey-Glass. Concluyen que aplicando la búsqueda de tabú, se lograba considerablemente mejores soluciones junto con la Red Back-propagation. Comprueban también, que con menos iteraciones consiguen una mejor solución.

En el trabajo publicado por Feng y colaboradores (Feng et. al, 2003), se presenta un Modelo de Demanda Determinística que varía en el tiempo sobre un horizonte Planificación Fija, para el Problema de Programación del Taller de Trabajo. Como contribución, investigan la aplicación de las Redes Perceptron Multi-Capa (MLP) al problema de estudio, específicamente en diseñar y desarrollar un Sistema de Programación para el Taller de Trabajo. Dicho de otro modo, desarrollan un método para organizar la muestra de datos, que permite indicar la secuencia del procesamiento en el tiempo para un trabajo simultáneamente. Para controlar las soluciones mínimas locales, utilizan el proceso de entrenamiento de la Red Back-propagation, que por medio de un proceso Heurístico revisa y mejora el Programa de Producción inicial.

Chiu, M., et. al, (2004) presentan un algoritmo para la Planificación Colaborativa de la CS, que tiene como objetivo, minimizar costes por medio de un modelo matemático que considera los agentes de colaboración, constituidos por las redes neuronales. La finalidad, es conseguir la ejecución para los pedidos comprometidos, a través de la R/CS, considerando aspectos como la Producción, Suministro y Entrega. Su estudio es aplicado para determinar la Planificación Colaborativa de la CS, a un conjunto de pequeñas firmas, que reúnen y proveen bienes a un corto plazo de entrega a un mercado regional. Los resultados de su propuesta, demostraron mejorar el rendimiento de las ANN, consiguiendo el mejoramiento de los pedidos comprometidos y aumentando la utilización de los recursos para los agentes la Cadena.

Hnaien, et. al, (2008) proponen un Algoritmo Genético que abarca las etapas y nodos de la CS, con el fin de verificar su robustez a través de diferentes escenarios de la CS. Además interpretan el tipo de solución, convergencia y tiempo de cálculo. Todo esto analizando la Planificación de Suministro de Sistemas de Ensamble de dos Niveles bajo Incertidumbre. Suponiendo que la demanda y la fecha de entrega son conocidas. Para que el proceso inicie en cada nivel se tienen en cuenta, los componentes necesarios para el inventario inicial. Si la demanda del producto final, no es entregada en la fecha estipulada, hay un coste adicional. De la misma manera, aparece otro coste adicional, cuando los componentes de cada nivel llegan antes de empezar la línea de ensamblaje. Teniendo como objetivo encontrar la fecha de salida de los componentes para minimizar el coste total.

(Xiao, F., et. al, 2007) a partir, del diseño de productos, en una plataforma la cual puede reducir en gran parte el coste de diseño y producción, satisfaciendo la necesidad del mercado. Sin embargo esta, tiene el problema, que el producto seleccionado, puede ser común a otros productos de otra plataforma. Todo esto, considerando los costes de los componentes para un producto en vista a la CS. Así Desarrollando un modelo, que pretende ser óptimo con el uso de Algoritmos Genéticos. Dando así un ejemplo numérico, el cual muestra un algoritmo genético en MATLAB 7.0, el que obtiene como resultados los productos seleccionados y el coste total.

### 2.5.3.3. Aplicaciones de la Metodología del Conductismo a la C/RS

Por último en las aplicaciones para la metodología del conductismo, lo más trabajado en esta, es lo investigado en lo que tiene que ver con fuzzy, que es una metodología que gracias a Zadeh ha ido ganando cada vez renombre en trabajos de la CS. En los siguientes párrafos se enunciarán los trabajos más enfocados a esta investigación.

Chen y Lee (2004) presentan un modelo de Planificación de la Producción con demanda incierta y precios difusos. Desarrollan un programa no lineal entero no mixto con múltiples objetivos. Para tratar la demanda incierta consideran siete escenarios de demanda con sus probabilidades de ocurrencia. La decisión final fuzzy se interpreta como la intersección de todos los objetivos fuzzy y los precios fuzzy de los productos. Aplican un método de optimización fuzzy de dos etapas. En la primera usa el operador mínimo y en la segunda emplean el operador de producto que maximiza el objetivo general tipo Nash.

Wang y Liang (2004) han desarrollado un modelo de programación lineal multiobjetivo fuzzy (PLMOF) para resolver el problema de Planificación agregada multiproducto. El modelo propuesto intenta minimizar el coste total de producción, los costes de inventario y escasez, y los cambios en los niveles de mano de obra, considerando el nivel de inventario, nivel de mano de obra, capacidad, área de almacén y valor del dinero en el tiempo. Plantean el modelo de programación lineal multiobjetivo y lo convierten en PLMOF usando la función de membresía lineal por partes (piecewise linear membership function) de Hannan (1981) para representar las metas fuzzy del decisor en el modelo, junto con el operador mínimo de conjuntos difusos (minimum operator of the fuzzy decision-making) de Bellman y Zadeh (1970). Además hacen análisis de sensibilidad (en su aplicación prueban siete escenarios) considerando sólo dos de los tres objetivos o dos fijos y cambios en el tercero, y analizando variaciones en: valor del dinero, coste de producción unitario, coste de inventario y costes de contratación y despido. Afirman que con esto el decisor puede ver los intercambios (trade-offs) y conflictos entre los distintos objetivos, y modificar las funciones de membresía de los objetivos hasta obtener una solución satisfactoria.

Aliev et. al, (2007) presenta un modelo de Planificación Agregada de Producción y Distribución que frente a demanda y capacidades inciertas, y otros factores que introducen incertidumbre en la solución. Su modelo está formulado con función objetivo, variables de decisión y restricciones fuzzy y resuelto mediante un algoritmo genético.

Peidro et. al, (2007) formulan un problema de CS con un programa lineal entero mixto fuzzy donde los datos inciertos, y modelados mediante números fuzzy triangulares en

---

el contexto de la teoría de la posibilidad. Todo esto a partir de un modelo de programación matemática difusa para la planificación táctica de la CS bajo incertidumbre de Suministro, Producción y Demanda.

Liang (2008) presenta un modelo de programación lineal multiobjetivo fuzzy (PLMOF) para resolver problemas de planificación de producción y transporte integrados. El modelo propuesto intenta minimizar simultáneamente los costes totales de producción y transporte (de las fábricas a los centros de distribución), el número total de ítems rechazados y el tiempo total de envío, teniendo en cuenta el nivel de mano de obra, las capacidades, flexibilidad de cuota (cantidad de producto de cada fábrica a cada distribuidor por periodo), restricciones de presupuesto en cada fábrica, así como las áreas de almacén y previsión de la demanda de cada centro de distribución. Plantea el modelo de planificación de producción y transporte multiobjetivo fuzzy y lo convierte en PLMOF usando el concepto de decisiones fuzzy de Bellman y Zadeh (1970) y el método de programación fuzzy de Zimmermann (1978). Las funciones de membresía lineal y el operador mínimo son usadas para convertir el modelo original multiobjetivo fuzzy en un programa lineal equivalente. Adicionalmente, el modelo propuesto provee una estructura sistemática que facilita a los decisores modificar interactivamente los datos fuzzy y los parámetros hasta obtener una solución satisfactoria, y puede ayudar a mejorar las relaciones entre productor y distribuidor dentro de una cadena de suministro.

#### **2.5.4. Conclusiones de las aplicaciones para las metodologías de IA**

Sin tener en cuenta la diferencia entre las tres metodologías de IA, la mayoría de investigadores sólo tratan una pequeña parte de éstas. El gran abanico de metodologías en la IA, es de gran ayuda para incursionar en la inteligencia biológica, especialmente en la inteligencia humana. Para así mejorar la investigación en el comportamiento humano y biológico pudiendo simular estos.

Los distintos autores mencionados en este apartado han trabajado con diferentes Problemas de Incertidumbre presentes en la CS. Estos pueden ser implantados con las MIA. Pudiendo así, tener noción que tipo de metodología es más conveniente para el uso de determinado problema de la C/RS, ya sea, de Suministro, Producción, Demanda, etc.

A partir de las MIA se buscará desarrollar un sistema de Planificación Colaborativa basado en Redes Neuronales para resolver los problemas de Incertidumbre en la Cadena/Red de Suministro. Se quiere proporcionar mediante la integración de las Redes Neuronales y el Modelo Matemático Determinista una planificación más fiable en cada etapa de la Red/Cadena de Suministro. Y mediante esta metodología lo que se pretende es tener una visión más amplia de la Inteligencia Artificial.

Se quiere demostrar que para la Planificación en la Cadena de Suministro es muy útil usar la IA basándose en las Redes Neuronales Artificiales. Así mismo lo que se pretende es que los investigadores se familiaricen más con este tipo análisis para tener soluciones óptimas a la hora de trabajar con Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro.

### 2.5.5. Referencias

- Aliev, R.A., Fazlollahi, B., Guirimov, B.G. y Aliev, R.R., (2007). Fuzzy-genetic approach to aggregate production–distribution planning in supply chain management. *Information Sciences*, 177, 4241–4255.
- Barr A. y Feigenbaum E. A., (1981). *The Handbook of Artificial Intelligence*, Vol. 1. William Kaufmann, Inc., Los Altos, CA.
- Barr A. y Feigenbaum E. A., (1981). *The Handbook of Artificial Intelligence*, Vol. 2. William Kaufmann, Inc., Los Altos, CA.
- Barr A. y Feigenbaum E. A., (1981). The art of AI: themes and case studies of knowledge engineering, In: *Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Cambridge, MA, Vol. 5: 1014–1029.
- Beasley D., Bull D., y Martin N., (1993). “An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals”. *University Computing*, 15:2, pp. 58-69.
- Bellman, R.E. y Zadeh, L.A., (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science* 17, pp. 141–164. MathSciNet.
- Bode, H. W., 1960. Feedback-the history of an idea, In: *Proceedings of the Symposium on Active Network and Feedback Systems*, Brooklyn, NY.
- Chen, C.L. y Lee, W.C., (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computer & Chemical Engineering*, 28(6-7), 1131-1144.
- Cai, Z., y Xu, G., (1996). *Artificial Intelligence: Principles and Applications*, Tsinghua University Press, Beijing.
- Chen, W., (2000). *Decision Support System and Its Development*, Tsinghua University Press, Beijing.
- Chinnam, R.B., y Govind, R., (2006). *Multi-agent Systems for Supply Chain Modeling: Methodological Frameworks*. Wayne State University, Detroit, MI, USA.
- Church, A., (1941). *The Calculi of Lambda Conversion*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Chiu, M. y Lin. W., (2004). Collaborative supply chain planning using the artificial neural network approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 15, Issue 8, Pag. 787-796.
- Colmerauer, A., (1990). An Introduction to Prolog III, *Communications of the ACM*, Vol. 33, No. 7:69–90.

Duda, R.O., Hart, P.E., y Stork, D.G., (2000). *Pattern Classification*, 2nd edition, Wiley Interscience, Inc., New York. *Methodologies of AI* 41

Dunker T., Radons G., Westkämper E., (2003). "A coevolutionary algorithm for facility layout problem". *International Journal of Production Research*. Vol. 41, nº. 15, pp. 3479-3500.

Eichfeld, H., Kunemund, T. y Menke, M., (1996). "A 12b generalpurpose fuzzy logic controller chip", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. vol.4, N. 4, pp. 460-475.

Fang, S., (2000). *Discrete Mathematics*, Xidian University Press, Xi'an.

Feng, S., Li, L., Cen. L., y Huang, J., (2003) Using MLP networks to design a production scheduling system. *Computers and Operations Research* Volume 30, Issue 6.

Fu, J., (1989). *Robotics: Control, Sensors, Vision and Intelligence*, China Science Press, Beijing.

Genesereth M. R., y Nilsson, N. J., (1987). *Logic Foundation of Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, Palo Alto, CA.

Giarratano, J.C., y Riley, G.D., (2003). *Expert Systems: Principles and Programming*, Thomson Course Technology, Boston, MA.

Goldberg D., (1989). "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning". Addison-Wesley Publishing Company, Inc. University of Alabama.

Gödel K., (1940). *The Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum— Hypothesis with the Axioms of Set Theory*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Hannan, E.L., (1981). Linear programming with multiple fuzzy goals. *Fuzzy Sets and Systems* 6, pp. 235–248. [Abstract](#) | [Article](#) | [PDF \(848 K\)](#) | [MathSciNet](#) | [View Record in Scopus](#) | [Cited By in Scopus \(100\)](#).

He, X., (1990). *Knowledge Processing and Expert System*, National Defence Industry Press, Beijing.

Hicks Christian, (2003). "A Genetic Algorithm tool for design manufacturing facilities in capital goods industry". Faculty of Engineering, Newcastle U.K.

Hnaïen, F., Delorme, X., y Dolgui, A., (2008). Genetic algorithm for supply planning in two-level assembly systems with random lead times. *Industrial Engineering and ComputeScience Centre Centre (G2I)*. Ecole des Mines de Saint Etienne, 158, cours Fauriel, 42023 Saint Etienne, France.

Hopfield, J. J. , (1988). *Artificial Neural Networks*, *IEEE Circuit and Devices Magazine*, Vol. 4, No. 9:3–10.

- Hopfield, J. J., (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, In: Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 79: 2554–2558.
- Islier A. A., (1998). “A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design”, International Journal Production Research, vol. 36. nº. 6, pp. 1549-1569.
- Jiang, X., (1987). Development of foreign robots and our countermeasure, Robot, No.1:3-10.
- Kyu-Yeul Lee, Seong-Nam Han, Myung-Il Roh, (2003). “An improved genetic algorithm for facility layout problems having inner structure walls and passages”. Computers & Operations Research, nº. 30, pp. 117-138.
- Lau, H.,C., et al., (2007) Real-time supply chain control via multi-agent adjustable autonomy. School of Information Systems, Singapore Management University, 80 Stamford Road, Singapore 178902, Singapore.
- Lazo Juan y Pacheco Marco, (1999). “Planeamiento para mantenimiento de Máquinas de Impresión por Algoritmos Genéticos”. Proceeding-V Congreso Internacional de Ingeniería Informática, ICIE, Buenos Aires, Argentina.
- Leung, H. L., (1995). Neural Networks in Supply Chain Management, 95 Engineering Management- Conference, 0-7803-2799-3/95/ IEEE.
- Li, D., (1984). A Prolog Database System, John Wiley & Sons, New York.
- Li, Z., y Tu, Y., (2003). Apery Intelligent Control, National Defence Industry Press, Beijing.
- Liang, T.-F., (2008). Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain. Computers & Industrial Engineering, Volume 55, Issue 3, October 2008, Pages 676-694.
- Lin, F., Kuo, H., y Lin S., (2008). The enhancement of solving the distributed constraint satisfaction problem for cooperative supply chains using multi-agent systems. Decision Support Systems Volume 45, Issue 4.
- Lin, Y., Zhang, B., y Shi, C., (1988). Expert System and Its Applications, Tsinghua University Press, Beijing.
- Liu, X. y Gödel K., (2003). Center for Science Communication, Peking University, <http://www.csc.pku.edu.cn>.
- Liu X., y Jiang, Y., (1987). Theorem Machine Proof, Beijing Science Press, Beijing.
- Li, D., y Du, Y., (2008). Artificial Intelligence with Uncertainty. Chapman & Hall, Edit. By Taylor & Francis Group, LLC.

Madey, G.,R., Weinroth, J., y Shah, V., (1994). "Hybrid Intelligent Systems: Tools for Decision Making in Intelligent Manufacturing," *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, C. H. Dagli (Ed), Chapman & Hall, pp. 67-90.

McCulloch, W. S. y Pitts, W., (1943). A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5: 115–133.

Miller W. T., et al. (1990), *Neural Network for Control*, MIT Press, Cambridge, MA.

Minsky, M. L., (1969). *Semantic Information Processing*, MIT Press, Cambridge, MA. 40 *Artificial Intelligence with Uncertainty*.

Muñoz Aurelio, (1997). "Algoritmos genéticos en el cálculo de la optimización de la fiabilidad de componentes y sistemas con ejemplo de aplicación a centrales nucleares", Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Tesis Doctoral UPV Valencia.

Newell, A. y Simon, H. A. , (1976). *Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search*, *Communications of the ACM*, Vol. 19: 113–126, 1976.

Peidro, D., Mula, J. y Poler, R., (2007). Supply chain planning under uncertainty: a fuzzy linear programming approach. *Fuzzy Systems Conference. FUZZ-IEEE 2007. IEEE International*. July 2007. Pp. 1-6.

Sánchez. A., (2000). "Metodología de Optimización Conjunta y Multi-criterio de Requisitos de Vigilancia y Condiciones de Mantenimiento de Componentes de CC.NN" Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia.

Sexton, R.S., Dorsey, R.E. y Johnson, J.D., (1998). Toward global optimization of neural networks: a comparison of the genetic algorithm and backpropagation. *Decision Support Systems* 22 2, pp. 171–185.

Simon, H. A., (1997). *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed., MIT Press, Cambridge, MA.

Suresh G., Vinod V. y Sahu S., (1995). "A Genetic algorithm for facility layout", *International Journal Production Research*, vol. 33, nº. 12, pp. 3411-3423.

Rajasekharan M., y Peters B.A., (1998). "A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems", *International Journal Production Research*. vol. 36. nº. 1, pp. 95-110.

Roussel, P., (1975). *Prolog: Manuel de Reference et d'Utilisation*. Groupe d'Intelligence Artificielle, Faculté des Sciences de Luminy, Marseilles, France.

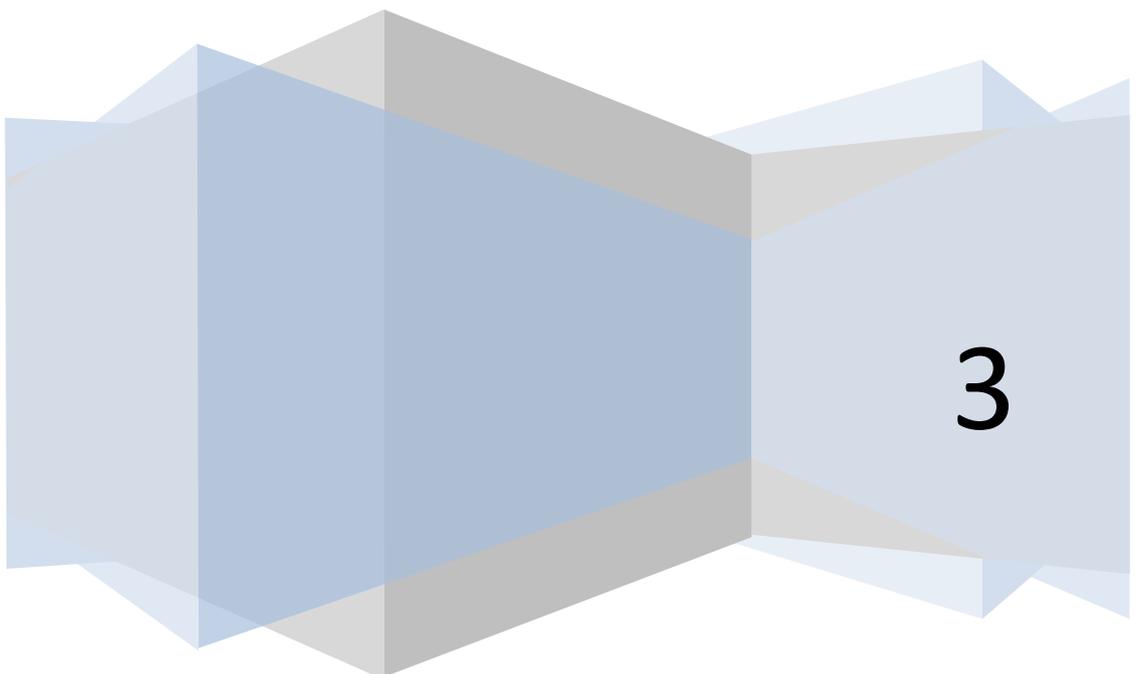
Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. y Williams, R.J., (1986). Learning Internal Representations by Backpropagating Errors, *Nature*, Vol. 323, No. 99: 533–536.

- Wang, D., (2002). Artificial Intelligence Theory and Technology Revolution, <http://entropy.com.cn>.
- Wang H., y Mao, Z., (2002). Intelligent Control Method of Robot, National Defence Industry Press, Beijing.
- Wang, R.C. y Liang, T.F. (2004). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *Int. J. Production Economics* 98, 328–341.
- Wang, Y., y Li, Y., (1994). Discrete Mathematics, Science Press, Beijing.
- Werbos, P. J., (1974). Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences, Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA.
- Wiener, N., (1988). The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society, Da Capo Press, Cambridge, MA.
- Wu, H., y Cui, L., (2000). The ACM Turing Award (1966–1999) - the Development History of Computer Phylogeny, High Education Press, Beijing.
- Xiao, F., Tang, X. y Zhang, M., (2007). Application of Genetic Algorithms in Supply Chain Platform Products Design. International Conference on Transportation Engineering. Proceedings of the First International Conference Chengdu, China.
- Zhang, X., (1998). Computer Science and Technology Encyclopedia, Tsinghua University Press, Beijing.
- Zimmermann, H.-J., (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems* 1 (1978), pp. 45–56.



**Universidad Politécnica de Valencia**

# Propuesta Metodológica



**ÍNDICE**

<b>3.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>117</b>
<b>3.2.</b>	<b>Metodología Propuesta.....</b>	<b>118</b>
<b>3.3.</b>	<b>Modelado del funcionamiento, operaciones y estructura física de una Cadena/Red de Suministro: Un enfoque Determinista y de Incertidumbre .....</b>	<b>119</b>
<b>3.4.</b>	<b>Modelo Decisional y Colaborativo de la Cadena/Red de Suministro .....</b>	<b>120</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>Modelo Matemático de Determinista (MMD) de un Sistema de Planificación de Operaciones en la Cadena/Red de Suministro .....</b>	<b>122</b>
<b>3.5.</b>	<b>Representación del Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI).....</b>	<b>142</b>
<b>3.6.</b>	<b>Arquitectura de la Plataforma Tecnológica SCANN .....</b>	<b>149</b>
<b>3.7.</b>	<b>Elección y Tratamiento de Datos .....</b>	<b>152</b>
<b>3.8.</b>	<b>Plataforma Supply Chain Artificial Neuronal Networks “SCANN” Software de una Cadena/Red de Suministro con parámetros Inciertos.....</b>	<b>153</b>
<b>3.9.</b>	<b>Resumen .....</b>	<b>162</b>
<b>3.10.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>163</b>

## CAPÍTULO 3.

### PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PLANIFICACIÓN MAESTRA DE OPERACIONES EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN EL CONTEXTO DE INCERTIDUMBRE

#### 3.1. Introducción

En este Capítulo presentamos una Propuesta Metodológica para la Planificación Maestra de Operaciones en la Gestión de la cadena de Suministros en el Contexto de Incertidumbre. La motivación de este trabajo radica en la necesidad de contar con una metodología específica para el modelado y desarrollo de una Plataforma Tecnológica basada en principios de la Ingeniería de Organización, que ayuden a los investigadores en todas las fases de desarrollo y que provean guías específicas, claras y no-ambiguas. El presente Capítulo se desarrolla a partir de: (i) la Gestión de la Cadena/Red de Suministro, identificada en el Apartado 2.1; (ii) Modelado del Proceso Colaborativo de Planificación de la Cadena de Suministro, presentado en el Apartado 2.2; (iii) Visión Jerárquica en la Vista Decisional de la Planificación de la Cadena/Red de Suministro, presentada en el Apartado 2.3, y (iv) Metodologías de Modelado en la Cadena de Suministro/Planificación de la Cadena de Suministro en el Contexto de Incertidumbre, y Metodologías de Inteligencia Artificial (Apartados 2.4 y 2.5). Como hemos indicado en capítulos anteriores, una Cadena de Suministro en un Contexto de Incertidumbre es un sistema complejo y de gran escala. Incorpora una serie de niveles conceptuales y de organización ligados con las características propias de las empresas que las implementan.

Por tal razón la Propuesta Metodológica empieza con una Propuesta de Modelado, sigue con la Situación del Problema, luego presenta dos modelos, el primero hace referencia al Modelo Decisional y Colaborativo de la Cadena/Red de Suministro para formular un Modelo Matemático Determinista de un Sistema de Producción de la Cadena/Red de Suministro, y el segundo especifica la Representación del Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI), con el cual se formula la Red Neuronal de esta investigación. Después se abarca la Arquitectura de la Plataforma Tecnológica Supply

Chain Artificial Neuronal Networks (SCANN) y se prueba el funcionamiento de la Plataforma Tecnológica SCANN.

### 3.2. Metodología Propuesta

A partir del Estado del Arte (Capítulo 2), que sustenta el modelo para la investigación científica de ésta Tesis y que permite la toma de decisiones, predicción, explicación y comprensión de los fenómenos de la gestión de procesos logísticos, se ha desarrollado la Propuesta Metodológica de estudio. En este contexto, para dar respuesta a las preguntas de investigación, la metodología propuesta comienza con el reconocimiento del fenómeno en su esencia y sus causas, expuesto a través del planteamiento del problema.

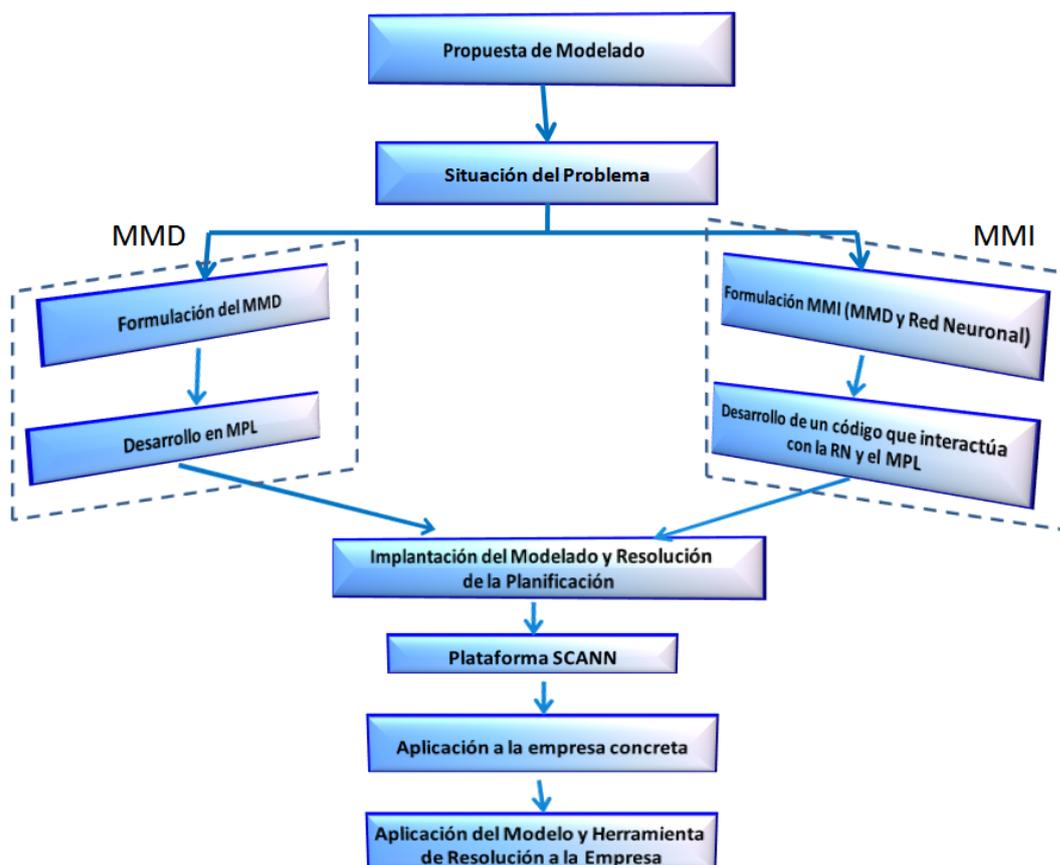


Figura 3.1.- Metodología Propuesta

Esta metodología (ver Fig. 3.1) se compone por una Propuesta de Modelado, la Situación del Problema, dos modelos matemáticos (Determinista y de Incertidumbre), la Implantación del Modelado y Resolución de la Planificación, la Plataforma SCANN, la

---

Aplicación a una Empresa Concreta y por último la Aplicación del Modelo y Herramienta de Resolución a la Empresa.

A partir de los planteamientos identificados en el Estado del arte (Capítulo 2), se determinan las bases científico metodológicas para desarrollar los modelos que buscan dar solución al planteamiento del problema pensado en el contexto del Sector Cerámico (Capítulo 4), destacando los modelos deterministas y de incertidumbre que sirven de referencia y de fundamento teórico susceptibles de ser aprovechados para resolver el problema planteado. En virtud del desarrollo de los modelos, su validación práctica es necesaria, por lo que se propone aquellas técnicas de solución (Apartado 5.3) que permiten la aplicación de los modelos y obtención de los resultados (Apartado 5.4), a partir de los cuales la deducción de las conclusiones permitirá examinar el desempeño de los modelos mismos, analizar con mayor profundidad la problemática, corroborar las preguntas de investigación, revisar las implicaciones para la teoría, las prácticas y las políticas de gestión, así como identificar las limitaciones y líneas futuras de investigación.

### **3.3. Modelado del funcionamiento, operaciones y estructura física de una Cadena/Red de Suministro: Un enfoque Determinista y de Incertidumbre**

En la Cadena/Red de Suministro (C/RS) hay una serie de actividades y organizaciones por las cuales los materiales fluyen aguas abajo desde los Proveedores Iniciales, hasta los Clientes Finales. La C/RS está ligada a muchas restricciones de los procesos logísticos entre las diferentes etapas, por lo cual tiene muchos problemas de toma de decisiones. Los modelos para la toma de decisiones, se pueden clasificar en dos categorías: modelos deterministas y modelos con incertidumbre. En los modelos deterministas, una buena decisión es valorada de acuerdo a los resultados, es decir, libre de riesgo. Sin embargo, en los modelos con incertidumbre, el decisor del problema no está preocupado únicamente por los resultados, sino que también con la cantidad de riesgo que cada decisión conlleva.

Partiendo de las consideraciones anteriores, se plantea un modelo para el problema de Planificación de Operaciones (ver apartado 3.2.1.1. Definición del Problema). Proponiendo así dos modelos matemáticos. El primero formula un Modelo Matemático Determinista (MMD) (ver Fig. 3.7), a partir de los planteamientos identificados por Mena et al. (2008). Las bases para este modelo matemático determinista se toman de Chen, L.C. y Lee, W.C. (2004). Todo esto para maximizar el margen de beneficios de las diferentes empresas pertenecientes a una Cadena/Red de

Suministro del Sector Cerámico, la cual abarca Proveedores, Fábricas, Centros de Distribución y Detallistas o Mercados.

Este modelo está formulado como un problema de programación no lineal entera mixta, el cual se resuelve utilizando el Lenguaje de Programación Matemática (MPL) y el motor de resolución LPSOLVER.

El segundo modelo, es un Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI) (ver Fig. 3.8), que prácticamente es el mismo MMD, pero con la diferencia que el MMI incorpora incertidumbre a algunos parámetros del modelo, cambiando así la solución. Para esto se usan Métodos de Inteligencia Artificial (Redes Neuronales).

Este Capítulo presenta la Propuesta de Modelado y se subdivide en dos modelos, el primero hace referencia al Modelo Decisional y Colaborativo de la Cadena/Red de Suministro para formular un Modelo Matemático Determinista de un Sistema de Producción de la Cadena/Red de Suministro y el segundo especifica la Representación del Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI), con el cual se formula la Red Neuronal de esta investigación.

### **3.4. Modelo Decisional y Colaborativo de la Cadena/Red de Suministro**

A partir de las tres visiones decisionales mencionadas en el Apartado 2.3, se ha definido una Visión Decisional propia para esta investigación.

En el Apartado 2.3 se hace referencia a dos Niveles Jerárquicos, que cada autor llamaba de formas diferentes, y en esta investigación los llamaremos Nivel Táctico y Nivel Operativo. La Visión Decisional de más aportación para este apartado, es la de Schneeweiss (2002), ya que plantea una estructura de mayor consolidación para la Cadena/Red de Suministro.

La Figura 3.2 (Lario, 2006), define dos Niveles Jerárquicos de Tomas de Decisiones a lo largo de la Cadena/Red de Suministro y ayuda a tener una mejor Visión de la Organización de esta. De hecho, las dos Jerarquías Verticales (Táctica-Operativa) manifiestan que el Nivel Táctico es el que da las órdenes al Nivel Operativo por medio de una Instrucción, la cual se da después de realizar una Anticipación (para encontrar una decisión factible, el Nivel Táctico considera las características relevantes del Nivel Operativo). Cuando se da una instrucción al nivel Operativo, en caso de que éste se encuentre en situación de reaccionar sobre las instrucciones realizadas por el Nivel Táctico, la influencia Operativa-Táctica se retroalimenta. En este Sistema Jerárquico

debemos tener en cuenta en que campo de toma de decisiones nos movemos, ya sea centralizado o descentralizado (es decir si hay uno o varios decisores).

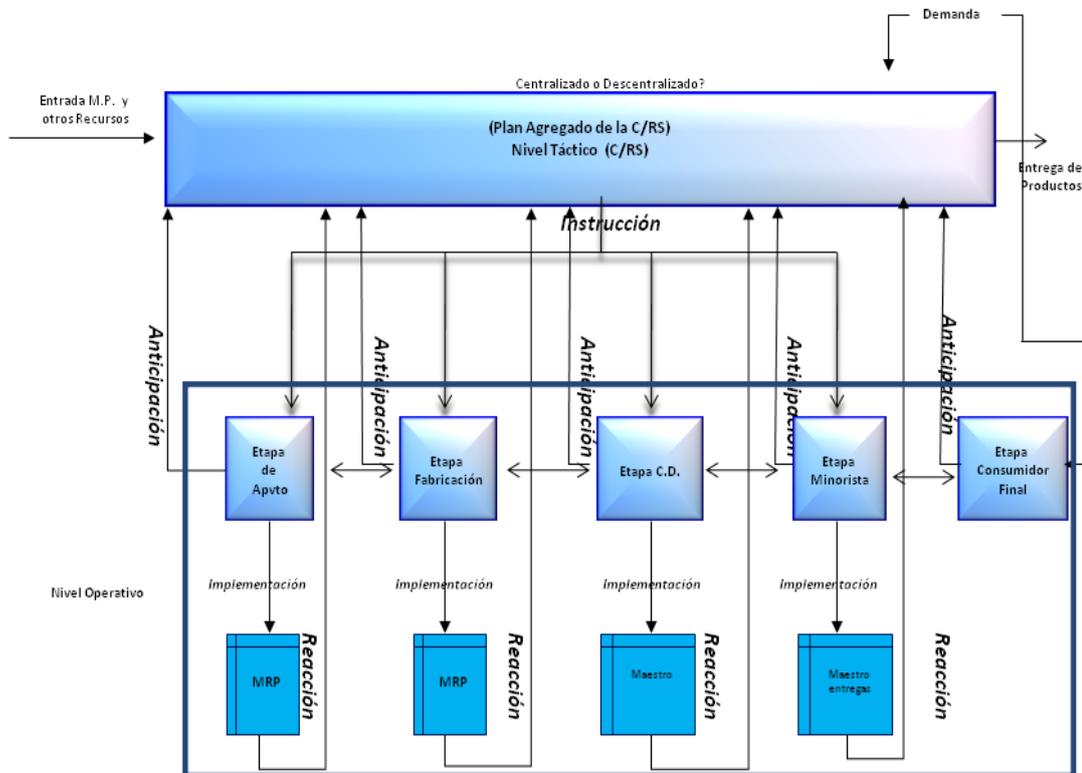


Figura 3.2.- Visión Decisional en esta Investigación (Lario, 2006)

A partir del plan agregado (Nivel táctico), generador de toda la actividad jerárquica en éste caso de C/RS. Es importante la relación de Planificación de Operaciones que hay con el Nivel Operativo, la cual es a corto y medio plazo para cada etapa de la C/RS; lo primordial sería que cada una de estas etapas conociera sus Sistemas de Planificación. De particular interés en este contexto de C/RS, están los sistemas de Toma de Decisiones Distribuidas (TDD) (Scheneeweiss, 2002) entre cada etapa. En particular estos sistemas asumen los tres niveles jerárquicos (estratégico, táctico y operativo) en la cadena de suministro, pero en este proyecto de investigación se tienen en cuenta los niveles a medio y corto plazo. En este caso, como ejemplo para estos dos niveles, se hace referencia a un caso de medio plazo, en que un Distribuidor informa al Detallista de la capacidad necesitada, mientras que a corto plazo el Detallista especifica la demanda actual. En el proceso el Detallista puede adaptar en lo posible (mediante su Jerarquía Vertical) su capacidad para satisfacer la demanda a corto plazo. Los tres niveles de TDD son siempre de distinta naturaleza (ver Apartado 2.3).

Para la Visión Decisional que se utiliza en esta investigación se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (Burton, et. al, 1995, Scheneeweiss et. al, 2002 y Stadler et. al, 2008):

- Cuantas Etapas de la C/RS debemos tener en cuenta para la toma de decisiones.
- Los Niveles Jerárquicos de la C/RS (Estratégico, Táctico y Operativo) en que se quiere trabajar.
- El ambiente de toma de decisiones en que se va a trabajar: Centralizado o Descentralizado.
- Teniendo en cuenta si la toma de decisiones es Centralizada o Descentralizada, la cantidad de decisores que tomarán parte en el proceso de toma de decisiones.
- E identificar los Niveles Jerárquicos de Interdependencia en la Cadena/Red de Suministro (Schneeweiss, 1995)

A partir de las consideraciones anteriores, se puede acometer el Modelado Matemático de la cadena de suministro en el contexto de incertidumbre.

### **3.4.1. Modelo Matemático de Determinista (MMD) de un Sistema de Planificación de Operaciones en la Cadena/Red de Suministro**

El modelado de la C/RS consiste en construir un modelo matemático que pueda estimar y comparar los resultados de diversas estrategias y decisiones. El objetivo, es ayudar a los responsables a determinar su política y actuaciones de forma científica.

Para planificar la Gestión de C/RS se pretende usar un Modelo Determinista de optimización con el objetivo de Maximizar Beneficios para los Proveedores, Producción, Distribución y Detallistas.

#### **3.4.1.1. Definición del Problema**

El problema en estudio se limita al análisis obtenido sobre una Cadena/Red de Suministro específica que desarrolla sus respectivas actividades entre las diferentes etapas de proveedor, plantas de fabricación, distribuidores, detallistas y clientes en el sector cerámico, concluyendo que existen una serie de particularidades usuales que

especifican el sector cerámico y que se resumen de la forma que sigue, tal y como se concluyo en el Proyecto RdS-2V.RDSINC (2004):

- Extensa clasificación de productos para satisfacer las necesidades de los clientes y elevado nivel de servicio al cliente debido al cambio de sus preferencias.
- La no centralización geográfica de las empresas del sector, dificulta el avance e innovación de procesos para los productos.

Hoy en día la exigencia de los clientes tanto a nivel nacional e internacional y la globalización, ha abierto el campo de la competitividad en este sector, obligando a las empresas a mejorar la atención al cliente, ofreciendo productos muy personalizados que satisfagan sus necesidades y preferencias.

Como se comentó en las particularidades determinadas anteriormente, se originan una serie de dudas que afectan el proceso de planificación de la producción en los siguientes aspectos:

- Fabricación de múltiples modelos de productos que varían en tamaño, colores y formas.
- Ciclos de vida de los modelos realmente cortos.
- Búsqueda de un margen de rentabilidad económico para cada modelo.
- Disminución de costes en cuanto a utilización de los recursos productivos y no productivos.
- Disminución del tamaño de lote de fabricación
- Elevado consumo de la capacidad productiva disponible en la realización de cambios de partida.
- Incremento de los costes asociados a los cambios de partida de Familias y de Productos Finales dentro de una misma Familia.
- Disminución de la productividad debido a un mayor tiempo improductivo empleado para efectuar los cambios de partida.

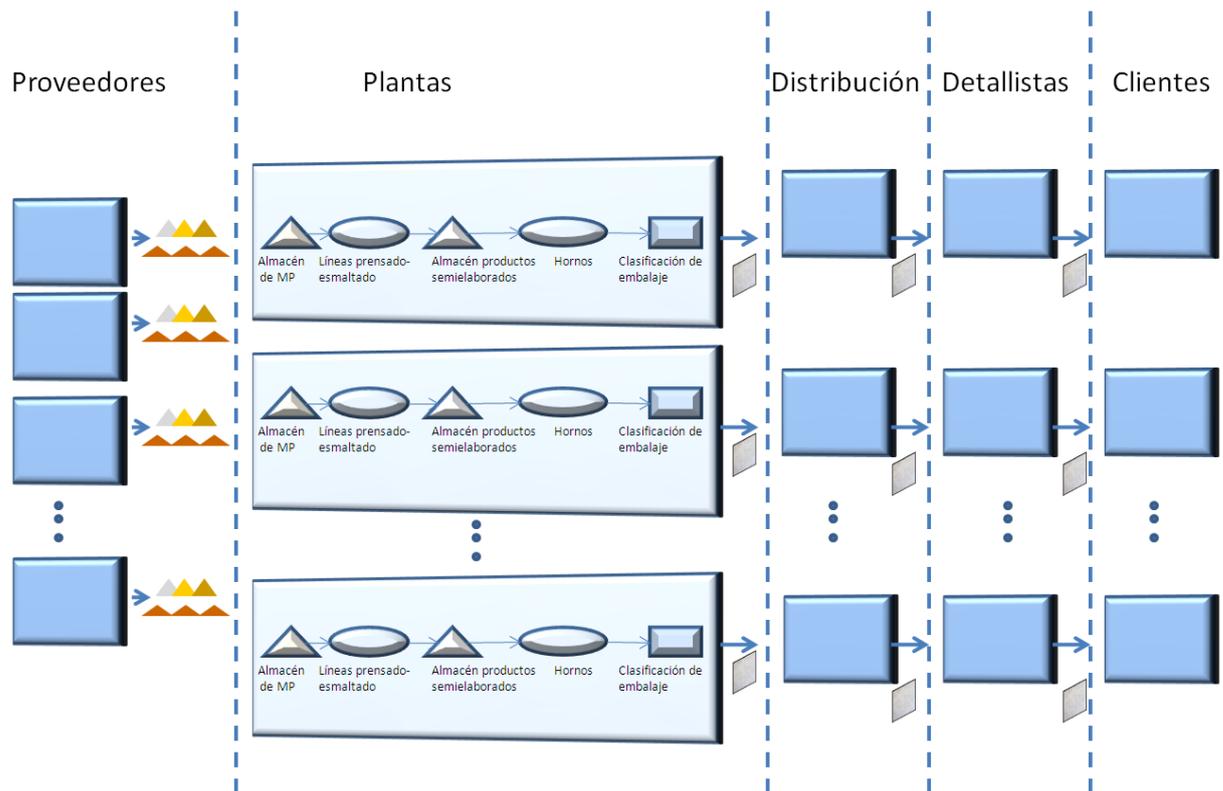
La problemática de la Cadena/Red de Suministro enunciada podría mejorarse mediante la Planificación de Operaciones a partir de un Modelo Matemático

Determinista (MMD) y de un Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI), siendo estos de gran ayuda para la mejora en la optimización (Lee et al., 2002; Chen y Lee, 2004; Peidró et al., 2007; Chern y Hsieh, 2007; Mena et al., 2009; Alemany et al., 2009; Alemany et al., 2010).

Mediante la definición del MMD se pretende abordar y dar respuesta a los problemas anteriores considerados como más relevantes en las actividades de Planificación de la Producción, y que influyen en otras actividades desarrolladas por miembros de la misma C/RS como proveedores de materias primas, componentes e ítems o proveedores de capacidad de fabricación complementaria de productos finales. En cuanto al MMI se pretende afrontar la Incertidumbre en la C/RS a partir de los parámetros que se encuentren con posibles valores indeterminados definidos con anterioridad por el decisor.

Una configuración típica de una C/RS del sector cerámico (Fig. 3.3), en la que se describen los diversos recursos físicos (etapas) y los flujos de transporte (arcos) de productos entre cada etapa. La configuración mostrada puede describirse como multi-producto, multi-proveedor, multi-planta, con centros de distribución y detallistas. Los diversos recursos físicos identificados se han agrupado, en función de las actividades que realizan, dentro de las cinco etapas en las que se puede dividir una C/RS genérica, las cuales son:

- **Proveedores** de Materias Primas, Componentes y Sub-montajes
- **Plantas de Fabricación** de Productos Finales (PF)
- **Centros Distribución** de Productos Finales
- **Detallistas** de Productos Finales
- **Clientes** de Productos Finales



**Figura 3.3.- Recursos Físicos de una Cadena/Red de Suministro del Sector Cerámico para un MMD (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)**

En la Etapa de Proveedores se ubican los proveedores que abastecen de materias primas y componentes a las plantas productivas. Las principales materias primas consumidas en los procesos de fabricación de productos cerámicos son pastas (arcillas rojas y blancas) y esmaltes y fritas (empleados en la sección de esmaltado de las plantas productivas).

En la Etapa de Fabricación se engloban las plantas productivas y los proveedores de capacidad complementaria de fabricación de Productos Finales.

Cada planta se encuentra integrada por varias secciones (almacenes de materias primas, líneas de prensa-esmaltado, almacenes intermedios de productos semielaborados, hornos, y clasificación-embalaje). En las secciones de prensas-líneas de esmaltado y en la de hornos se dispone de diversas máquinas en paralelo con una capacidad limitada (en el Apartado 4.3 está descrito el proceso de fabricación).

En este caso, todos los Productos Finales se fabrican en las plantas productivas pero en caso de escasez, unos se pueden subcontratar totalmente a proveedores externos y otros pueden fabricarse y/o subcontratarse según convenga. En la Etapa de Distribución se consideran diversos niveles (multi-nivel), debido a que la distribución

de los Productos Finales desde las Plantas Productivas a los detallistas o clientes (tiendas y otros clientes) se efectúa a través de varios tipos de centros de distribución (multi-tipo) y a que es frecuente que las grandes empresas del sector cerámico comercialicen sus principales marcas a través de tiendas exclusivas pertenecientes a la propia empresa o mediante franquicias, aunque en este caso solo se les llamara centros de distribución. Los clientes finales pueden ser atendidos a través de los detallistas o bien desde las tiendas exclusivas.

También se consideran como recursos físicos de una C/RS genérica del sector cerámico los vehículos empleados para transportar los productos de las diversas Plantas Productivas a los diferentes Almacenes y desde estos Almacenes a los correspondientes Centros Logísticos a los que puede suministrar cada Almacén por su disposición geográfica.

Se ha decidido abordar la problemática asociada a la planificación de la producción de una C/RS sector cerámico siguiendo el enfoque de Planificación Jerárquica debido a las ventajas que aporta en la resolución de problemas complejos como éste. Por ello se plantea un modelo MMD para la definición de la Planificación Maestra de la Producción (PMP) ya que el establecimiento de una planificación jerárquica al nivel operativo para la ayuda a la toma de decisiones define adecuadamente el MMD.

Al nivel de Planificación Maestra no se considera exclusivamente la problemática relativa a los procesos de fabricación, sino que también se incluyen los problemas referentes a aprovisionamiento y distribución, que son necesarios abordar en este nivel, puesto que el ámbito de aplicación del modelo MMD definido es a nivel de C/RS.

El MMD, se ha diseñado con el propósito de servir como herramienta de apoyo en el proceso decisional de definición de la PMP para C/RS del sector cerámico (teniendo en cuenta que el enfoque principal de esta investigación es la Incertidumbre en la C/RS). En el nivel decisional Operativo, en el que se establece la PMP, se abordan decisiones relacionadas únicamente con los flujos de materiales entre los diversas etapas consideradas en la C/RS y no se planifican decisiones sobre el dimensionado de capacidades, dado que este tipo de decisiones se adoptan en el nivel decisional Táctico el cual no se tiene en cuenta. En el PMP se calculan los consumos reales que se producirán en función de la asignación y lotificación efectuada de los Productos Finales y de los tiempos necesarios para realizar los cambios de partida tanto entre Productos. En la PMP se identifica como recurso productivo únicamente las Líneas de Fabricación (llamadas en el modelo matemático como "Recursos de Producción"), dado que a nivel de Planificación Maestra los Hornos trabajan siempre a su máxima capacidad mientras

que las Líneas de Fabricación cuentan con una capacidad limitada, incluyendo las Horas Extras que pueden trabajarse en cada turno.

El MMD, como se ha comentado anteriormente, comprende la problemática asociada a las Plantas y más concretamente a los procesos de fabricación. Estableciendo la asignación de la fabricación de cada Producto a un recurso de producción (línea de fabricación) y también el lote de fabricación.

Como más adelante se comentará, en el PMP no se incluyen como recursos físicos los Hornos de las Plantas Productivas, ya que a nivel de PMP los tiempos de cambio de partida en los Hornos son despreciables a los tiempos y costes de activación/desactivación de los mismos, y este tipo de decisiones únicamente se abarcan en el Plan Agregado Producción (PAP).

Las decisiones consideradas, como genérica y comunes en C/RS del sector cerámico, en el modelo MMD abarcan de forma centralizada los siguientes aspectos de la Planificación Maestra de la Producción en contexto colaborativo con el propósito de beneficiar a todos los miembros de la C/RS:

#### **Proveedores de Materias Primas, Componentes e Items**

- Cantidad a comprar y transportar de cada MP desde cada Proveedor a cada Planta Productiva en cada Periodo.
- Nivel de inventario de cada MP en cada Planta Productiva al final de cada Periodo.
- Compras efectuadas (m2) de cada MP a cada Proveedor durante cada Periodo.

#### **Fabricación en las Plantas Productivas**

- Se decide que producto final se produce en cada Línea de Fabricación en cada Planta en cada Periodo. (variable Binaria)
- Cantidad a fabricar (m2) de cada PF en cada Línea de Fabricación en cada Planta en cada Periodo.
- Se decide qué cambios de partida de productos finales se realizan en cada Línea de Fabricación en cada Planta en cada Periodo. (variable Binaria)

- Ventas efectuadas (m<sup>2</sup>) de cada PF de cada Planta a cada Distribuidor durante cada Periodo.

### **Distribuidores**

- Cantidad a transportar (m<sup>2</sup>) de cada PF desde cada Planta Productiva a cada Almacén durante cada Periodo.
- Nivel de inventario (m<sup>2</sup>) de cada PF en cada Almacén al final de cada Periodo.
- Ventas efectuadas (m<sup>2</sup>) de cada PF en cada Almacén a cada detallista durante cada Periodo.

### **Detallistas**

- Cantidad a transportar (m<sup>2</sup>) de cada PF desde cada Distribuidor a cada Detallista durante cada Periodo.
- Nivel de inventario (m<sup>2</sup>) de cada PF en cada detallista al final de cada Periodo.
- Ventas efectuadas (m<sup>2</sup>) de cada PF en cada Detallista durante cada Periodo.
- Demanda diferida (m<sup>2</sup>) de cada PF en cada Detallista durante cada Periodo.

El objetivo común que se plantea a nivel de Planificación Maestra en contexto de C/RS del sector cerámico, y para el cual todos sus miembros se esfuerzan por lograrlo, es el de maximizar el margen de beneficio a obtener a través de la comercialización de los productos cerámicos en los diversos puntos venta de la Red de Distribución y Detallistas.

El problema en estudio se circunscribe a los parámetros que están afectados en el Modelo Matemático Determinista "MMD", que más adelante se tendrán en cuenta, para conocer cuales influyen más en la función objetivo del MMD.

La empresa cerámica planifica la producción de todos los productos y de todos los proveedores, en función de previsiones de demanda de los productos finales y de la capacidad disponible. Este es el caso típico de la planificación táctica de la producción (a medio plazo) conforme la definen y modelan Lee et al. (2002), Chen, L.C. y Lee, W.C. (2004), Peidró et al. (2007), Chern y Hsieh (2007) y Mena et al. (2009) (se puede ver sus aportes en el capítulo 2 de esta tesis).

En resumen, se trata de un problema de evaluación de alternativas contra la incertidumbre (que se plantea en los Apartados 3.6, 3.7 y 3.8) para la planificación táctica de la producción con las características del problema que se puede ver en los siguientes Apartados.

#### **3.4.1.1.1. Parámetros o Datos del modelo**

En este ítem lo que se pretende es describir el máximo de los parámetros o datos que se pueden disponer para poder llegar al modelo deseado, estableciendo un gran abanico de posibilidades para desarrollar el Modelo Determinista.

- Datos de fabricación, en período regular y con horas extras.
- Los datos de transporte, como tiempos y capacidad de transporte.
- Datos de inventario, como capacidad de inventario, inventario de seguridad, etc.
- Cada parámetro de coste, como fabricación, inventario, etc.
- Demanda diferida del producto.

#### **3.4.1.1.2. Ouputs del Modelo**

- Plan de transporte desde cada Proveedor a cada Planta
- Plan de comparas de cada Proveedor.
- Plan de producción de cada Planta.
- Plan de Transporte de Distribución.
- Plan de transporte de Planta-Distribuidor, Distribuidor-Detallista.
- Cantidad de ventas y precio del producto de cada participante.
- Nivel de inventario de cada empresa.
- Todos los costes totales.

**3.4.1.1.3. Objetivo**

El objetivo es garantizar la Maximización del margen de los beneficios de todas las entidades de la Red de Suministro (Ingresos-Costes).

**3.4.1.2. Nomenclatura**

Índices			
$m \in M$	<i>Materias Primas</i>	$d \in D$	<i>Centros de Distribución</i>
$i \in I$	<i>Productos</i>	$r \in R$	<i>Detallistas</i>
$g \in G$	<i>Provedores</i>	$c \in C$	<i>Clientes</i>
$p \in P$	<i>Plantas</i>	$t \in T$	<i>Periodos</i>
$j \in J$	<i>Recursos de Producción</i>		

Conjuntos			
$I_j$	<i>Conjunto de Productos Finales “i” que pueden fabricarse en el Recurso de Fabricación “j”.</i>	$G_p$	<i>Conjunto de Provedores “g” que provén a la Planta “p”.</i>
$I_m$	<i>Conjunto de Productos Finales “i” que utilizan la Materia Prima, Componente o Item “m”.</i>	$D_p$	<i>Conjunto de Distribuidores “d” que reciben los productos finales de las Plantas “p”.</i>
$J_p$	<i>Conjunto de Recursos de producción “J” que hacen parte del conjunto de Plantas “p”.</i>	$R_d$	<i>Conjunto de Detallistas “r” que reciben los productos finales de los Distribuidores “d”.</i>
$G_m$	<i>Conjunto de Provedores “g” que provén la Materia Prima, Componente o Item “m”.</i>	$C_r$	<i>Conjunto de Clientes “c” que reciben los productos finales de los Detallistas “d”.</i>

Datos Proveedor			
$CFT_{gp}$	Coste Fijo de Transporte en $g$ a para $m$ .	$PUPV_{gpm}$	Precio Unitario de las Materias Primas de $g$ a $p$ para $m$
$CUT_{gpm}$	Coste por Unidad de Transporte desde $g$ a $p$ para $m$	$NCT_{gpm}$	Nivel de Capacidad de Transporte de $g$ a $p$ de $m$
$CUM_{gm}$	Coste por Unidad de Manipulación en $g$ para $m$	$MCI_g$	Máxima Capacidad de Inventario en $g$
$CUI_{gm}$	Coste por Unidad de Inventario en $g$ para $m$	$TET_{gp}$	Tiempo de Transporte desde $g$ hasta $p$
$CUP_{gpm}$	Coste por Unidad de Materia Prima de $g$ a $p$ para $m$		

Datos Planta			
$CFM_{pji}$	Coste fijo de manipulación (manejo de materiales) desde $p$ en en $j$ de $i$ .	$PUPPV_{pdi}$	Precio Unitario del Producto $i$ desde $p$ a $d$ .
$CFC_{pji}$	Coste Fijo de Cambio de partida de $p$ en $j$ de $i$ .	$CMET_p$	Capacidad Máxima de Entrada de Transporte en $p$ (Este dato es para la restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el Proveedor $g$ hasta la Planta $p$ ).
$CUS_{pi}$	Coste por unidad subcontratada $i$ en $p$ .	$CMST_p$	Capacidad Máxima de Salida de Transporte en $p$ (Este dato es para la restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el la Planta $p$ hasta el Distribuidor $d$ ).
$CFT_{pd}$	Coste Fijo de Transporte de $i$ en $k$ desde $p$ a $d$ .	$MCI_p$	Máxima Capacidad de Inventario en $p$ .
$CUFE_{pji}$	Coste por Unidad de Fabricación en tiempo Extra en $p$ y en $j$ para $i$ .	$NCT_{pdi}$	Nivel de Capacidad de Transporte del producto $i$ desde $p$ a $d$ .
$CUT_{pdi}$	Coste por Unidad de Transporte desde $p$ a $d$ para $i$ .	$PQS_{pi}$	Porcentaje para definir la Cantidad a Subcontratar a partir de la cantidad a Fabricar del Producto $i$ .
$CUM_{pi}$	Coste por Unidad de Manipulación en $p$ para $i$ .	$TET_{pd}$	Tiempo de Transporte desde $p$ hasta $d$ .
$CUI_{pi}$	Coste por Unidad de Inventario en $p$ para $i$ .	$MA_{im}$	Unidades de la Materia Prima, Componente o Item "m" necesarias para la fabricación una unidad del Producto Final "i".
$CUF_{pji}$	Coste por Unidad de Fabricación en $p$ y en $j$ para $i$ .		

Datos Distribuidor y Detallista			
$CFT_{dr}$	Coste Fijo de Transporte desde $d$ a $r$ para $i$ .	$CMST_d$	Capacidad Máxima de Salida de Transporte en $d$ (Este dato es para las restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el Distribuidor $d$ al Detallista $r$ ).
$CUT_{dri}$	Coste por Unidad de Transporte desde $d$ a $r$ para $i$ .	$CMST_r$	Capacidad Máxima de Salida de Transporte en $r$ (Este dato es para las restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el Detallista $r$ al Cliente $c$ ).
$CDD_{rit}$	Coste de Diferir en una unidad la demanda de $r$ para $i$ en $t$ a $t+1$ .	$PDC_{rit}$	Pronóstico de la Demanda del Cliente en $r$ para $i$ en $t$ .
$PUPPV_{dri}$	Precio Unitario del Producto $i$ desde $d$ a $r$ .	$NCT_{dri}$	Nivel de Capacidad de Transporte desde $d$ a $r$ para $i$ .
$PUPPV_{rci}$	Precio Unitario del Producto $i$ desde $r$ a $c$ .	$TET_{dr}$	Tiempo de Transporte desde $d$ hasta $r$ .
$CUM_{di}$	Coste por Unidad de Manipulación en $d$ para $i$ .	$MQFN_{pjt}$	Maxima Cantidad de Fabricación en tiempo regular en La Planta $p$ en el Recurso de Producción $j$ en el tiempo $t$ .
$CUM_{ri}$	Coste por Unidad de Manipulación en $r$ para $i$ .	$MQFE_{pjt}$	Maxima Cantidad de Fabricación en tiempo extra en La Planta $p$ en el Recurso de Producción $j$ en el tiempo $t$ .
$CUI_{di}$	Coste por Unidad de Inventario en $d$ para $i$ .	$NIP, NID, NIR$	Nivel de inventario inicial en cada etapa de la C/RS.
$CUI_{ri}$	Coste por Unidad de Inventario en $r$ para $i$ .	$SSP, SSD, SSR$	Stock de seguridad en cada etapa de la C/RS.
$MCI_d$	Máxima Capacidad de Inventario en $d$ .	$M1, M2$	Valores enteros muy grandes.
$MCI_r$	Máxima Capacidad de Inventario en $r$ .		

Variables continuas			
$QDD_{rit}$	<i>Cantidad de demanda diferida en r para i en el Periodo t.</i>	$CTM_{dt}$	Coste total de Manipulación en el Distribuidor d en el Periodo t.
$NI_{gmt}$	<i>Nivel de Inventario en el Proveedor g para m en el Periodo t.</i>	$CTM_{rt}$	Coste total de Manipulación en el Detallista r en el Periodo t.
$NI_{pit}$	<i>Nivel de Inventario en la Planta p para el Producto i en el Periodo t.</i>	$CTF_{pt}$	Coste total de fabricación en la planta p en el periodo t.
$NI_{dit}$	<i>Nivel de Inventario en el Distribuidor d para el Producto i en el Periodo t.</i>	$CTS_{pt}$	Coste total de Subcontratación en la planta p en el periodo t.
$NI_{rit}$	<i>Nivel de Inventario en el Detallista r para el Producto i en el Periodo t.</i>	$CTC_{gt}$	Coste total de compras en el Proveedor g en el periodo t.
$QS_{pit}$	<i>Cantidad a Subcontratar en la Planta p para el Producto i en el Periodo t.</i>	$CTC_{pt}$	Coste total de compras en la Planta p en el periodo t.
$VP_{gt}$	<i>Ventas del Producto i en el Proveedor g en el periodo t.</i>	$CTC_{dt}$	Coste total de compras en el Distribuidor d en el periodo t.
$VP_{pt}$	<i>Ventas del Producto i en la Planta p en el periodo t.</i>	$CTC_{rt}$	Coste total de compras en el Detallista r en el periodo t.
$VP_{dt}$	<i>Ventas del Producto i en el Distribuidor d en el periodo t.</i>	$QT_{gpm}$	<i>Cantidad de transporte desde g a p para m en t.</i>
$VP_{rt}$	<i>Ventas del Producto i en el Detallista r en el periodo t.</i>	$QT_{pdt}$	<i>Cantidad de transporte desde p a d para i en t.</i>
$QP_{pjit}$	<i>Cantidad a producir en la Planta p en j del producto i en el período t.</i>	$QT_{drit}$	<i>Cantidad de transporte desde d a r para i en t.</i>
$QPN_{pjit}$	<i>Cantidad a producir en tiempo Normal en la Planta p en j del producto i en el período t.</i>	$QT_{rcit}$	<i>Cantidad de transporte desde r a c para i en t.</i>
$QPE_{pjit}$	<i>Cantidad a producir en tiempo Extra en la Planta p en j del producto i en el período t.</i>	$QT_{gpt}$	<i>Cantidad de transporte Total desde g a p en t.</i>
$QG_{gmt}$	<i>Cantidad del Proveedor g de Materia Prima m en el período t.</i>	$QT_{pdt}$	<i>Cantidad de transporte Total desde p a d en t.</i>
$QPS_{pit}$	<i>Cantidad a producir en la Planta p del producto i en el período t.</i>	$QT_{drt}$	<i>Cantidad de transporte Total desde d a r en t.</i>
$CTI_{gt}$	<i>Coste total del inventario del Proveedor g en el Periodo t.</i>	$QT_{rct}$	<i>Cantidad de transporte Total desde r a c en t.</i>

$CTI_{pt}$	Coste total del inventario de la Planta $p$ en el Periodo $t$ .	$CTT_{gt}$	Coste total de transporte del Proveedor $g$ en $t$ .
$CTI_{dt}$	Coste total del inventario de la Planta $d$ en el Periodo $t$ .	$CTT_{pT}$	Coste total de transporte de la Planta $p$ en $t$ .
$CTI_{rt}$	Coste total del inventario de la Planta $r$ en el Periodo $t$ .	$CTT_{dt}$	Coste total de transporte del Distribuidor $d$ en $t$ .
$CTM_{gt}$	Coste total de Manipulación en el Proveedor $g$ en el Periodo $t$ .	$Z_{xt}$	Beneficios esperados para toda la C/RS.
$CTM_{pt}$	Coste total de Manipulación en la Planta $p$ en el Periodo $t$ .		

Variables binarias			
$Y_{drt}$	Función que toma el valor de 1 si $CFTdr > 0$ , y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde $d$ a $r$ para $i$ en $t$ .	$\theta_{pit}$	Función que toma el valor de 1 si $CFMip > 0$ , y 0 para los demás casos. Tiempo de Preparación en $p$ para $i$ en $t$ .
$Y_{pdt}$	Función que toma el valor de 1 si $CFTpd > 0$ , y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde $p$ a $d$ para $i$ en $t$ .	$\gamma_{pit}$	Función que toma el valor de 1 si $CCFip > 0$ , y 0 para los demás casos. Cambio de Partida en $p$ para el Producto $i$ .
$Y_{gpmT}$	Función que toma el valor de 1 si $CFTgp > 0$ , y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde $g$ a $p$ para $m$ en $t$ .		

Teniendo en cuenta esta nomenclatura, se aborda la formulación matemática del MMD en el siguiente apartado.

### 3.4.1.3. Formulación del MMD de un Sistema de Planificación Colaborativa de la C/RS

La Formulación del MMD está planteada teniendo en cuenta la Función Objetivo, como Formulación de Costes e Ingresos, las Restricciones de Fabricación, las Restricciones de Transporte y las Restricciones de Inventario, y que en los siguientes apartados se desarrolla con más detalle.

### 3.4.1.3.1. Función Objetivo

Las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 definen el Margen de Beneficios para cada uno de los participantes de la Cadena. Teniendo en cuenta que cada Margen de cada etapa está definido por las ventas menos todas las clases de costes. Así la ecuación 5, es la suma de cada uno de los márgenes de beneficio de cada etapa obteniendo de esta forma el Margen Total de toda la Cadena.

$$Z_g = \sum_t [VP_{gt} - CTT_{gt} - CTI_{gt} - CTM_{gt}], \forall g \quad (1)$$

$$Z_p = \sum_t [VP_{pt} - CTC_{pt} - CTF_{pt} - CTT_{pt} - CTI_{pt} - CTM_{pt} - CTS_{pt}], \forall p \quad (2)$$

$$Z_d = \sum_t [VP_{dt} - CTC_{dt} - CTT_{dt} - CTI_{dt} - CTM_{dt}], \forall d \quad (3)$$

$$Z_r = \sum_t [VP_{rt} - CTC_{rt} - CTM_{rt} - CTI_{rt} - CDD_{rit}], \forall r \quad (4)$$

$$Z_T = Z_g + Z_p + Z_d + Z_r \quad (5)$$

### 3.4.1.3.2. Formulación de Costes e Ingresos

En los siguientes sub-apartados se tendrán en cuenta los costes totales de fabricación, costes totales de subcontratación, costes de manipulación de materiales, costes totales de compras, costes de inventario, costes de transporte, coste de diferir demanda y por último la venta de productos.

#### 3.4.1.3.2.1. Coste total de Fabricación en cada planta del producto $i$

La ecuación 6 es la suma de la Cantidad de Producción en Jornada Regular y Jornada Extra.

$$QP_{pji} = QPN_{pji} + QPN_{pji} \quad (6)$$

La ecuación 7 corresponde al cálculo del coste total de Fabricación obtenido por la suma de: coste fijo de fabricación de cambio de partida, coste fijo de ociosidad (manipulación de materiales), coste de fabricación en jornada regular y coste fijo de fabricación en jornada extra.

$$CTF_{pt} = \sum_j^J \sum_i^J \sum_t^T [CFC_{pji} \gamma_{pjit} + CFM_{pji} + CUF_{pji} QPN_{pji} + CUFE_{pji} QPE_{pji}], \quad \forall p \quad (7)$$

#### 3.4.1.3.2.2. Coste Total de Subcontratación

La ecuación 8 corresponde al cálculo del coste total de Subcontratación obtenido por el coste por unidad subcontratada.

$$CTS_{pt} = \sum_i^I \sum_t^T [CUS_{ipj} QS_{ipt}], \quad \forall p, t \quad (8)$$

#### 3.4.1.3.2.3. Coste Total de Manipulación

La ecuación 9, 10 y 11, 12 representan los costes de manipulación (manejo de materiales de la recepción y despacho de transporte) para cada etapa de la Cadena/Red de Suministro.

$$CTM_{gt} = \sum_m^M CUM_{gm} \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit}) \right), \quad \forall g, t \quad (9)$$

$$CTM_{pt} = \sum_i^I CUM_{pi} \left( \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit-TET_{sp}}) \right) + \sum_d^D QT_{pdit} \right), \quad \forall p, t \quad (10)$$

$$CTM_{dt} = \sum_i^I CUM_{di} \left( \sum_p^P QT_{pdit-TET_{pd}} + \sum_r^R QT_{drit} \right), \quad \forall d, t \quad (11)$$

$$CTM_{rt} = \sum_i^I CUM_{ri} \left( \sum_d^D QT_{drit-TET_{dr}} + \sum_c^C QV_{rcit} \right), \quad \forall r, t \quad (12)$$

#### 3.4.1.3.2.4. Coste Total de Compras

Las ecuaciones 13, 14 y 15 corresponden al cálculo del coste total compras obtenido por el producto de: precio de cada producto en cada etapa (PUPV) y cantidad vendida de la Planta "p", Distribuidor "d" y Detallista "r".

$$CTC_{pt} = \sum_g^G \sum_m^M PUPV_{gpi} * \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit}) \right), \quad \forall p, t \quad (13)$$

$$CTC_{dt} = \sum_p^P \sum_i^I PUPV_{pdi} QT_{pdit}, \forall d, t \quad (14)$$

$$CTC_{rt} = \sum_d^D \sum_i^I PUPV_{dri} QT_{drit}, \forall r, t \quad (15)$$

### 3.4.1.3.2.5. Coste Total de Inventario

Las ecuaciones 16, 17, 18 y 19 corresponden al cálculo del coste total de inventario obtenido por el producto de: coste por unidad de inventario en cada etapa y nivel de inventario del Proveedor "g", Planta "p", Distribuidor "d" y Detallista "r".

$$CTI_{gt} = \sum_i CUI_{gi} NI_{git}, \forall g, t \quad (16)$$

$$CTI_{pt} = \sum_i CUI_{pi} NI_{pit}, \forall p, t \quad (17)$$

$$CTI_{dt} = \sum_i CUI_{di} NI_{dit}, \forall d, t \quad (18)$$

$$CTI_{rt} = \sum_i CUI_{ri} NI_{rit}, \forall r, t \quad (19)$$

### 3.4.1.3.2.6. Coste Total de Transporte

Las ecuaciones 20, 21 y 22 corresponden al cálculo del coste de transporte que consideran costes fijos y unitarios tanto del transporte de entrada como el de salida.

$$CTT_{gt} = \sum_g \sum_m [CFT_{gpm} Y_{gpmt} + (CUT_{gpm} * \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit}) \right))] , \forall p, t \quad (20)$$

$$CTT_{pt} = \sum_p \sum_i [CFT_{pdi} Y_{pdit} + CUT_{pdi} QT_{pdit}], \forall d, t \quad (21)$$

$$CTT_{dt} = \sum_d \sum_i [CFT_{dri} Y_{drit} + CUT_{dri} QT_{drit}], \forall r, t \quad (22)$$

### 3.4.1.3.2.7. Coste Total de Diferir Demanda

Las ecuación 23 corresponde al cálculo del coste unitario de demanda diferida por la cantidad de demanda diferida.

$$\sum_r \sum_i \sum_t CDD_{rit} QDD_{rit} \quad (23)$$

### 3.4.1.3.2.8. Ingresos por Venta de Productos

Las ecuaciones 24, 25, 26 y 27 calculan las ventas obtenidas por cada etapa de la C/RS.

$$VP_{gt} = \sum_p \sum_m PUPV_{gpm} * \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit}) \right), \quad \forall g, t \quad (24)$$

$$VP_{pt} = \sum_d \sum_i PUPV_{pdi} QT_{pdit}, \quad \forall p, t \quad (25)$$

$$VP_{dt} = \sum_r \sum_i PUPV_{dri} QT_{drit}, \quad \forall d, t \quad (26)$$

$$VP_{rt} = \sum_c \sum_i PUPV_{cri} QT_{rcit}, \quad \forall c, t \quad (27)$$

### 3.4.1.3.3. Restricciones de Fabricación

La restricción 28, 29 y 30 denotan la Máxima Capacidad en jornada normal y extra.

$$QP_{pjit} = QPN_{pjit} + QPE_{pjit} \quad (28)$$

$$\sum_i QPN_{pjit} \leq MQFN_{pjt} \quad (29)$$

$$\sum_i QPE_{pjit} \leq MQFE_{pjt} \quad (30)$$

La restricción 31 especifica que la planta de fabricación se prepara para la producción de un producto en un periodo dado.

$$\sum_p \sum_j \sum_{i \in I_j} \beta_{pjit} = 1, \quad \forall t \quad (31)$$

La restricción 32 asegura que la planta realizará un cambio de fabricación de productos cuando la misma planta en el periodo anterior no haya sido preparada para la fabricación de dicho producto.

$$\gamma_{pjit} \geq \beta_{pjit} - \beta_{pji,t-1}, \quad \forall p, j, i, t \quad (32)$$

La restricción 33 especifica que la cantidad de subcontratación en cualquier periodo debe ser menor o igual que un porcentaje de la cantidad de producción normal.

$$QS_{pit} \leq PQS_{pi} QPS_{pit}, \quad \forall p, t \quad (33)$$

#### 3.4.1.3.4. Restricciones de Transporte

Las restricciones 34, 35, 36 y 37 son las relaciones entre la cantidad transportada y el coste del transporte.

$$\left( \sum_{i \in I_m} (MA_{im} * \sum_{j \in J_p} QP_{pjit}) \right) \leq NCT_{gpm} Y_{gpm}, \quad \forall p, m, t \quad (34)$$

$$QT_{pdit} \leq NCT_{pdi} Y_{pdit}, \quad \forall p, i, t \quad (35)$$

$$QT_{drit} \leq NCT_{dri} Y_{drit}, \quad \forall p, i, t \quad (36)$$

$$Y_{gpm} \leq 1, Y_{pdit} \leq 1, Y_{drit} \leq 1, \quad \forall g, p, m, i, t \quad (37)$$

Las restricciones 38, 39 y 40 especifican las cantidades totales transportadas para cada producto  $i$  en un periodo de tiempo  $t$  desde los proveedores hasta las plantas, de plantas a distribuidores y de distribuidores a detallistas.

$$QT_{gpt} = \left( \sum_{i \in I_m} (MA_{im} * \sum_{j \in J_p} QP_{pjit}) \right), \quad \forall g, p, t \quad (38)$$

$$QT_{pdt} = \sum_i QT_{pdit}, \quad \forall p, d, t \quad (39)$$

$$QT_{drt} = \sum_i QT_{drit}, \quad \forall d, r, t \quad (40)$$

La restricción 41 especifica la Capacidad Máxima de Transporte de Entrada a la Planta  $p$  desde el Proveedor  $g$ . Las restricciones 42 y 43 indican la Capacidad Máxima de Transporte de salida desde la planta al distribuidor y desde el distribuidor al detallista; y por último la restricción 44 denota la Capacidad Máxima de Transporte de salida desde el detallista hasta el cliente.

$$\sum_{g \in G_p} QT_{gpt} \leq CMET_p, \forall p, t \quad (41)$$

$$\sum_{d \in D_p} QT_{pdt} \leq CMST_p, \forall p, t \quad (42)$$

$$\sum_{r \in R_d} QT_{drt} \leq CMST_d, \forall d, t \quad (43)$$

$$\sum_{c \in C_r} QT_{rct} \leq CMST_r, \forall r, t \quad (44)$$

### 3.4.1.3.5. Restricciones de Inventario

La restricción 45 corresponde al balance del inventario; el inventario del proveedor  $g$  en el periodo  $t$  será igual al inventario existente en el periodo anterior  $t-1$ , menos la cantidad de producida mas la cantidad de materia prima a las plantas. La restricción 46 es básicamente la misma pero en este caso se suma la cantidad producida y se resta la cantidad transportada desde la planta al centro de distribución.

La restricciones 47 y 48 se aplican a centros de distribución, detallistas y plantas.

$$NI_{gmt} = NI_{gm,t-1} - \left( \sum_{i \in Im} (MA_{im} * \sum_{j \in Jp} QP_{pjit}) \right) + QG_{gmt}, \forall g, p, m, t \quad (45)$$

$$NI_{pit} = NI_{pi,t-1} + \sum_j \sum_{i \in Ij} QP_{pjit} - \sum_d QT_{pdit}, \forall p, t \quad (46)$$

$$NI_{dit} = NI_{di,t-1} + \sum_p QT_{pdi,t-TdT_{pd}} - \sum_r QT_{drit}, \forall d, i, t \quad (47)$$

$$NI_{rit} = NI_{ri,t-1} + \sum_d QT_{dri,t-TdT_{dr}} - \sum_c QT_{rcit}, \forall r, i, t \quad (48)$$

La restricción 49 es la demanda diferida de cada producto. La restricción 50 la capacidad máxima de inventario para cualquier etapa de la cadena. Y la ecuación 51 es para garantizar la no negatividad de las variables indicadas.

$$QDD_{rit} = QDD_{ri,t-1} + PDC_{rit} - \sum_r QT_{rct}, \quad B_{riT} = 0, \quad \forall c, i, t \quad (49)$$

$$\sum_i NI_{xit} \leq MCI_x, \quad \forall x, t; \text{ donde } x = \{g, p, d, r\} \quad (50)$$

$$NI_{xit}, B_{rit}, \geq 0 \quad \forall x, i, t \quad (51)$$

En el ANEXO A se incorpora la configuración del MMD puesto en ejecución en el lenguaje de programación matemática MPL.

#### 3.4.1.4. Esquema de Formulación del Modelo Matemático Determinista

El siguiente esquema (ver Fig. 3.4), resume como se genero el MMD de un Sistema de Producción en la Cadena/Red de Suministro. Podemos ver un primer bloque que especifica los pasos para plantear el problema a resolver. Siendo estos, Situación del problema, Definición de agentes o integrantes de la Cadena de Suministro, Definición de los parámetros o datos del modelo y las Outputs del modelo; y por último el segundo bloque formula el MMD, a partir del planteamiento del problema para así desarrollar una nomenclatura la cual sirve para generar la función objetivo, costes e ingresos y restricciones para este modelo.

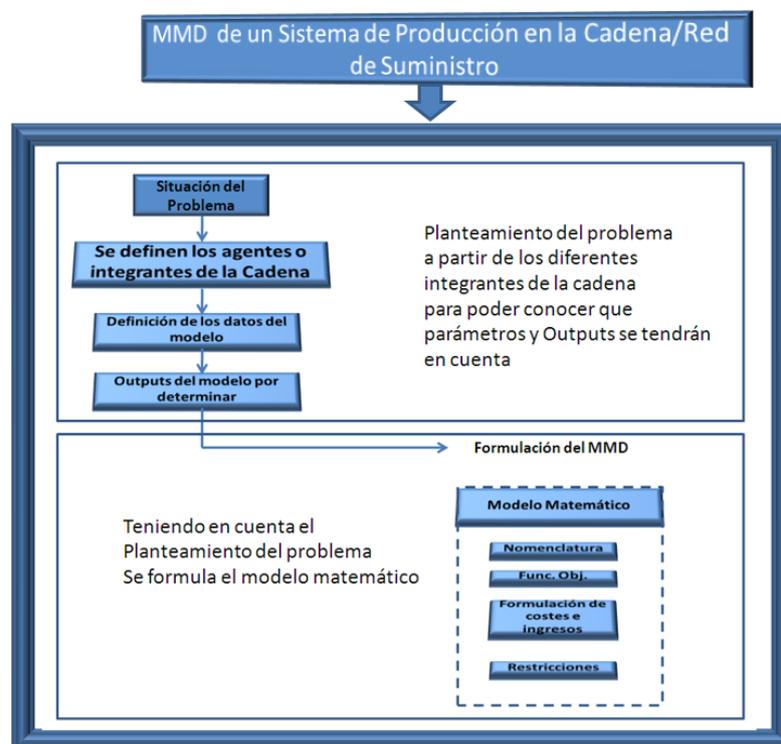


Figura 3.4.- Esquema para formular el Modelo Matemático Determinista

### **3.5. Representación del Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI)**

El MMI es de gran importancia para ayudar a mejorar los Problemas de Planificación de Operaciones en una C/RS. Este incorpora incertidumbre a algunos de los parámetros del MMD, mejorando el objetivo definido y así permitiendo adoptar una política para la toma de decisiones en la cadena de suministro. Para el problema del MMI, en esta investigación se usan las Redes Neuronales, las cuales prevén parámetros más acertados a partir de datos históricos presentes en el proceso de Planificación de Operaciones.

Como se ha dicho anteriormente en el Apartado 2.5.2.2, en este proyecto de investigación se utiliza la arquitectura Feedforward (Wienholt, W., 1994) general de tres capas y se realiza un estudio detallado sobre varios aspectos relativos a su diseño. Existen muchos algoritmos de aprendizaje para esta red neuronal, pero uno de los más básicos, descrito y usado en la bibliografía es el conocido como Backpropagation (Rumelhart et al., 1986). Por ello, en este apartado se va a describir cuál es la arquitectura (estructura) de la red neuronal Multilayer Feedforward y las ecuaciones y funcionamiento del algoritmo de aprendizaje Backpropagation. La red Multilayer Feedforward está constituida por tres capas diferentes de neuronas (o unidades), la capa de entrada, la capa oculta y la capa de salida.

La capa de entrada está formada por un número de neuronas fijado por la cantidad de información que queremos procesar con la red (características de la información). Esta capa simplemente transmite la información de entrada al interior de la red, donde sus neuronas están totalmente interconectadas con las de la capa oculta.

La capa oculta (formada por un cierto número de neuronas) realiza un procesamiento de la información de entrada a sus neuronas mediante una función de transferencia de tipo sigmoide (aunque en ocasiones puede usarse otro tipo de funciones). Las neuronas están totalmente interconectadas con las neuronas de la capa de entrada y cada conexión lleva asociada un peso, de forma que la entrada a una neurona oculta será una combinación lineal de las entradas ponderadas por los pesos que entran en dicha neurona oculta. La salida de cada neurona se obtendrá aplicando la función de transferencia sobre cada combinación.

Por último, la capa de salida está totalmente interconectada con la capa oculta, hay un peso asociado a cada conexión y el procesamiento de la información de las neuronas de salida es la suma de las señales de salida, de la capa oculta ponderada por los pesos. Las entradas a las neuronas de salida serán también una combinación lineal de la salida

de las neuronas ocultas y la salida de la red se obtendrá aplicando la función de transferencia sobre dicha combinación.

En la Fig. 3.5 se observa el comportamiento de la función de transferencia de tipo sigmoide y los modos de activación de la misma.

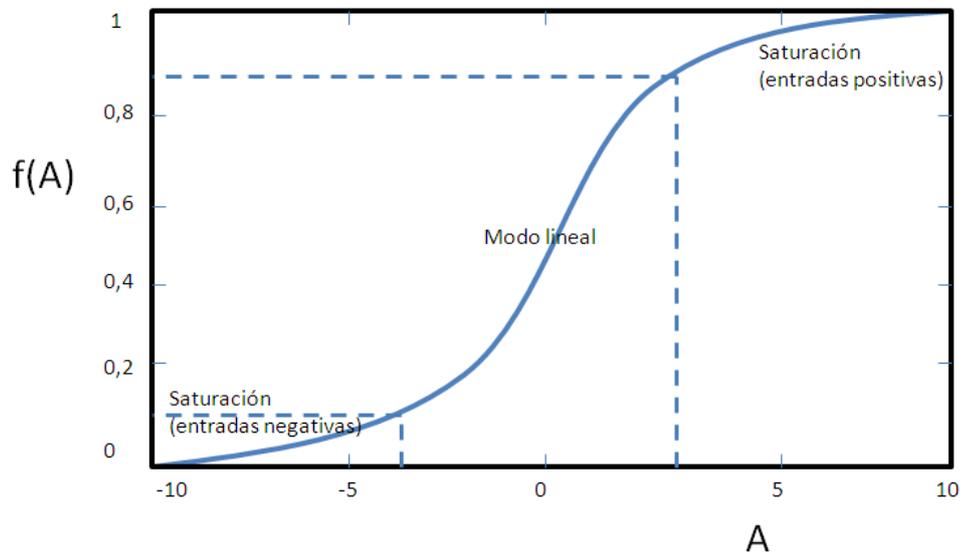


Figura 3.5.- Función de transferencia sigmoide y sus modos de activación

La expresión de la función de transferencia sigmoide viene dada por la ecuación siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (52)$$

Para cada capa tendremos un vector formado por los valores de entrada y otro por los de salida de las neuronas de dicha capa.

### 3.5.1. Red feedforward (hacia adelante) con una capa oculta

En la Fig. 3.6 se encuentra dibujada la estructura de una red Multilayer Feedforward de tres capas.

Llamemos a los vectores de salida de las diferentes capas como sigue.

$$\text{Capa de entrada } \{i_1, i_2, \dots, i_N\} = \{io_1, io_2, \dots, io_N\} = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$$

Capa oculta  $\{ho_1, ho_2, \dots, ho_{Nh}\} = \{f(hi_1), f(hi_2), \dots, f(hi_{Nh})\}$

Capa de salida  $\{oo_1, oo_2, \dots, oo_{Ns}\} = \{f(oi_1), f(oi_2), \dots, f(oi_{Ns})\}$

Veamos cuales son las ecuaciones de la red.

En la ecuación (53) mostramos la expresión de la entrada a una neurona  $j$  de la capa oculta como una combinación de las entradas a la red ponderadas con los pesos.

$$hi_j = \sum_{i=1}^N wi_{ij} * a_i + \theta_j \tag{53}$$

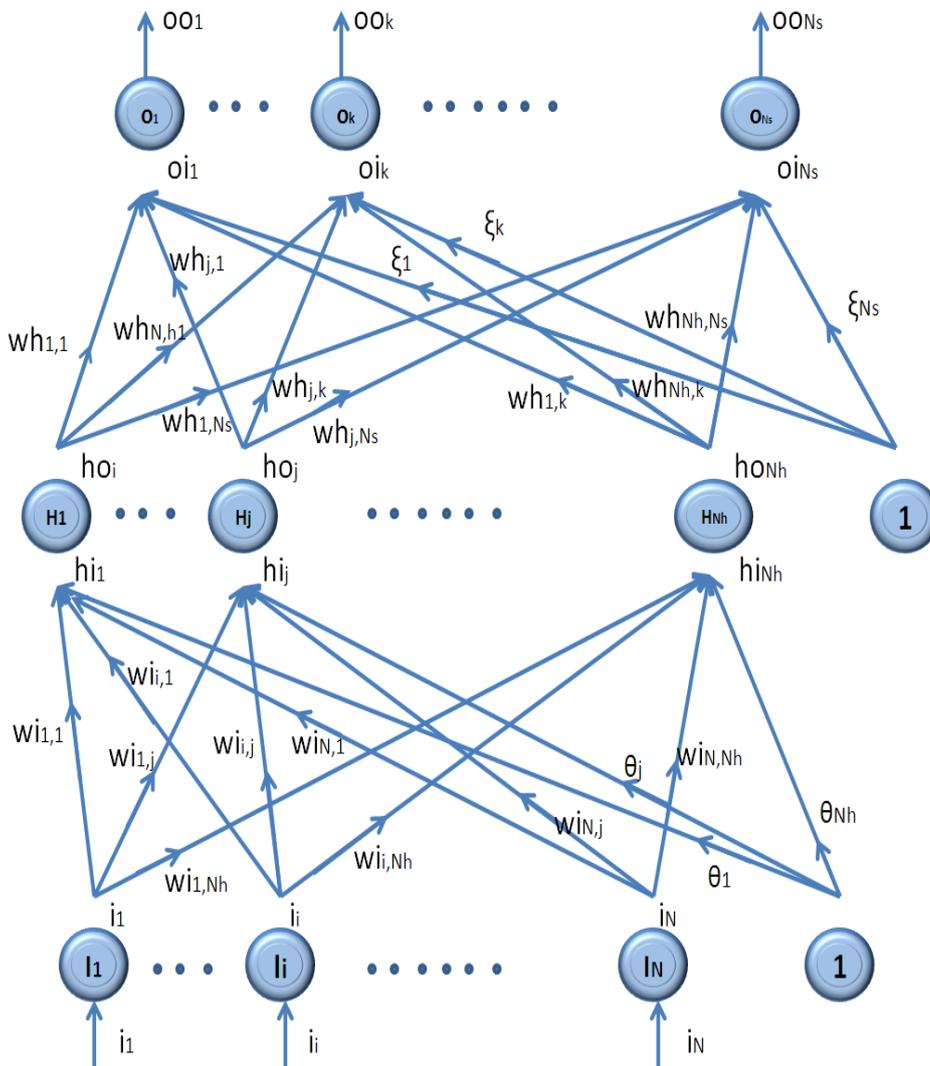


Figura 3.6.- Estructura de Red Neuronal Multilayer Feedforward

La ecuación (54) expresa la entrada a una neurona  $k$  de la capa de salida en función de una combinación lineal de las salidas de las neuronas de la capa oculta ponderadas con sus pesos.

$$oi_k = \sum_{i=1}^{Nh} wh_{jk} * ho_j + \xi_k \quad (54)$$

La ecuación (55) nos da la salida de una neurona  $j$  de la capa oculta, obtenida aplicando la función de transferencia sobre la entrada (53) a la misma.

$$ho_j = \frac{1}{1 + e^{-hi_j}} \quad (55)$$

La ecuación (56) describe la salida de una neurona  $k$  de la capa de salida, obtenida aplicando la función de transferencia sobre la entrada (54) a la misma.

$$oo_k = \frac{1}{1 + e^{-oi_k}} \quad (56)$$

En las ecuaciones anteriores  $\theta$  y  $\xi$  son los vectores de “threshold” (Abilov A et al. 2000) o umbrales que intervienen en la capa oculta y en la capa de salida de la red. Estos se consiguen introduciendo una neurona con salida constante de valor 1 en la capa inferior a la estudiada.

En las ecuaciones anteriores  $wijj$  y  $whjk$  son los pesos que representan las conexiones entre capas diferentes (Ver Fig. 3.6).

Una vez definida la arquitectura de la red para poder utilizarla en la resolución de un problema concreto es necesario entrenar la red para que aprenda a resolver dicho problema.

Para ello, será necesario disponer de un conjunto suficiente de ejemplos (patrones) de entrenamiento con sus correspondientes objetivos. Es decir, cada patrón de entrada lleva asociado un objetivo o resultado que sería la solución correcta al problema.

Para realizar el entrenamiento se van presentando los diferentes ejemplos a la red y mediante un algoritmo de aprendizaje este debe de acercarse cada vez más al objetivo que corresponde al ejemplo que se le presenta. Cuando los resultados que suministre

la red sean lo suficientemente cercanos a los objetivos podremos considerar como acabado el entrenamiento.

Llamamos I al vector que representa un ejemplo y T al vector del objetivo asociado a dicho ejemplo. Sea P el número total de ejemplos, N el número de neuronas de entrada a la red (dimensión de I), Ns el número de neuronas de salida de la red (dimensión de T) y Nh el número de neuronas ocultas.

Veamos el funcionamiento del algoritmo Backpropagation. En primer lugar se define el "Error Cuadrático Medio" que mide la diferencia entre el resultado que proporciona la red para un cierto ejemplo P y el objetivo de dicho ejemplo.

$$E_p = \frac{1}{2} * \sum_{k=1}^{N_s} (t_{p,k} - oo_{p,k}) \quad (57)$$

El error total será la suma para todos los patrones de los errores obtenidos en la ecuación (57).

El proceso de aprendizaje consiste en minimizar (respecto de los pesos) la función de error para todos los patrones del conjunto de entrenamiento, los cuales se van presentando a la red en iteraciones sucesivas hasta conseguir la convergencia de la función de error.

Para cada iteración los pesos de la red se irán modificando y modificarán las entradas y salidas de las neuronas y el error en la siguiente iteración.

El procedimiento a seguir será:

- 1) Inicializar aleatoriamente o mediante algún método los pesos de la red.
- 2) Introducir un patrón y modificar los pesos de la red según las ecuaciones:

$$\Delta wh_{j,k}(t+1) = \eta * \left( -\frac{\partial E_p}{\partial wh_{j,k}} \right) + \beta * \Delta wh_{j,k}(t) \quad (58)$$

$$wh_{j,k}(t+1) = wh_{j,k}(t) + \Delta wh_{j,k}(t+1)$$

$$\Delta wi_{i,j}(t+1) = \eta * \left( -\frac{\partial E_p}{\partial wi_{i,j}} \right) + \beta * \Delta wi_{i,j}(t) \quad (59)$$

$$wi_{i,j}(t+1) = wi_{i,j}(t) + \Delta wi_{i,j}(t+1)$$

Donde  $\eta$  es el paso de adaptación y  $\beta$  es el momento.

3) Calcular el Error después de acabada la iteración. Tomar el resultado final de los pesos obtenidos como la nueva inicialización de pesos para la siguiente iteración.

4) Repetir los pasos 2 y 3 durante un número determinado de iteraciones que permita la convergencia de la función de error (hacia un mínimo), es decir, que el Error calculado en 3 alcance un mínimo.

Para realizar el cálculo de los pesos en cada iteración, vemos que es necesario obtener las expresiones de las derivadas de la función de error respecto de los pesos.

Primero calculamos las derivadas para los pesos entre la capa oculta y la de salida. A partir de la ecuación (57) vemos la dependencia de  $E_p$  con  $o_{p,k}$  y la de esta (ecuación (56)) con la variable  $o_{i,p,k}$ .

Aplicando la regla de la cadena para derivar obtenemos:

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{j,k}} = \frac{\partial E_p}{\partial o_{p,k}} * \frac{\partial o_{p,k}}{\partial o_{i,p,k}} * \frac{\partial o_{i,p,k}}{\partial w_{j,k}} \quad (60)$$

A partir de la ecuación (57) se tiene:

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{p,k}} = -(t_{p,k} - o_{p,k}) \quad (61)$$

De la ecuación (52) podemos deducir la derivada de la función de transferencia de nuestra red.

$$f'(x) = \frac{e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2} = f(x) * (1 - f(x)) \quad (62)$$

De las ecuaciones (56), (62) y (54) se puede deducir que:

$$\frac{\partial o_{p,k}}{\partial o_{i,p,k}} = o_{p,k} * (1 - o_{p,k}) \quad (63)$$

$$\frac{\partial oi_{p,k}}{\partial wh_{j,k}} = ho_{p,j} \quad (64)$$

Definimos la siguiente variable

$$\delta_{p,k} = -(t_{p,k} - oo_{p,k}) * oo_{p,k} * (1 - oo_{p,k}) \quad (65)$$

Sustituimos en (60) y el resultado final de la derivada respecto de los pesos  $wh_{j,k}$  será:

$$\frac{\partial E_p}{\partial wh_{j,k}} = \delta_{p,k} * ho_{p,k} \quad (66)$$

Calcularemos ahora la derivada respecto de los pesos entre las unidades de la capa oculta y la de entrada. Para ello vemos que depende de las variables  $oo_{p,k}$ ,  $oi_{p,k}$  y  $ho_{p,j}$ . Tendremos:

$$\frac{\partial E_p}{\partial wi_{i,j}} = \sum_k \frac{\partial E_p}{\partial oo_{p,k}} * \frac{\partial oo_{p,k}}{\partial oi_{p,k}} * \frac{\partial oi_{p,k}}{\partial wi_{i,j}} \quad (67)$$

A su vez:

$$\frac{\partial oi_{p,k}}{\partial wi_{i,j}} = \frac{\partial oi_{p,k}}{\partial ho_{p,k}} * \frac{\partial ho_{p,k}}{\partial hi_{p,k}} * \frac{\partial hi_{p,k}}{\partial wi_{i,j}} \quad (68)$$

Sustituyendo la ecuación anterior en la derivada que queremos calcular se obtiene la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial E_p}{\partial wi_{i,j}} = \sum_k \left\{ \frac{\partial E_p}{\partial oo_{p,k}} * \frac{\partial oo_{p,k}}{\partial oi_{p,k}} * \frac{\partial oi_{p,k}}{\partial ho_{p,k}} * \frac{\partial ho_{p,k}}{\partial hi_{p,k}} * \frac{\partial hi_{p,k}}{\partial wi_{i,j}} \right\} \quad (69)$$

Solo queda calcular la última derivada que será:

$$\frac{\partial hi_{p,k}}{\partial wi_{i,j}} = i_{p,k} \quad (70)$$

Sustituyendo las derivadas en la ecuación (69) el valor final será:

$$\frac{\partial E_p}{\partial wi_{i,j}} = \sum_k \left\{ -(t_{p,k} - oo_{p,k}) * oo_{p,k} * (1 - oo_{p,k}) * wh_{j,k} * ho_{p,j} * (1 - ho_{p,j}) * i_{p,j} \right\} \quad (71)$$

Definimos la siguiente variable:

$$\delta h_{p,j} = \left( \sum_k \delta_{p,k} * wh_{j,k} \right) * ho_{p,j} * (1 - ho_{p,j}) \quad (72)$$

Sustituyendo se obtiene finalmente la derivada respecto de los pesos  $w_{ij}$ :

$$\frac{\partial E_{p,k}}{\partial w_{i,j}} = \delta h_{p,j} * i_{p,j} \quad (73)$$

Ya conociendo el modelo general de la Red Neuronal se En el ANEXO B se incorpora el código fuente de la Red Neuronal ejecutada en VISUAL .NET.

### 3.6. Arquitectura de la Plataforma Tecnológica SCANN

Definido el funcionamiento interno de la Red neuronal que se utilizará en la Plataforma Tecnológica SCANN, se expone cómo es el desarrollo en general de este apartado.

El MMI (ver Fig. 3.8) es básicamente igual que el MMD (ver Fig. 3.7) con la salvedad de que se considera que varios costes y parámetros son inciertos. Pero esta incertidumbre no tiene una probabilidad asociada sino más bien una posibilidad de que suceda, y esta posibilidad se define por el decisor del problema (en función de su experiencia y conocimiento de la realidad actual), es decir, la función delegada por la cadena de suministro para que subcontrate la producción a los Proveedores, para que decida la fabricación, el tiempo regular con horas extras, el transporte como tiempos y capacidad de transporte, el inventario como capacidad de inventario e inventario de seguridad, los parámetros de coste tanto de fabricación como de inventario, y por último, que establece la demanda del producto (Previsión de Demanda); todo esto teniendo en cuenta las políticas de la C/RS.

Por ello se considera como el método más adecuado para abordar en este caso la incertidumbre la programación matemática con Redes Neuronales en el contexto de la teoría posibilista (Verikas, A., et al., 2000).

Los parámetros que se consideran con incertidumbre en el modelo MMI son:

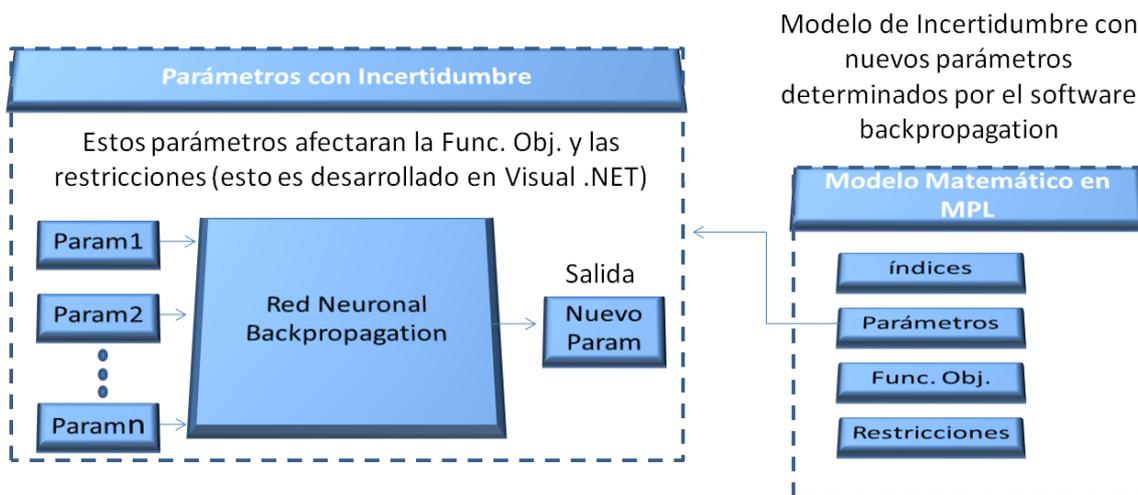
- Coste de diferir demanda,
- Coste por unidad de fabricación,
- Coste por unidad de fabricación en tiempo extra,
- Coste por unidad de inventario en cada etapa de la CS,
- Máxima cantidad de fabricación en tiempo regular,
- Máxima cantidad de fabricación en tiempo extra, y
- Pronóstico de la demanda.

Los demás costes, tiempos y parámetros se consideran con certeza, ya que el proceso se considera estable y no se tiene incertidumbre en el medio plazo (los costes y tiempos cambian en el largo plazo pero eso excede el horizonte de planificación de este modelo).



**Figura 3.7.- Modelo Determinista en MPL**

La demanda es el parámetro con mayor incertidumbre en la mayoría de problemas y para poder ser considerada adecuadamente, según las estimaciones del decisor, se emplean Redes Neuronales Backpropagation. Para detallar cada una de estas redes neuronales se tienen que definir diferentes valores de cada parámetro con incertidumbre a partir de parámetros definidos anteriormente por el decisor del problema.



**Figura 3.8.- Modelo Matemático con Incertidumbre y Redes Neuronales**

En la Fig. 3.8, se quiere dar a entender que a partir de una serie de parámetros a los cuales se les supone incertidumbre se desea obtener un valor del parámetro más acertado, afectando a la Función Objetivo y las Restricciones del Modelo de Incertidumbre en su totalidad. Así se espera un mejor resultado que con el Modelo Determinista; todo esto a partir de una Red Neuronal para cada parámetro incierto con diferentes valores (en este ejemplo se ve solo un parámetro incierto con distintos valores). La programación matemática de la Red neuronal está hecha en el entorno de VISUAL .NET que ayuda a la fácil interacción entre el modelo matemático desarrollado en MPL y las Redes Neuronales.

En el ANEXO C se incorpora el código fuente en el que interactúa la Red Neuronal y el MPL desarrollado en el lenguaje de programación VISUAL.NET.

La Fig. 3.9 muestra los elementos que conforman el Modelo de Incertidumbre, siendo estos los índices, parámetros, función objetivo y restricciones. Se observa que el bloque de parámetros se desglosa en varios bloques los cuales son valores ya definidos por el decisor del problema para un parámetro en este caso. Siendo estos valores las entradas de la Red Neuronal (RN) (en la Fig. 3.9 se puede apreciar el funcionamiento de esta). A partir de estas entradas la Red neuronal tiene un funcionamiento interno *aprendiendo de la experiencia*, pudiendo modificar su comportamiento como respuesta a su entorno. Dado este conjunto de entradas de parámetros con incertidumbre y la salida esperada de la Red Neuronal que es determinada por el decisor del problema (en función de su experiencia y conocimiento de la realidad actual), para ser comparada con la salida real, para obtener así, una salida mejorada a partir del entrenamiento interno de las Redes Neuronales. Estas se ajustan para producir respuestas consistentes que mejoraran el MMI y obtienen mejores resultados comparándolos con el MMD.

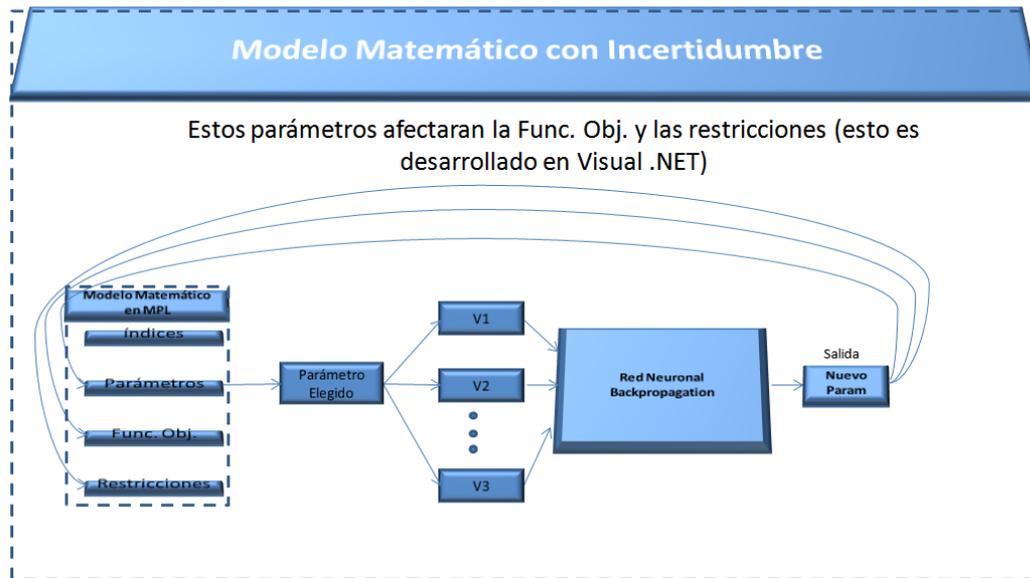


Figura 3.9.- Modelo con Incertidumbre, Parámetros inciertos y Redes Neuronales

### 3.7. Elección y Tratamiento de Datos

Se han elegido los datos necesarios para realizar experimentos y pruebas requeridas para obtener unos resultados de acuerdo a lo Metodología Propuesta.

Se han creado las Tablas que contienen los parámetros, con los cuales se podía realizar los diferentes estudios para ésta metodología. Las Tablas son las siguientes: PDCR, CUPF, CUFEP, CUPG, CFTG, CUTG, CFTP, CUTP, CFTD, CUTD, CUMG, CUMP, CUMD, CUMR, CFMP, CUIG, CUIP, CUID, CUIR, CDR, CFCP, CUSP, PUPVG, PUPPV, PUPDV, PUPRV, NCTG, NCTP, NCTD, MCIG, MCIP, MCID, MCIR, TETG, TETP, TETD, CMETP, CMSTP, CMSTD, CMSTR, PQSP, MA, MQFN, MQFE, NIPO, NIDO, NIRO, SSP, SSD, SSR.

Las Tablas de la base de datos fueron escogidas entre las que están accesibles de la Empresa del Sector Cerámico. En el Capítulo 4 se hace una descripción detallada de estas.

Inicialmente, los datos seleccionados son tomados para generar los primeros resultados con el MMD ejecutado en MPL. Este proceso se llevó a cabo a partir de la Plataforma Tecnológica SCANN (ver Fig. 3.10).

Luego se ejecuta la ANN con los parámetros escogidos (ver Apartado 3.7) por el decisor del problema para obtener unos resultados fiables para luego ejecutar el MMI y así comparar el resultado de éstos con los del MMD (ver Fig. 3.10).

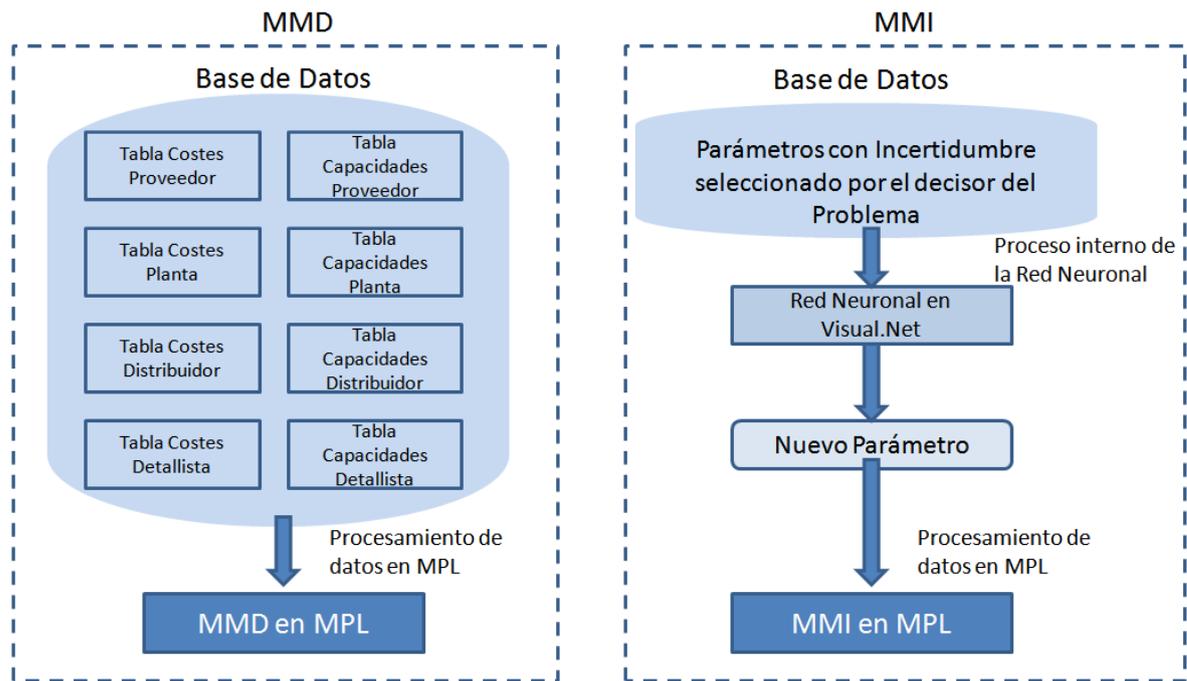


Figura 3.10.- Tratamiento de Datos del MMD y MMI

### 3.8. Plataforma Supply Chain Artificial Neuronal Networks “SCANN” Software de una Cadena/Red de Suministro con parámetros Inciertos

Normalmente la incertidumbre y el tiempo son de gran importancia en los Problemas de Planificación de Operaciones de una Cadena/Red de Suministro. Esta Plataforma para una Cadena/Red de Suministro con Parámetros Inciertos sirve de ayuda a la toma de decisiones, permitiendo al usuario seguir una política de toma de decisiones que actúe frente a cambios repentinos que pueden suceder.

Con las Redes neuronales lo que se pretende es modelar la situación a partir de los parámetros dudosos o confusos presentes en el proceso de Planificación de Operaciones de una Cadena/Red de Suministro de una forma realista y eficaz. Para ello se aplica la programación matemática de Redes Neuronales (Perceptron con un Algoritmo Backpropagation) a problemas de planificación táctica/operativa y centralizada de una C/RS con parámetros inciertos.

Primero se analizan los parámetros del Modelo Determinista que se quieren considerar con incertidumbre a partir de posibles valores determinados por el decisor del problema, teniendo en cuenta las políticas de la Empresa.

En la Fig. 3.18, se muestra cómo abordar el Problema de Planificación de Operaciones de una Cadena/Red de Suministro con Incertidumbre. Aquí se afronta este problema con la Plataforma Informática SCANN Software de ayuda a la mejora de la Toma de Decisiones en la C/RS.

La implantación de la Plataforma SCANN se realiza en Visual .NET. Este lenguaje de programación por objetos proporciona una aplicación robusta. Adicionalmente, ésta crea un entorno de desarrollo eficaz y flexible para crear y ejecutar aplicaciones basadas en Microsoft Windows.

Las estructuras Microsoft .NET, representan un avance notable que mejora la capacidad de los sistemas Windows en la ejecución de las aplicaciones. Visual .NET es un Framework que pone a disposición de las aplicaciones los servicios que éstas necesitan, ya sean para las interfaces gráficas con el usuario, interoperabilidad a través de Internet o comunicaciones con diferentes servidores. Como se observa en la Fig. 3.18, la Plataforma se compone de una Estructura de Datos de Entrada (EDE), y de una Estructura de Procesamiento de Datos (EPD) que está compuesta de dos Modelos, uno Determinista y otro de Incertidumbre. La estructura de datos es una Interface que ayuda a que el usuario interactúe con la Plataforma SCANN, dando así la oportunidad al Decisor del Problema a definir los datos que cree que tienen incertidumbre y a definir también los valores esperados a la salida de cada Red Neuronal.

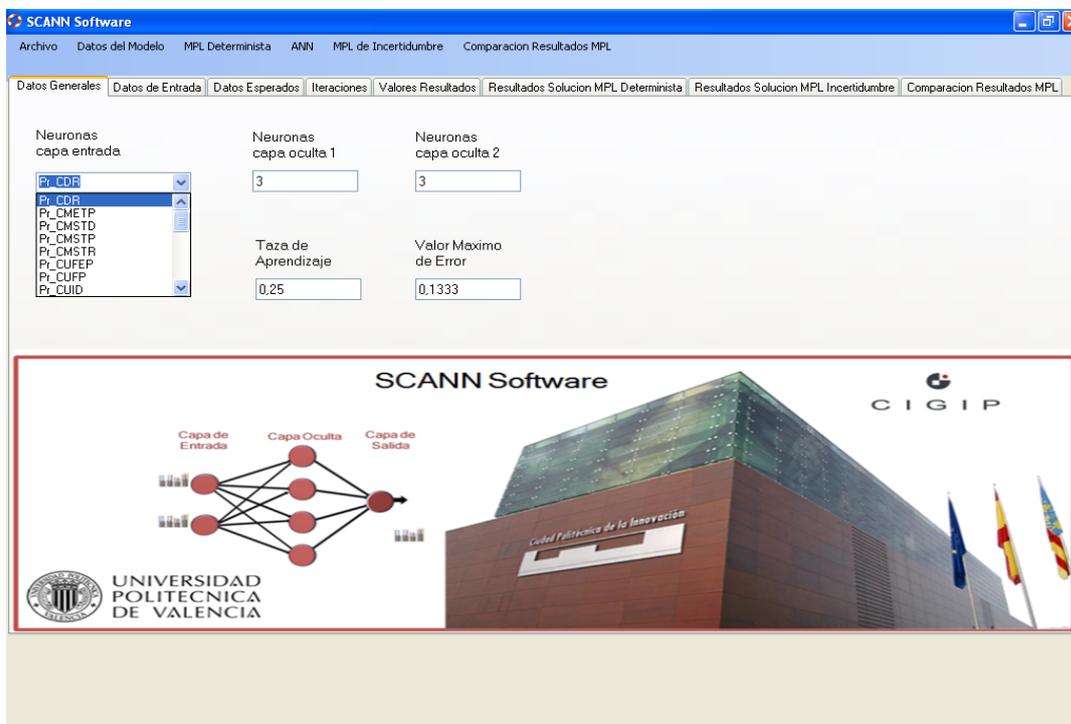


Figura 3.11.- Pantalla del SCANN SOFTWARE

En la estructura de procesamiento de datos se observa cómo cada parámetro interactúa con su Red Neuronal correspondiente. Cada Red Neuronal pretende obtener un resultado que se acerque a la salida esperada, procesando los valores de los parámetros iniciales. A partir de estos valores aproximados, hay una interface, desarrollada en Visual .Net, que toma estos y los lleva al Modelo con Incertidumbre, y al ejecutarse a continuación se obtiene un mejor resultado. A partir de esta respuesta se compara el Modelo con Incertidumbre con la respuesta del Modelo Determinista y se obtiene a una mejor conclusión.

### **3.8.1. Funcionamiento de la Plataforma SCANN**

La finalidad de emplear la Plataforma SCANN es proporcionar un software que contemple todas las tareas necesarias en la implantación de las Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Network). Entre otros objetivos destacan los siguientes (ver Fig. 3.11):

- Permite introducir datos de partida para el modelo.
- Permite asignar parámetros de la Red neuronal, tales como: los valores de cada parámetro incierto, valores esperados, neuronas de capa de entrada, neuronas de capa oculta, tasa de aprendizaje, valor máximo de error.
- Permite almacenar y mostrar los resultados de los experimentos, en Tablas, como la evolución de la función objetivo y los costes finales.

En las siguientes figuras se observa como es el proceso para realizar los primeros cálculos del modelo.

En la Fig. 3.12 se enumera cada uno de los pasos para obtener los resultados de la Plataforma Tecnológica SCANN.

1. Se seleccionan las Neuronas Capa de Entrada, las cuales son las tablas que contienen los datos a ser procesados.
2. Se introduce el número de Capas de Salida que se quiere para la Red Neuronal, que en este caso siempre va a ser una.
3. Se introduce el número de Neuronas de la Capa Oculta. Siendo éstas las que ayudan al proceso interno de la Red Neuronal para obtener un resultado que se aproxime al objetivo.
4. Se escoge e introduce la Taza de Aprendizaje, la cual es un parámetro que mejora el funcionamiento de la Red Neuronal.

5. Se define qué Valor Máximo de Error es el mejor para el funcionamiento adecuado de la Red Neuronal.

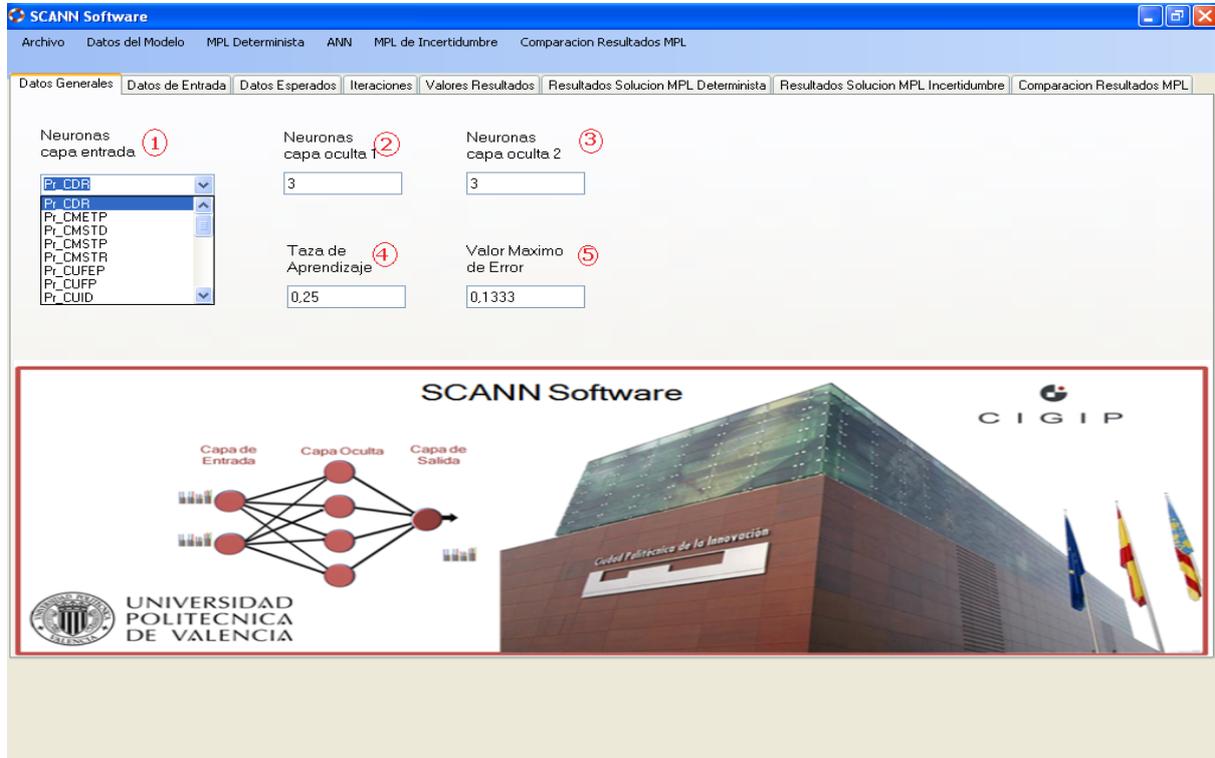


Figura 3.12.- Proceso para realizar los primeros cálculos del modelo

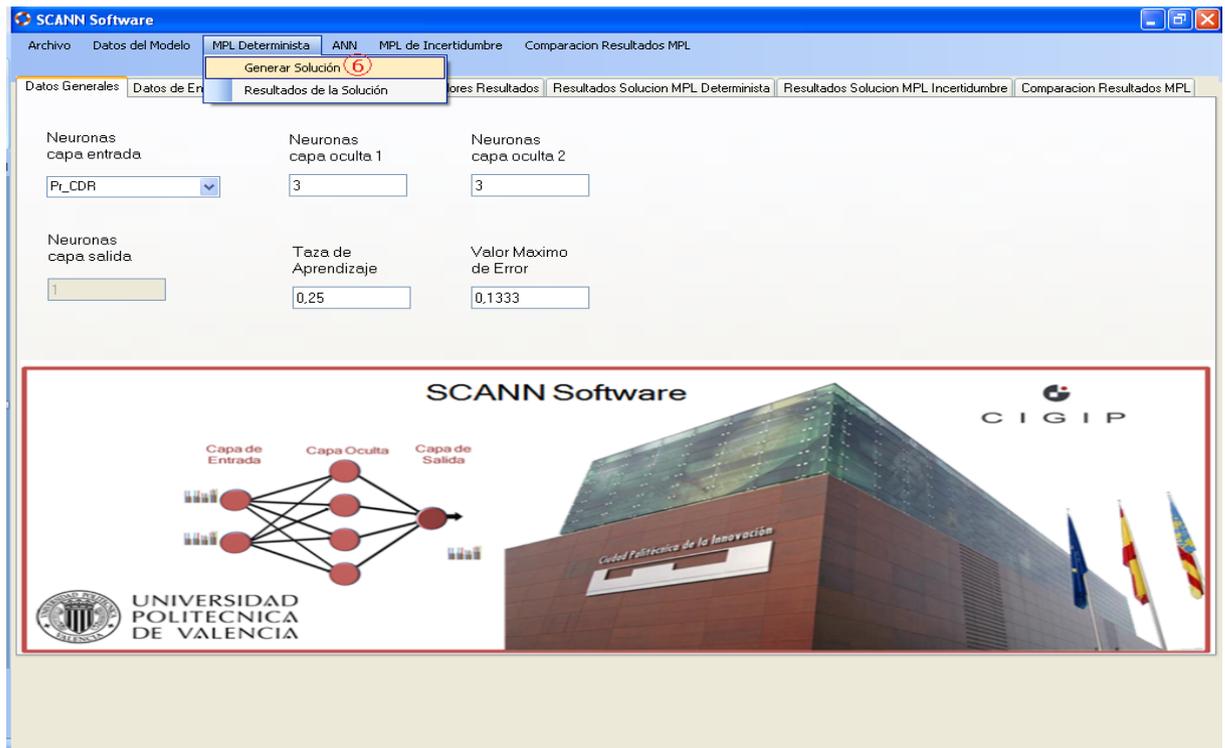


Figura 3.13.- Funcionamiento opción “Generar Solución” del menú MPL Determinista

6. En la Fig. 3.13 se observa que cuando se han introducido los datos necesarios para la ejecución del MMD, se debe hacer click en la opción “Generar Solución” del menú “MPL Determinista” para obtener la solución del MMD y así poder compararla con la del MMI.

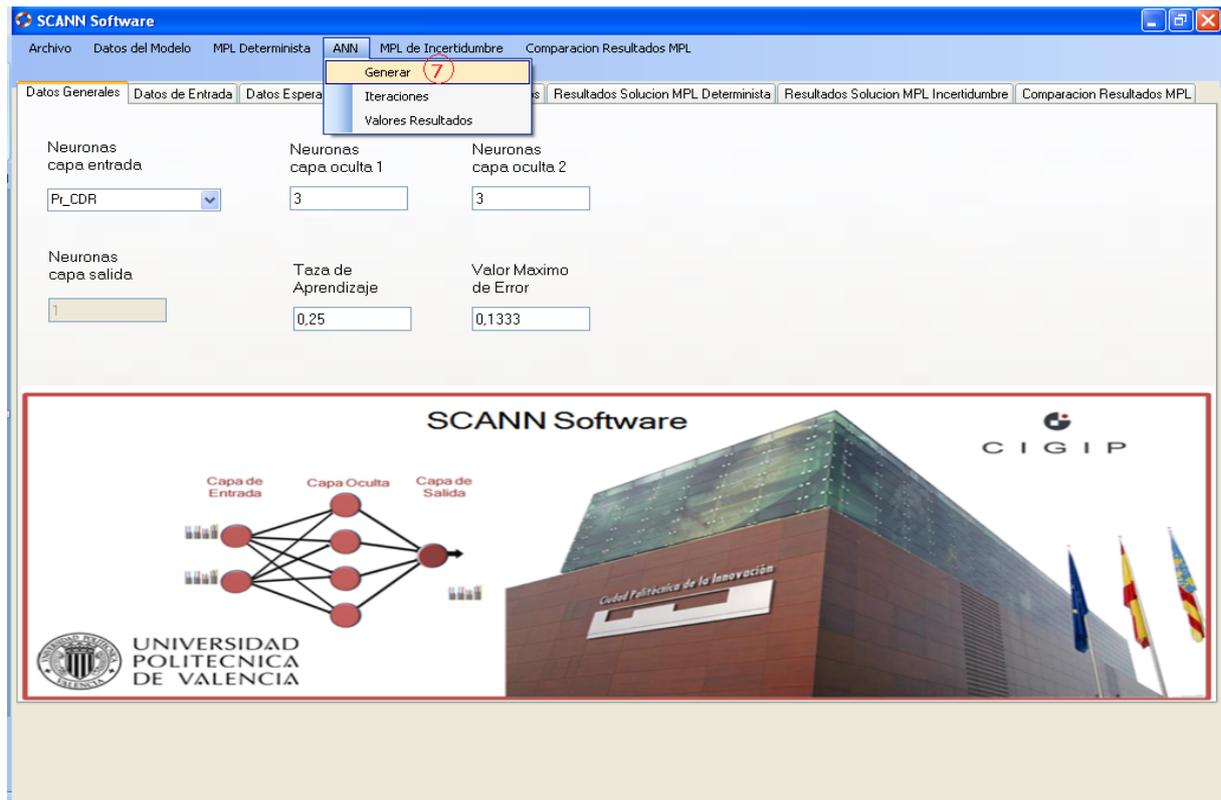


Figura 3.14.- Funcionamiento de la opción del menú ANN “Generar”

7. En la Fig. 3.14 , luego de haber generado los resultados de la opción del MPL Determinista, el Decisor del Problema escoge los parámetros con incertidumbre que utilizará para ser procesados en el modelo de ANN y así obtener un nuevo parámetro para cada una de las Neuronas Capa Entrada.
8. Se observa en la Fig. 3.15 que cuando se han introducido los datos necesarios para la ejecución del MMI, se hace click en la opción “Generar Solución” del menú “MPL Incertidumbre” para obtener la solución del MMI y así poder compararla con la del MMD.

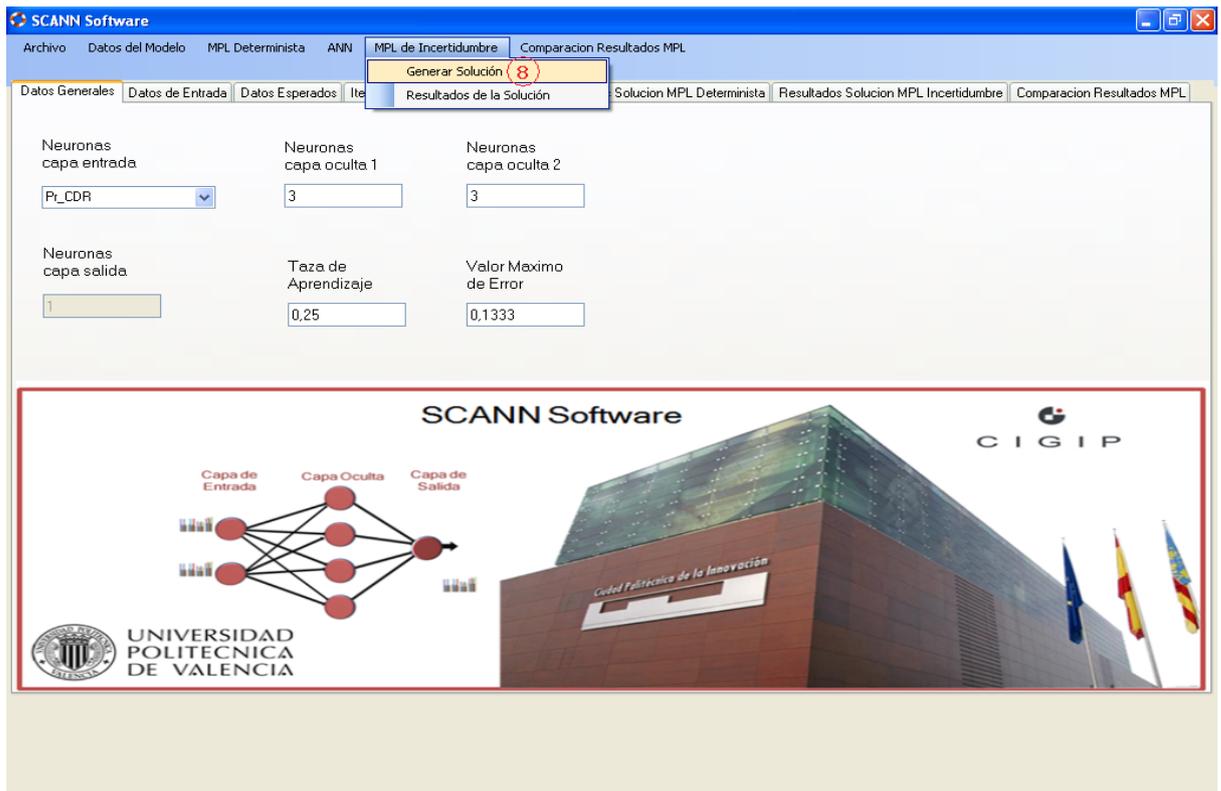


Figura 3.15.- Funcionamiento de la opción del menú MPL Incertidumbre “Generar solución”

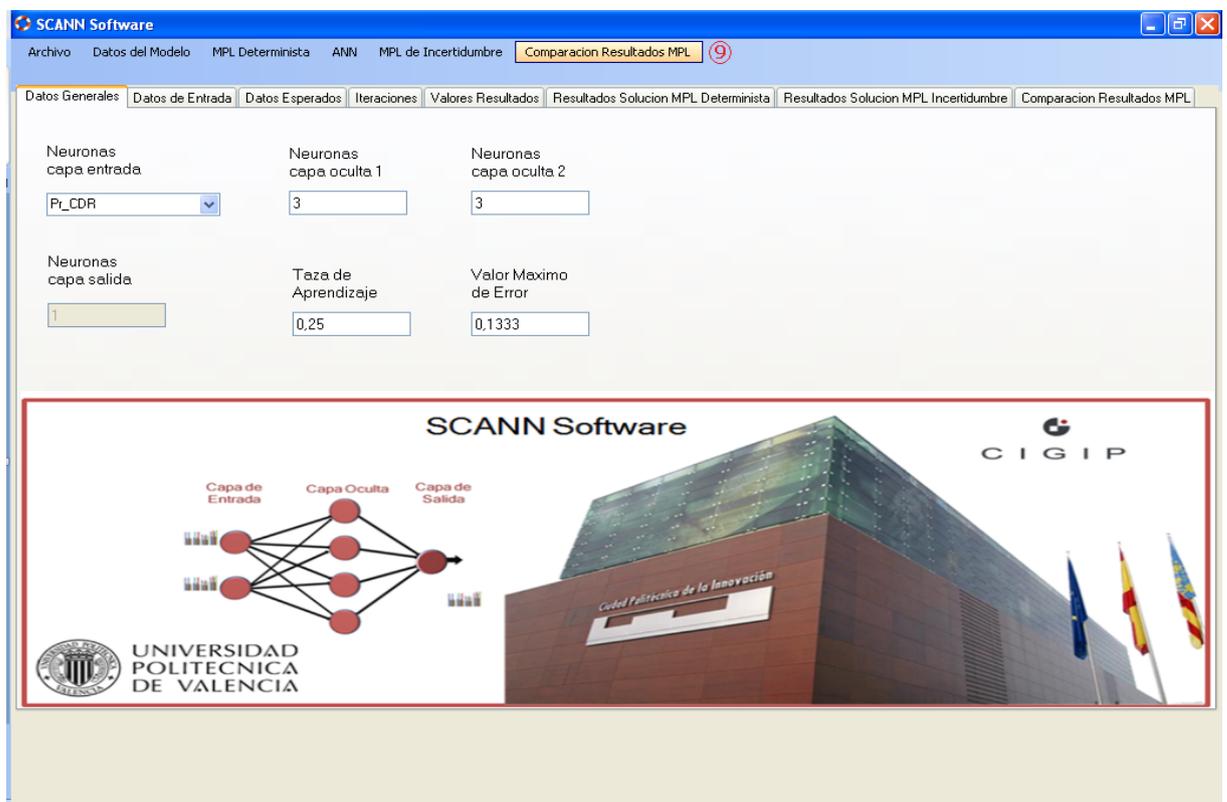
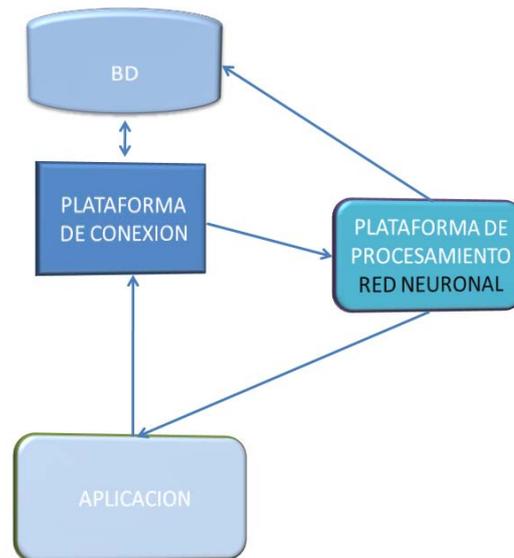


Figura 3.16.- Funcionamiento de la opción del menú “Comparación de Resultados”

9. Y por último en la Fig. 3.16 se observa la opción “Comparación de Resultados MPL” del menú para obtener la comparación de resultados entre el MMD y el MMI.

En la Fig. 3.17 se observa el funcionamiento de la Plataforma Informática desde un punto de vista informático/sistemático.



**Figura 3.17.- Diagrama de Funcionamiento de la Plataforma SCANN**

La Aplicación (ver Fig. 3.17) genera un evento para obtener los datos de una Tabla, la plataforma de conexión envía la petición de datos a la BD y recibe una tabla de datos con los valores pedidos, una vez recibidos estos valores, estos se procesan (cuando se presiona el boton/opcion de generar solucion) y se muestra el resultado del procesado en la interfaz de la aplicación, que a su vez se almacenan en la BD.

En el ANEXO D se incluye el código fuente del funcionamiento detallado de la Plataforma SCANN que está desarrollada con el lenguaje VISUAL.NET.

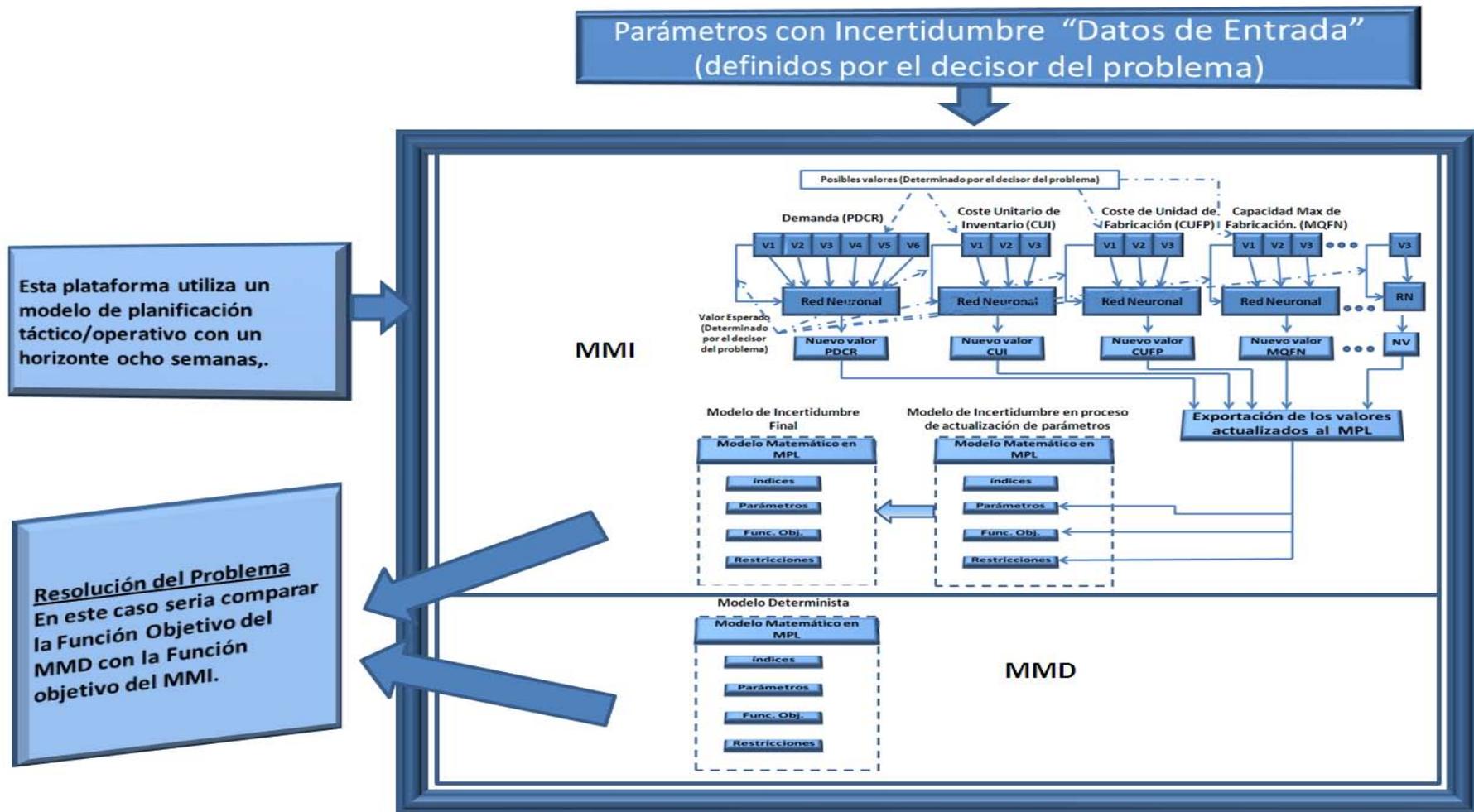


Figura 3.18.- Plataforma para un Cadena/Red de Suministro con Parámetros Inciertos

### 3.9. Conclusiones

El modelo propuesto considera el beneficio por producto de manera que decide, ante recursos escasos, de cuál producto conviene producir mayor cantidad y de cuál menos (por esto es mejor que un modelo que sólo minimiza costes), aunque tenga que penalizar la demanda no atendida con un coste de oportunidad (incluido en el coste de entregas diferidas del último periodo).

Mediante el enfoque de PMP se puede planificar los pedidos a los proveedores de manera que se cumpla con sus requerimientos de plazo de entrega y de cambio en la capacidad contratada. Esto permite ajustar las capacidades con adecuada anticipación.

Los modelos propuestos permiten obtener soluciones óptimas y proporcionan las cantidades de productos terminados a fabricar en forma directa y en forma indirecta (con aplazamiento), asimismo las cantidades de productos de cada etapa de la cadena y componentes a producir y transportar. Gracias a su estructura, se puede tener componentes compartidos por los distintos productos finales y se facilita su transporte y control de inventarios.

Además permiten analizar diversos grados de variabilidad de los beneficios respecto a los parámetros con incertidumbre para determinar en qué condiciones y periodos compensará producir.

Mediante las Redes Neuronales, el modelo con incertidumbre representa adecuadamente los valores inciertos y consigue resultados óptimos igual que el modelo determinista.

Los modelos se han implementado en MPL-LPSOLVER y para su ejecución se ha desarrollado un Plataforma y se ha implementado en VISUAL.NET.

Los MMD y MMI se pueden generalizar más, considerando: más desagregación en la producción, costes de producción dependientes del volumen, tamaño máximo del lote de producción, cantidad mínima de transporte, etc.

### 3.10. Referencias

Abilov A., y Zeybek Z., (2000). Use of neural network for modeling of non-linear process integration technology in chemical engineering. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 39 (5), pp. 449-458.

Alemaný, M.M.E., Alarc3n, F., Lario, F.C., y Boj, J.J., (2009). Planificaci3n agregada en cadenas de suministro del sector cer3mico. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Barcelona.

Alemaný, M.M.E., Boj, J.J., Mula, J., y Lario, F.C., (2010). Mathematical programming model for centralised master planning in ceramic tile supply chains. *International Journal of production Research*. Ed. Taylor & Francis. Vol. 48, No. 17, 1. Pg. 5053-5074.

Burton, R. M., (1995). *Design Models for Hierarchical Organizations: Computation, Information, and Decentralization*. Kluwer Academic Publishers.

Chen, L.C.; y Lee, W.C., (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertainty product demands and prices; *Computers and Chemical Engineering* 28: 1131-1144.

Chern, C.C. y Hsieh J.S., (2007). A heuristic algorithm for master planning that satisfies multiple objectives. *Computers & Operations Research*, 34(11), 3491 – 3513.

Chiu, M.; y Lin, G., (2004). Collaborative Supply Chain Planning using the Artificial Neuronal Network Approach; *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15 (8): 787-796.

Lambert, D.M., Cooper, M.C., y Pagh, J.D., (1998); *Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities*, in: *International Journal of Logistics Management*, 9(2): 1-198. Verlag: Berlin, 1994; pp 490-493.

Lario Esteban, F.C.; Vicens Salort, E., (2006). Modelos Conceptuales de la Red/Cadena de Suministro (R/CdS) en un contexto de modelado de Procesos de Negocio. X Congreso de Ingenieria de Organizaci3n CIO'2006.

Lee, Y.H., Kim, S.H. y Moon, Ch., (2002). Production-distribution planning in supply chain using a hybrid approach. *Production Planning & Control*, 13(1), 35–46.

Lippmann, R.P., (1987). An Introduction to Computing with Neuronal Nets; *IEEE ASSP Magazine*. pp 4-22.

Mena, N., Lario, F.C., y Vicens, E., (2008). Metodologías de Modelado para la Toma de Decisiones en la Red/Cadena de Suministro en el Contexto de Incertidumbre.; 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Burgos.

Mena, N., Lario, F.C., y Vicens, E., (2009). Modelo Matemático con Incertidumbre para una Red de Suministro: Un enfoque a las Redes Neuronales; 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Barcelona.

Peidro, D., Mula, J. y Poler, R., (2007). Supply chain planning under uncertainty: a fuzzy linear programming approach. Fuzzy Systems Conference. FUZZ-IEEE 2007. IEEE International. July 2007. Page(s): 1-6.

Proyecto RdS-2V.RDSINC, (2004). Metodología Jerárquica en Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico.

Robinson, R., (1999). "Welcome to OR Territory" OR/MS Today pp. 40-43 August.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. y Williams, R.J., (1986). Learning internal representation by error propagation. In: Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., Editors, 1986. Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition Vol. 1, MIT Press, Cambridge, MA Chapter 8.

Schneeweiss, C., (1995). "Hierarchical Structures in Organizations: A Conceptual Framework". European Journal of Operational Research, Vol. 86, 4-31.

Schneeweiss, C., (2002). Distributed decision making in supply chain management. Int. J. Production Economics. Vol 84, pp. 71-83.

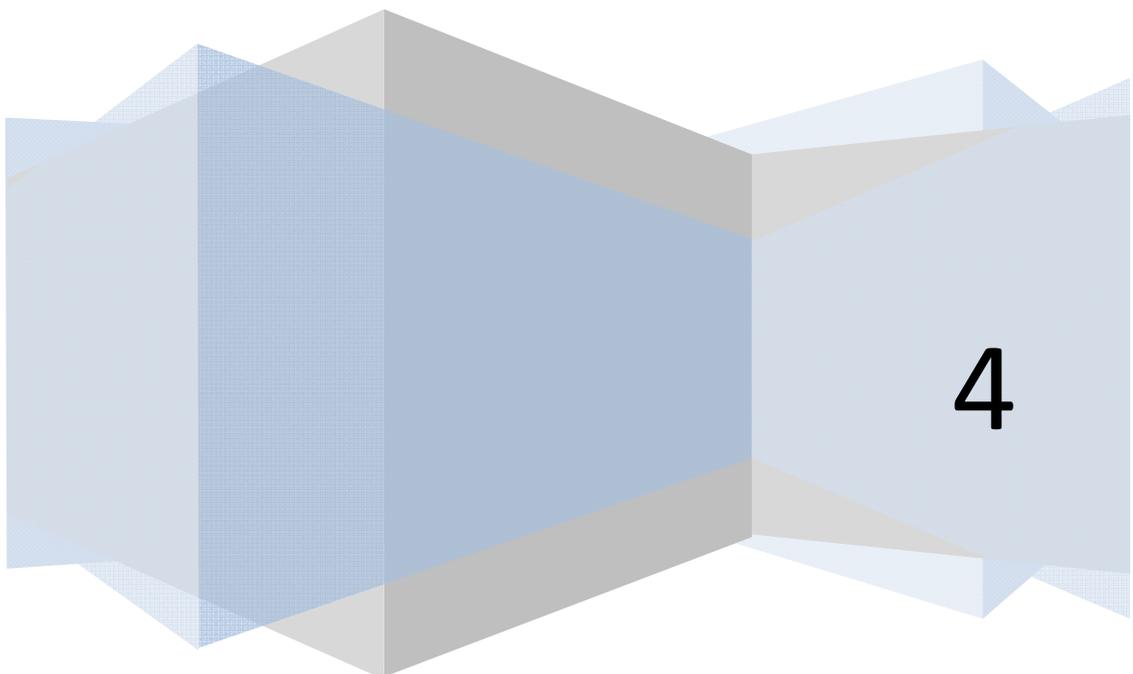
Stadler, H. y Kilger, C., (2008). Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies. 4th Edition, Springer.

Verikas, A., Malmqvist, K. y Bacauskiene, M., (2000). Combining Neural Networks, Fuzzy Sets, and Evidence Theory Based Approaches for Analyzing Color Images, *ijcnn*, vol. 2, pp.2297, IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'00)-Volume 2.

Wienholt, W., (1994). Minimizing the system error in feedforward neural networks with evolutionary strategy. In ICANN94, Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks; Springer

**Universidad Politécnica de Valencia**

# **Implantación de la Metodología Propuesta**



**ÍNDICE**

**4.1. Introducción.....167**

**4.2. El Proceso de Planificación de Operaciones en una C/RS Concreta..... 168**

**4.3. Descripción del Proceso de Fabricación..... 170**

**4.4. Modelado de la Empresa Cerámica..... 181**

**4.5. Información para la Aplicación del Modelo y su Herramienta de Resolución:  
Caso Práctico..... 195**

**4.6. Resumen.....235**

**4.7. Referencias.....236**

## **CAPÍTULO 4.**

### **IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

#### **4.1. Introducción**

En este Capítulo se determinan las bases para la utilización de la información en la Plataforma SCANN, teniendo en cuenta el Proceso Planificación de Operaciones de una C/RS Concreta. Se expone el funcionamiento interno de la Empresa del Sector Cerámico estudiado, esto con la finalidad de obtener un enfoque más concreto para así abordar el Modelado de la Empresa Cerámica y recopilar la información necesaria para la Aplicación del Modelo. La recopilación de la información se obtuvo del Proyecto “Metodología Jerárquica en el Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico” (Ref. DPI2004-06916-C02-01), cuyo Proyecto se centro en la fabricación y comercialización de pavimento y revestimiento cerámico. Esta información se utilizará en la Plataforma SCANN, la cual aborda el Problema de Planificación Operaciones. En el Capítulo 5 se verá el desempeño de la Plataforma Tecnológica SCANN a partir de las técnicas de solución antes mencionadas (Apartados 3.4 y 3.5), que permiten la posible aplicación de ésta y obtención de los resultados. También se analizará la problemática con mayor profundidad.

## **4.2. El Proceso de Planificación de Operaciones en la C/RS Concreta**

En los siguientes apartados se expone el funcionamiento interno de una Empresa característica del sector cerámico, con la finalidad de explicitar un enfoque más concreto.

### **4.2.1. Descripción de la Empresa Cerámica objeto de la aplicación**

Es una Empresa dedicada al diseño, fabricación y comercialización de pavimentos y revestimientos cerámicos. Desde 1975, trabajan para ofrecer al mercado lo último en tecnología, calidad y diseño. Hoy en día satisfacen a millones de clientes en 150 países diferentes.

Es una Empresa de Cerámica y Gres, cuyo fin último es ayudar a la decoración del hogar. Ofreciendo las últimas novedades en productos cerámicos, las últimas tendencias de decoración cerámica y así brindando un buen servicio.

Los productos cerámicos de ésta abarcan: tradicionales pavimentos y revestimientos de pasta roja y blanca, sofisticados revestimientos pulidos y rectificadas, porcelánicos técnicos y esmaltados de altas cualidades técnicas. Su avanzada tecnología de diseño esta destinada a hacer de cada producto cerámico, una pieza en la que quede constancia de la mejora y calidad en cuanto a investigación y desarrollo.

Esta Compañía tiene una capacidad de suministro de calidad a los clientes de 11 millones de metros cuadrados anuales en una superficie de 250000 m<sup>2</sup>.

#### **4.2.1.1. Descripción de los Productos**

En el proceso fabricación tradicional de gres se puede hablar de dos tipos de procesos, denominados de monococción y bicocción. En cada tipo de producción se pueden distinguir varios tipos de formatos (tamaño). A su vez, cada formato posee diferentes modelos que serán función de la forma y de las aplicaciones que reciben (dibujo, esmaltes, etc.).

En el proceso de monococción el esmalte se aplica directamente sobre la pasta prensada y cruda, ambas se cuecen simultáneamente para dar el acabado final. En la bicocción, la pasta prensada se pasa por el horno para formar el bizcocho y, posteriormente se aplica el esmalte sobre éste y se cuece nuevamente para dar el acabado final.

Durante muchos años ha existido la controversia acerca de cuál de los dos métodos es mejor. En realidad, teniendo la formulación adecuada tanto del cuerpo como del

esmalte, y observando un rígido control de todas las etapas de fabricación, es posible producir un buen azulejo con cualquiera de los dos métodos.

Tradicionalmente era más utilizado el proceso de bicocción, con ciclos de cocción de cuarenta y veinte horas para la primera y segunda cocción respectivamente (cocción del soporte y del esmalte). Actualmente es más interesante el proceso de monococción, con ciclos de sólo cuarenta o cincuenta minutos de duración.

Además, junto a la economía del proceso de monococción va unida una gran facilidad para la automatización de los diferentes subprocesos de fabricación, con el consiguiente resultado en la reducción de costes.

Los pavimentos y revestimientos cerámicos se obtienen preparando una composición de materias primas depuradas formada por silicatos de aluminio, siendo las composiciones diferentes para el caso de los pavimentos y revestimientos cerámicos en pasta roja o en pasta blanca.

En todo caso, en cualquier grupo de productos, continuamente se van eliminando modelos que no tienen suficiente demanda e incorporando otros nuevos, por lo que el número de modelos fabricados sufre continuas modificaciones, tendiendo a aumentar el número de un año a otro.

Ambos procesos son totalmente independientes (esto es, cada producto se puede fabricar solo en uno de los procesos y no comparten recursos), por lo que en este proyecto, el análisis se centrará en el primer proceso (monococción), puesto que es el que más complejidad representa debido al número de recursos involucrados (Alfaro, 1997).

Un producto es una pieza cerámica caracterizada por un modelo, un formato, un calibre, un color y tono. El modelo está relacionado con los aspectos estéticos y con el diseño (textura, dibujos, etc.) y se identifica con un nombre propio y de la serie al que pertenece (por ejemplo modelo Países de la serie España). El formato identifica sus dimensiones en el plano (ancho y largo en centímetros). El calibre determina el grosor de la pieza (en milímetros). El color está relacionado el valor numérico grueso que se asociará a la pieza en el pantone de colores, y se identifica con un nombre (rojo, negro, etc.). El tono determina el valor numérico fino que se asociará a la pieza en el pantone de colores.

Se puede decir que el producto está formado por características esenciales y auxiliares. Las primeras son aquellas por las cuales son conocidos por los clientes y solicitados por los mismos, es decir, modelo, formato y color. Mientras que las segundas, tono y calibre, se determinan definitivamente en el proceso de fabricación y diferencian a los

productos, incluso de un mismo lote, en subconjunto diferenciados por no poder ser utilizados en un mismo cliente final.

### **4.3. Descripción del Proceso de Fabricación**

Como se verá de aquí en adelante, en este apartado se hará una descripción general del proceso de fabricación de la Compañía Cerámica teniendo en cuenta los procedimientos basados en (Andrés, 2001).

#### **4.3.1. Descripción General**

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 muestra un diagrama donde se detallan las fases que tienen lugar en el proceso productivo de monococción porosa. Estas fases se explican en los siguientes apartados.

A continuación se describen uno por uno todos los procesos detallados en la Fig. 4.1 basados en (Andrés, 2001).

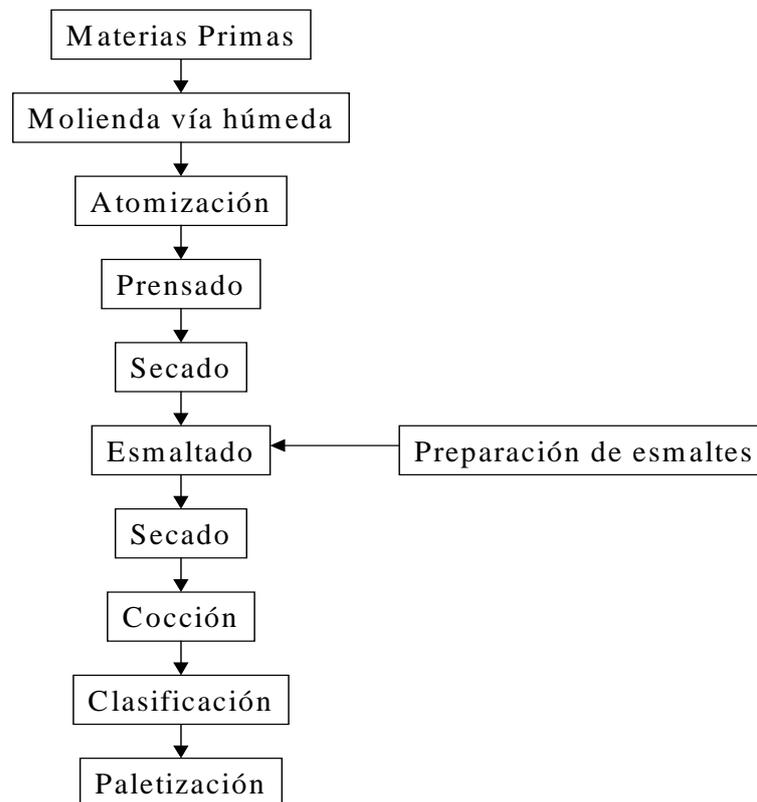


Figura 4.1. Proceso general de monococción porosa (Dalmau, y otros, 1993)

#### 4.3.2. 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.

### **4.3.3. 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.

#### **4.3.4. 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.

### **4.3.5. 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.

#### **4.3.6. 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 traspasan a la línea de alimentación a hornos, la cual dispone de otro compensador para evitar la discontinuidad en la entrada al horno.

#### **4.3.7. 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.

#### 4.3.8. 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 1120º C aproximadamente, siendo la permanencia de cada pieza en el horno de unos 42 minutos aproximadamente.

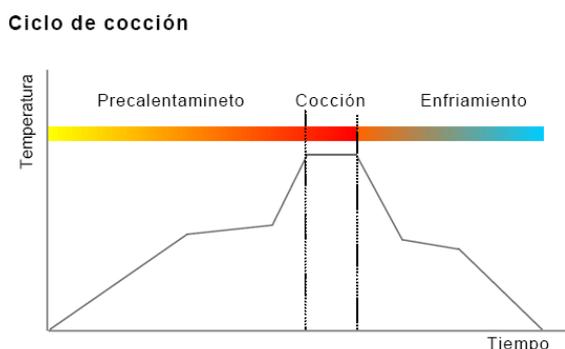


Figura 4.2. Ciclo de cocción en el horno (ASCER, 2004).

Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico (temperatura-tiempo, Fig. 4.2) 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.

#### **4.3.9. 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.

#### **4.3.10. 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.

#### **4.3.11. 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 4.3 se puede apreciar de forma resumida el proceso completo de fabricación de baldosas cerámicas.

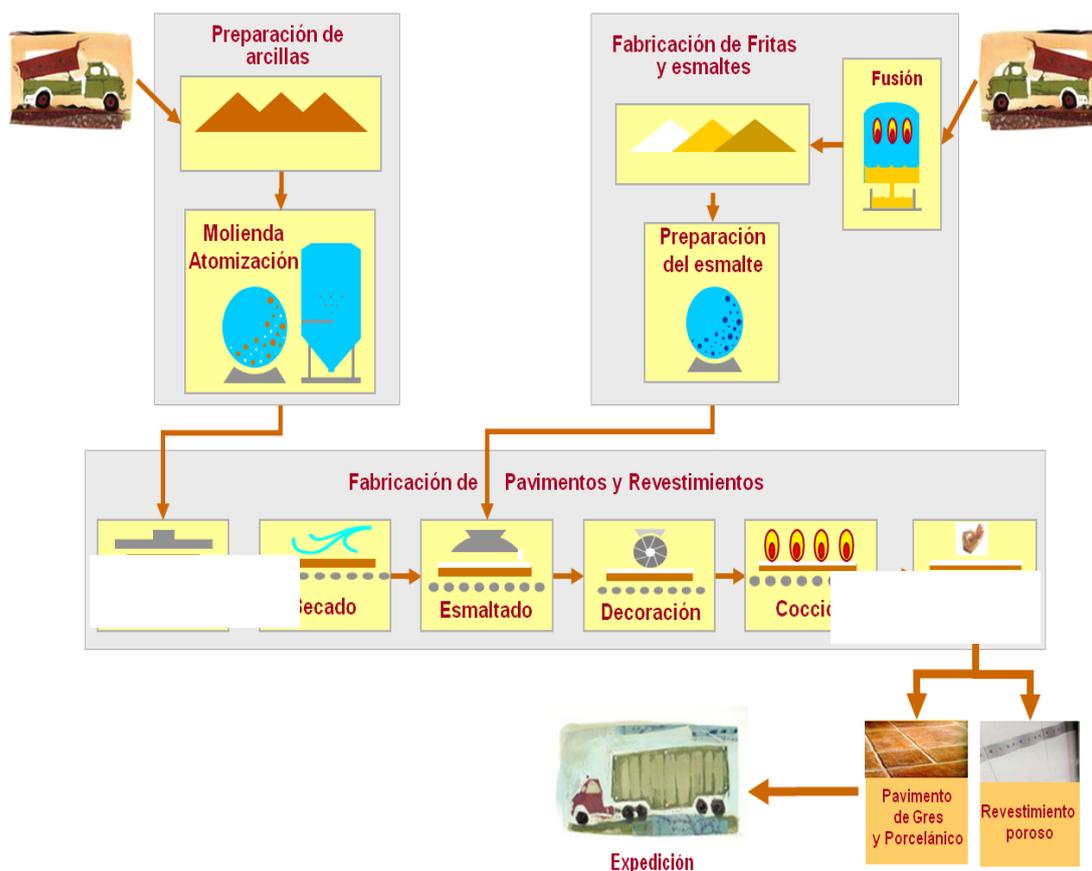


Figura 4.3. Visión general del proceso de fabricación de baldosas cerámicas (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)

#### 4.4. Modelado de la Empresa Cerámica.

El presente apartado 4.4 es una recopilación de la información obtenida en el Proyecto “Metodología Jerárquica en el Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico” (Ref. DPI2004-06916-C02-01), referente a la estructura de la Cadena/Red de Suministro/Distribución de una Compañía de Cerámica, cuya actividad se centra en la fabricación y comercialización de pavimento y revestimiento cerámico.

##### 4.4.1. Cadena/Red de Suministro de una Compañía Cerámica

En la estructura física se han identificado un conjunto de Entidades, tanto internas como externas referentes a las etapas de Proveedores, Plantas, Distribución/Detallistas y Clientes que representan Nodos de la C/RS. Las plantas de fabricación P1 y P2, pertenecientes al Grupo GG1 se consideran los Nodos promotores.

Partiendo de de estos se han identificado aquellos otros Nodos relacionados, tanto aguas arriba como aguas abajo, que se consideran importantes para obtener unos resultados adecuados en la Planificación Conjunta de Operaciones y con los cuales existe posibilidad de colaboración.

Para los análisis de C/RS es necesario considerar los siguientes puntos (Lorenzoni, 1992):

- Definir los “nodos” es decir las unidades (empresas, departamentos, divisiones, individuos, etc) que intervienen en la red
- Definir los “arcos”, es decir las relaciones entre los nodos
- Analizar los tipos de relación en los arcos (jerárquica, contratos, información, etc)

El siguiente esquema (Fig. 4.4) muestra las diferentes Etapas, Nodos y arcos entre Nodos:

En la Fig. 4.4 precedente se han resaltado en color oscuro aquellas entidades que interesa considerar para el desarrollo de esta tesis y que, por lo tanto, conformarán el ámbito de aplicación del mismo.

A continuación se realiza una breve descripción de las Entidades Mercantiles internas y externas para luego detallar la estructura de la C/RS según las distintas etapas que la componen: Proveedores, Plantas y Distribución/Detallistas.

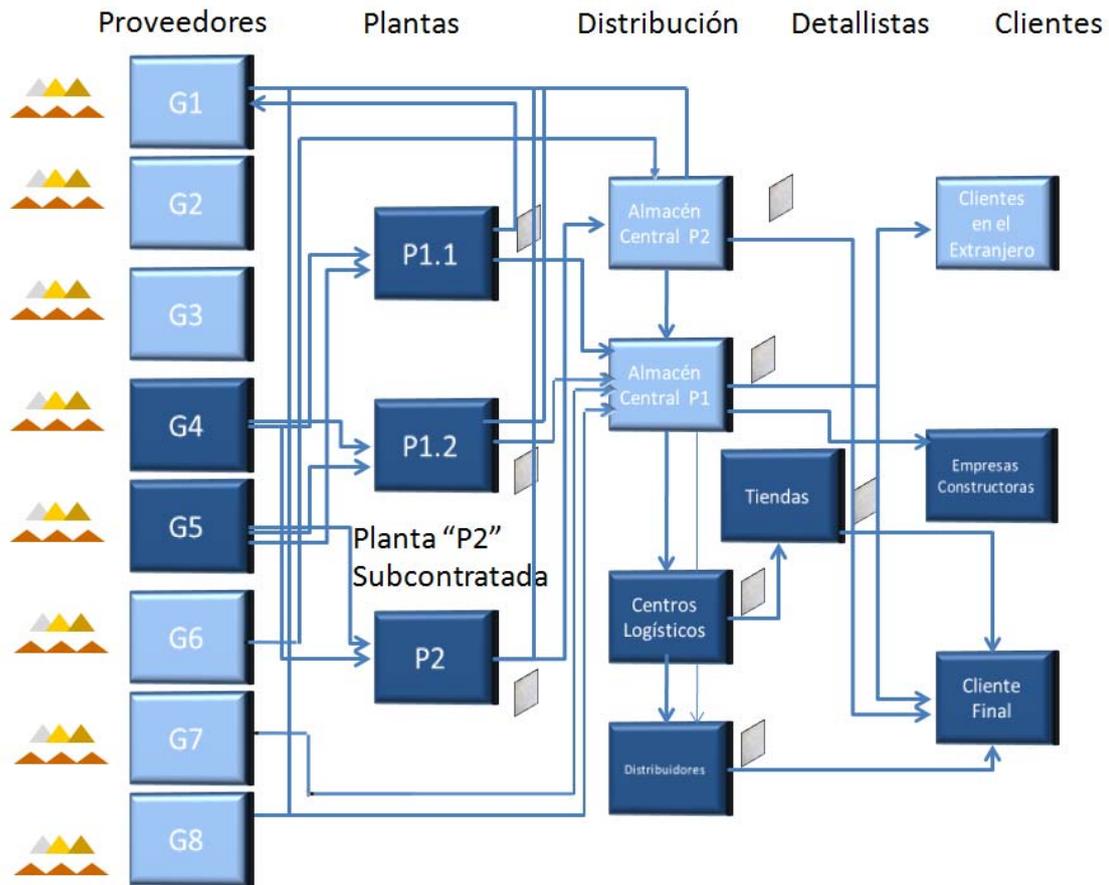


Figura 4.4.- Estructura Física de las Etapas del R/CS (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)

#### 4.4.2. Entidades Mercantiles Internas

La siguiente Tabla 4.1, muestra las Entidades Mercantiles, que pertenecen al Grupo GG1, con su correspondiente actividad:

Entidad Mercantil	Actividad
<b>P1</b>	Fabricación de Pavimentos Porcelánicos (Planta P1.1- Aproximadamente 10 Formatos) y Revestimientos de Pasta Blanca (Planta P1.2 - 5 formatos)
<b>P2</b>	Pavimentos y revestimientos de Pasta Roja, Pasta Blanca y Porcelánico (7 formatos)
<b>G3</b>	Fabricación de productos complementarios (Hidromasaje)
<b>G8</b>	Fabricación de piezas especiales de diseño complementarias a las bases de revestimiento y pavimento: listelos, decorados, tacos, entre otros
<b>G4</b>	Fabricación de Fritas, esmaltes cerámicos, colores cerámicos, aditivos cerámicos
<b>G5</b>	Pasta blanca atomizada
<b>G6</b>	Pasta roja atomizada
<b>GNK A.I.E</b>	Cogeneración y atomización
<b>Distribuidores</b>	Comercialización de pavimentos y revestimientos cerámicos, piezas especiales, muebles de baño y cocina

Tabla 4.1- Entidades de la Compañía Cerámica (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)

#### 4.4.3. Entidades Mercantiles Externas

La siguiente Tabla 4.2, muestra algunas de las entidades externas que intervienen en la RS/D:

Entidad Mercantil	Actividad
<b>G7</b>	Fabricación de Pavimentos y Revestimientos de Pasta Roja, Pasta Blanca y Porcelánico
<b>G1</b>	Proveedor de procesos externos: pulido, corte, rectificado
<b>G2</b>	Fabricación de revestimiento cerámico de pasta Blanca y esmaltado (mosaicos 10x10)
<b>CE</b>	Cartonajes para embalaje

**Tabla 4.2.- Entidades Mercantiles Externas de la R/CS (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)**

A continuación se describe cada Etapa con sus entidades (Nodos) correspondientes.

#### 4.4.4. Etapa Proveedores

Los proveedores que se consideran fundamentales para obtener unos resultados adecuados en la Planificación Conjunta de Operaciones son: Los de tierra atomizada, los de esmaltes colores y fritas, los de procesos externos y el de pavimentos y revestimientos de pasta roja.

Con todos ellos hay acuerdo de precios anuales basados en estimaciones muy agregadas de actividad, y revisiones periódicas de servicio.

Los pedidos a Proveedores de materias primas siempre se hacen en firme, no hay una Previsión de Compras (aunque este dato no es seguro, según el responsable de Planificación/Logística, habría que confirmarlo con la gente de Compras/Producción). Habitualmente en la Planificación de la Producción, no se tiene en cuenta si el proveedor dispone de la capacidad y/o recursos necesarios para satisfacer el pedido solicitado. En un caso de demanda extraordinaria, sí es posible que se verifique que el proveedor es capaz de suministrar el pedido solicitado antes de programar la producción.

Los proveedores de Materias Primas son gestionados directamente por Compras y no suele existir problemas en cuanto al cumplimiento en las entregas. En general, cuando

se necesita un producto se pide y es problema del proveedor cómo abastecerlo en tiempo y forma.

En cuanto a cantidades de material a solicitar a cada proveedor existe, para cada artículo, una receta con la lista y cantidad de materiales necesarios. El actual sistema lleva cuenta de las cantidades necesarias de cada materia prima. Esto, a la vista del programa pasado por el responsable de Planificación/Logística y teniendo en cuenta las modificaciones que se introducen al mismo, se calcula la cantidad total a pedir de cada material.

### **4.4.5. Proveedor G4**

Esta Entidad provee materias primas a P1.1, P1.2 y P3. Existen ligeras diferencias entre fritas para pavimentos y revestimientos.

Las fritas se depositan en una zona cercana a los molinos. Desde allí se cogen para la preparación de esmaltes, en una zona destinada a tal fin, perteneciente a la Entidad Mercantil P1.

### **4.4.6. Proveedor G8**

Esta Entidad, perteneciente al grupo GG1, se dedica a la fabricación de piezas especiales: listelos, decorados, tacos, todo aquello que precisa de una cocción posterior (3er fuego) para incorporar diseño en detalle y complementar las bases de pavimento y revestimiento.

Si bien esta Entidad podría considerarse una planta más de fabricación del Grupo GG1, dentro de la Etapa de Fabricación/Montaje, se ha considerado sólo como un proveedor más dentro del ámbito de aplicación porque provee productos de poco margen, si bien son de alto valor añadido. Se considera el margen como el beneficio resultante de ventas menos costes directos e indirectos.

En la planificación de G8 existe algún grado de cooperación con respecto a la planificación que de forma conjunta realizan P1.1, P1.2, y P2.

### **4.4.7. Proveedor G1**

Este proveedor realiza distintos procesos de terminación a determinadas piezas fabricadas en P1. Estos pueden consistir, entre otros, en operaciones de corte, rectificado o pulido. Por ejemplo, algunos ítems de gran “formato” (tamaño) cuya colocación se realiza sin juntas, son fabricados en P1 con cierto índice de error en cuanto a sus dimensiones. Dado que dicha colocación requiere un margen de error casi

nulo, las piezas son enviadas a este proveedor para que sean cortadas garantizando así un mínimo error.

Los productos terminados en P1.1 y que están a la espera de ser transportados hacia G1 para sufrir algún proceso de rectificación, se depositan en P1, en un Almacén ubicado físicamente fuera del Almacén Central, pero cuya gestión corresponde a este último.

Los productos rectificadas son transportados desde G1 al Almacén Central D1. Estos ya vienen en cajas.

#### **4.4.8. Proveedor G5: Tierra Atomizada(Pasta Blanca)**

Existen diferentes formulaciones de tierra para pasta blanca, aunque sólo son 3 o 4.

La materia prima para pasta blanca se almacena en los silos.

El tipo de transporte utilizado es el camión pero no es restrictivo.

#### **4.4.9. Proveedor G7: proveedor de pavimento y revestimiento de pasta roja**

Este proveedor, de pavimento y revestimiento de pasta roja, se considera interesante a la hora de analizar las relaciones con Proveedores, por delante de G8, aunque se desconoce su predisposición para participar.

Con este Proveedor existe actualmente intercambio de Planes a Medio Plazo.

#### **4.4.10. Proveedor G6: Proveedor de tierra Atomizada para Pasta Roja**

Pertenece el grupo GG1. Este suministraba a P1.1 y P1.2, pero desde que estas no fabrican pasta roja, suministra a P2 y a terceros.

#### **4.4.11. Etapa Fabricación/Montaje**

Las Plantas P1.1, P1.2 y P2 son los nodos identificados en la Etapa de Fabricación/Montaje y se consideran Nodos Promotores.

A continuación se describen características generales comunes a todos los nodos que integran esta Etapa. Posteriormente se tratará cada Nodo en particular.

La Planificación de G1 P1.1, P1.2 y P2 es realizada, de manera conjunta, por el director de Planificación del Grupo (director de Planificación-Logística de P1).

P1.1 fabrica exclusivamente pavimento porcelánico, P2 fabrica revestimiento de Pasta Blanca y P1.2 fabrica, además de lo anterior, pavimento y revestimiento de Pasta Roja.

El proceso productivo se considera un proceso trietapa formado por:

- Atomización, Prensa y Esmaltado
- Horno
- Clasificación

**4.4.12.P1.1: Planta de Pavimentos**

La siguiente Tabla 4.3, muestra la actual configuración de las líneas de producción en la Planta de Pavimentos.

Horno	Línea	Formato
H1	L1	50x50 (opcional 33x33 y 41x41)
	L2	Idem L1
H2	L4	33x33
	L5	Idem L4
H3	L3	41x41 y 33x59
	L8	Idem L3
H4	L6	100x50
	L7	Serie Futura

**Tabla 4.3.- Actual configuración de Líneas y Hornos en la Compañía Cerámica (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)**

**Líneas L1 y L2:** Fabricación de porcelánico de 50x50 ya sea esmaltado o coloreado. Pero, también es posible fabricar 33x33 y 41x41, mediante un cambio de molde y ajuste de las guías de los carriles.

**Líneas L3 y L8:** Estas dos líneas trabajan en paralelo, fabricando al mismo tiempo un mismo formato por razones de costes productivos, de calidad y eficiencia. La razón es que el horno solo admite piezas de un mismo formato, en cada periodo de cocción.

**Líneas L4 y L5:** Estas líneas producen porcelánico de 33x33.

**Línea L6:** Esta línea fabrica el formato 100x50, por lo que las piezas de este tipo se fabrican exclusivamente aquí, aunque también es posible fabricar otros formatos en esta misma línea.

**Línea L7:** Esta línea es exclusiva para un producto en particular y éste no puede ser fabricado en ninguna otra línea.

**Restricciones de las Líneas:**

- No todas las líneas pueden hacer todos los formatos.
- Un cambio de molde supone perder un día de producción (dos turnos de 8 horas cada uno), dado que la línea permanece parada. Una restricción es que se exige al menos un mes de producción para que se justifique dicho cambio de formato.
- El lote mínimo deseable para que se justifique un cambio de producto (sin cambio de formato) es de dos días productivos.
- En el catálogo de productos, la agrupación se realiza de acuerdo a series que engloban diferentes formatos, pastas y tonos. La serie es un concepto de diseño. Por lo tanto la agrupación del catálogo de ventas no se corresponde con la que se realiza a nivel de planificación de la producción.
- En cuanto a los silos que alimentan las líneas de producción, cada uno de ellos puede contener cualquier tipo de arena, pero existe la restricción de que no pueden abastecer a todas las líneas.

**4.4.13.Productos que se fabrican**

La siguiente Tabla 4.4, muestra los productos que se fabrican desde un punto de vista técnico, según los diferentes tipos de pasta, su grado de porosidad y acabado final:

Tipo de Pasta	Porosidad		Acabado Final
Pasta Blanca	Alta Porosidad		Esmaltado
	Muy Baja Porosidad	Porcelánico. La pasta de porcelánico es una pasta blanca de pavimento específicamente desarrollada para que su porosidad sea lo menor posible, por debajo del 0,5%	Técnico: Coloreado en masa. El coloreado se puede obtener introduciendo los colores en la mezcla de tierras, o “rebozando” la pasta blanca del color deseado. Se suele pulir, pero se vende también sin pulir (acabado “natural”)  Esmaltado: base porcelánica blanca, o coloreada con capa de esmalte por encima, que puede llegar a pulirse levemente
Pasta Roja	Alta Porosidad		Esmaltado
	Porosidad Media	Gres	Esmaltado

**Tabla 4.4.- Productos que se fabrican según tipo de pasta (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)**

El primer criterio a tener en cuenta para la agrupación de productos es el Uso: Pavimento y Revestimiento.

La siguiente Fig. 4.5 muestra qué fábrica cada planta P1.1, P1.2 y P2, teniendo en cuenta los criterios de USO PASTA y ESMALTE (o acabado) indicando y cuando procede.

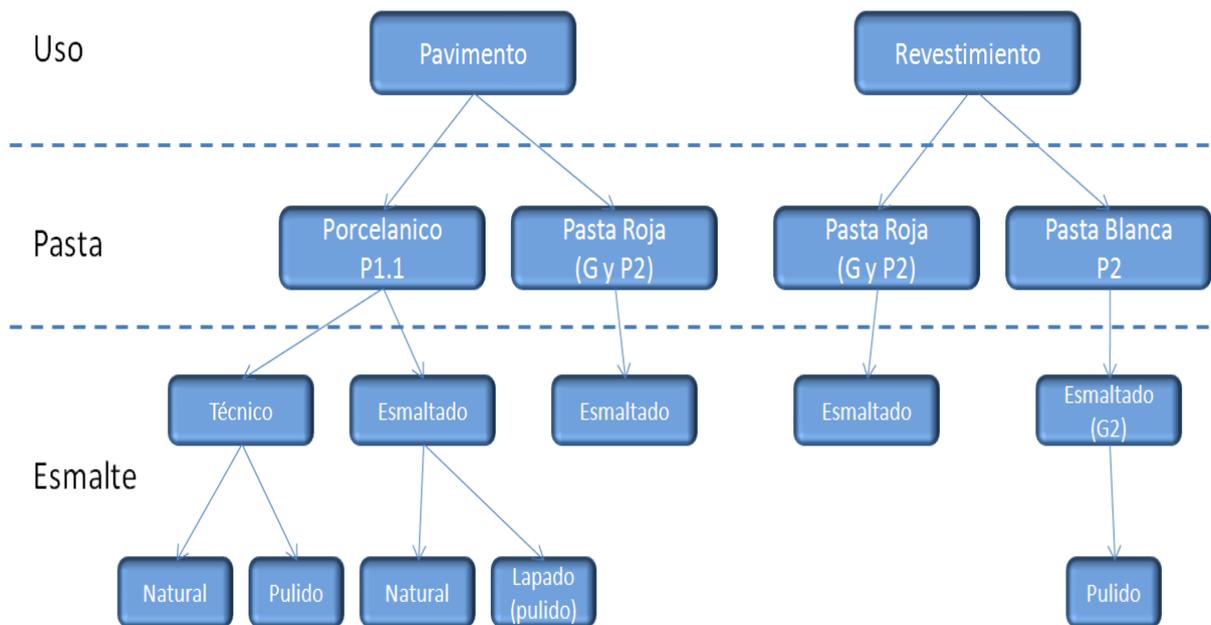


Figura 4.5.- Uso - Pasta - Esmalte (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)

En algunos casos lo que, desde el punto de vista de fabricación, se considera Pavimento, puede aparecer como Revestimiento en el catálogo comercial. Es el caso de los productos porcelánicos que se ofrecen tanto para pavimentos como para revestimientos, y son todos fabricados en la planta P1.1.

Hay más formatos comerciales que productivos ya que por ejemplo un 50x50 se puede transformar en un 49x49 o en un 25x25 después de un proceso de corte que se subcontrata.

#### 4.4.14. Políticas de distribución/subcontratación de la Producción entre Plantas

Por políticas internas la fabricación de productos de alto valor añadido, porcelánicos principalmente de gran formato y esmaltados o revestimientos de Pasta Blanca de alto valor (revestimiento poroso pulido, exclusivo de P1), no puede ser subcontratada. En caso de un aumento excepcional de la demanda los productos que se subcontratan son los de menor valor añadido, y en principio, los B y C.

En el caso de productos de bajo valor añadido, primero se intenta subcontratar todo a terceros, sólo en caso de capacidad ociosa grande o de no encontrar Proveedores que cumplan los requisitos de calidad exigidos se decidiría fabricar.

El exceso de producción de P1.1 y P1.2 se fabrica generalmente en P2 pero también se subcontrata. No se contrata a terceros habiendo capacidad en P2.

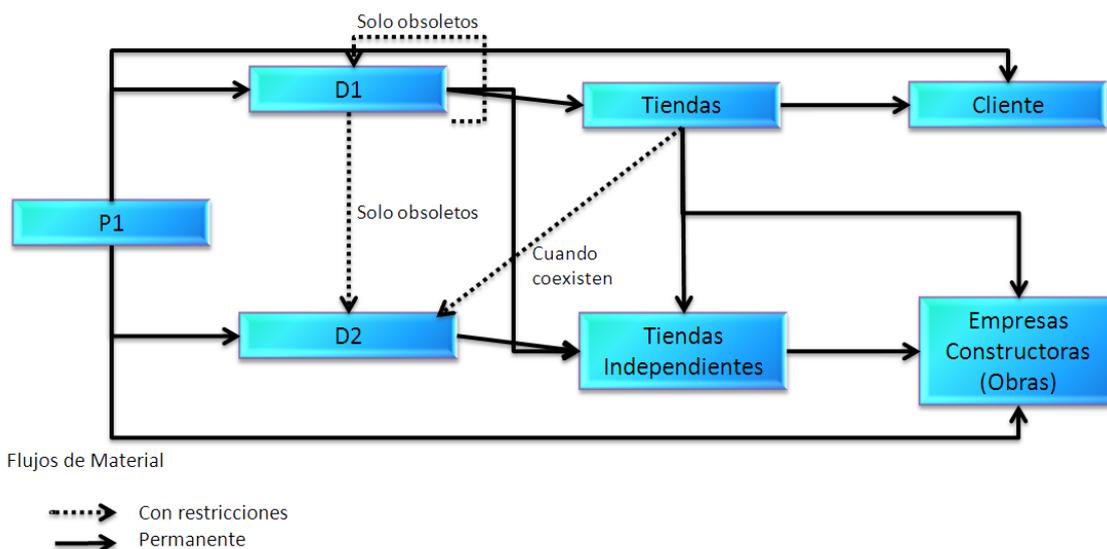
Cuando se recibe un Pedido de gran cantidad de metros, se puede fabricar todo el Pedido de una sola vez o por Fases (en cantidades mínimas según el Lote mínimo de Fabricación). Depende del Tamaño del Pedido y del Nivel de Servicio.

Las Líneas de Fabricación pueden estar planificadas para Trabajar en Ciclos (secuencia y distribución temporal de Formatos / Pasta). Como consecuencia, cuando llega un Pedido grande se ve si se puede repartir entre varios ciclos que permitan el cumplimiento de Plazos de Entrega de las distintas fases; si no se pueden cumplir los plazos de las distintas fases de entrega por la excesiva distancia temporal entre Ciclos se fabrica todo de una vez, se guarda en el Almacén (Centro de Distribución) y se va expidiendo por fases de acuerdo con los Plazos de Entrega.

**4.4.15. Centros de Distribución**

En esta Etapa todo el transporte se realiza por camión (salvo exportaciones) y no es un elemento crítico en ningún sentido, podría considerarse a capacidad infinita.

En la siguiente Fig. 4.6, se indica la importancia de cada canal en función del porcentaje que se le atribuye respecto de la Facturación total.



**Figura 4.6.-Cadena de Distribución (Proyecto RdS-2V.RDSINC, 2004)**

Tomando como referencia el volumen de Facturación, el flujo desde el Centro de Distribución se distribuye principalmente entre los Distribuidores Independientes (50% destinado a exportaciones y 25% a mercado nacional), los Centros de Distribución (10% exclusivamente a mercado nacional) y envíos completos por vía directa a Empresas Constructoras (15%). Existe algún flujo desde el Almacén Central hacia los Consumidores Finales pero es despreciable.

Las Tiendas Independientes son propiedad de los Distribuidores.

Las Empresas Constructoras suelen comprar a Distribuidores y a D1.1

A continuación se detallan los Nodos identificados en esta Etapa.

#### **4.4.16. Almacén Central de P1:**

Hay un almacén central y recibe los Productos Finales de P1, fabricados por P1.1 y P1.2.

#### **4.4.17. Almacén Central de P2:**

La Empresa P2 tiene su propio Almacén de Productos Finales de su propia marca.

Cada Empresa, P1 y P2, tiene sus propios Clientes, y cada una expide desde su propio Almacén Central.

Cuando la empresa P2 fabrica la marca de la empresa P1, los Productos Finales se trasladan al Almacén Central de P2, para ser enviados desde allí a los Clientes de P1 junto a otros productos de la misma marca. Existe pues una Logística P1 y otra Logística P2 claramente diferenciadas (aunque a Nivel de Planificación de Producción se hace conjuntamente).

#### **4.4.18. Centros Logísticos**

Son de la Compañía Cerámica P1. Hay tres (3) Centros de desconsolidación-consolidación, que pueden asimilarse a plataformas logísticas ya que no guardan stock (salvo los obsoletos que se trajeron de los almacenes de las tiendas). Lo que hacen es desconsolidar palets completos de cerámica y consolidarlos con los productos complementarios (sanitario, mueble de baño) con destino al detallista o al cliente final.

En estos se realizan las agrupaciones de Pedidos de las tiendas correspondientes. Solo tienen material vendido, es decir, material que las tiendas solicitan bajo "pedido de sus clientes". En este caso **vendido no implica facturado**. Salvo cementos no almacenan nada más, ni aún cuando se trate de material de alta rotación o demanda. Lo que puedan seguir almacenando solo se corresponde con obsoletos retirados en su día de las Tiendas.

En el caso de que un Pedido deba entregarse decalado, es decir entregado en varias fases, el envío también se realiza decalado desde el Almacén Central a los Centros Logísticos.

### **4.4.19. Distribuidores**

Existen distribuidores independientes y distribuidores participados.

Distribuidores independientes hay en toda España, allí donde no hay una tienda propia.

Los Distribuidores están localizados en puntos geográficamente distintos del ámbito de influencia de los Centros Logísticos. La política es no situar Detallistas de P1 cercanas a Distribuidores a fin de no actuar como competencia. No se conoce excepción alguna al respecto.

Los Distribuidores se abastecen exclusivamente de los Almacenes Centrales de P1 y P2.

Existen Distribuidores participados, pero son independientes en los modos de gestión, a efectos logísticos funcionan como cualquier Distribuidor completamente independiente. Los distribuidores participados actúan exactamente como si se tratara de una tienda propia. Venden exclusivamente productos de la marca P1.

### **4.4.20. Tiendas**

Existen dos tipos de Tiendas: Tiendas Independientes (propiedad de los Distribuidores Independientes) y Tiendas del GG1.

Cada Tienda del Grupo se alimenta de su Centro Logístico correspondiente.

Cada Tienda se abastece de su propio centro Logístico. Cada Tienda pertenece a un único Centro Logístico. Se han asignado en función de su conveniencia, distancia y coste.

Donde hay Tiendas puede quedar algún Distribuidor, pero es atendido por la propia Tienda.

No se da el caso de que una Tienda del Grupo, por su ubicación geográfica, se alimente de un Distribuidor independiente, en lugar de un Centro Logístico.

Reseñar que los Detallistas del Grupo abastecen a su vez a otros pequeños Detallistas (Clientes Profesionales), aunque esta vía de comercialización es ínfima en comparación con las otras.

### **4.4.21. Clientes**

Los clientes se definen según el tipo de demanda, siendo grandes, medianos y pequeños clientes. En los siguientes apartados se hablará de los grandes y mediano

clientes (empresas constructoras y extranjeros) ya que los pequeños clientes normalmente son los del día a día.

#### **4.4.22. Empresas constructoras**

En el caso de Obras el material suele transportarse directamente desde el almacén central D2 sin pasar por ningún Centro Logístico.

Desde P1 se planifica el decalaje del envío a obra. Normalmente son pedidos grandes y por tanto no requieren desconsolidación- consolidación sino palets completos.

#### **4.4.23. Clientes Extranjeros o de Exportación**

El 40% de la fabricación total corresponde a Exportaciones.

La Logística internacional es independiente de la Nacional.

A nivel internacional existen Delegaciones, que funcionan como entidades de Almacenamiento o de Distribución.

La Demanda de los Clientes Internacionales (Delegaciones por países, con Entidad jurídica propia) se introduce en la elaboración de los Presupuestos de Fabricación Anuales.

#### **4.5. Información para la Aplicación del Modelo y su Herramienta de Resolución: Caso Práctico**

En este apartado, se presenta la etapa experimental de la propuesta de modelado. El objetivo es evaluar el potencial del modelo para la búsqueda de una solución aceptable, desde el punto de vista de optimización. Por lo novedoso del modelo, no es posible la comparación con desarrollos anteriores similares. Por lo tanto, el estudio se inicia en la definición y análisis de los modelos MMD y MMI, para determinar aquellos que permitan una mejor exploración del campo de soluciones. Adicionalmente, se estudia el comportamiento de la Red Neuronal en base al número de capas de entrada, capas ocultas y capas de salida para evaluar los parámetros para las capas de entrada y obtener una salida óptima y así mejorar el horizonte para la correcta planificación.

Como se ha observado en los capítulo 2, apartado 4, no existe en la bibliografía una formulación como la que se propone en este trabajo, siendo, por lo tanto, desconocida la solución de la Planificación Maestra con redes Neuronales. Es prudente comentar, que los desarrollos descritos anteriormente para la C/RS, abordan problemas muy puntuales que incorporan parámetros específicos.

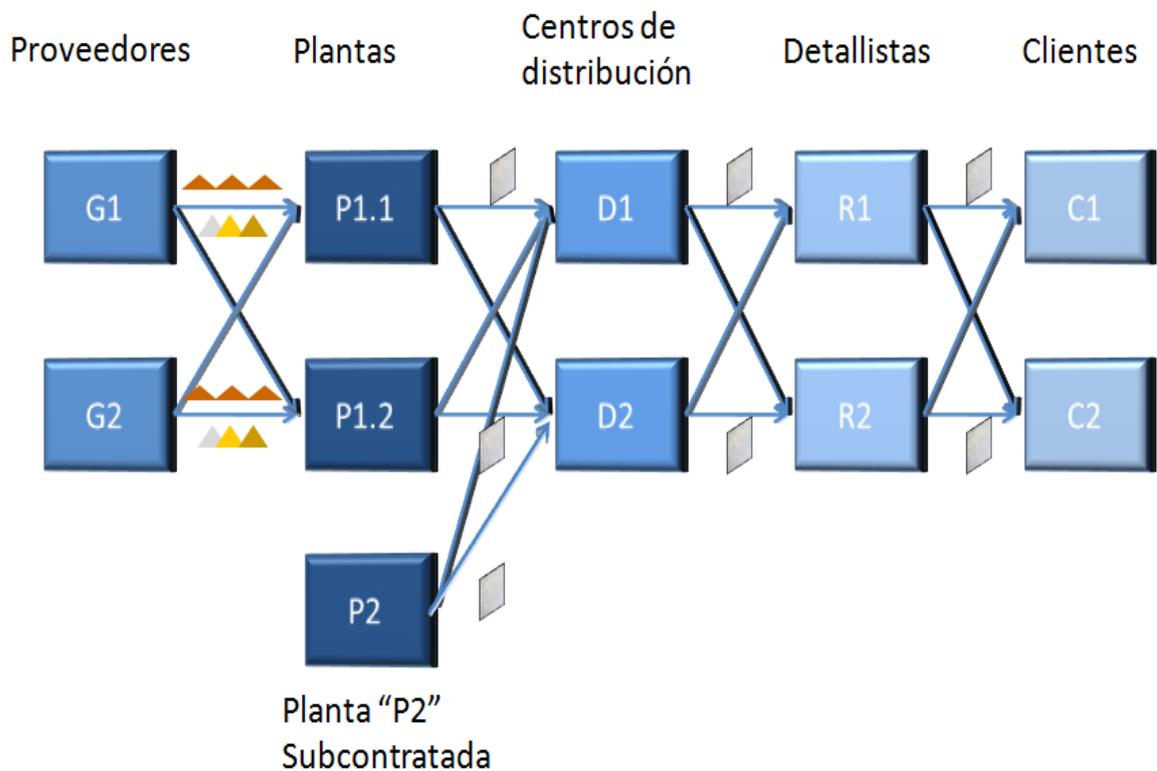
Los resultados, una vez obtenidos, manifestarán la bondad de la propuesta de modelado para este tipo de problemas conjuntos, así como sus posibles limitaciones. La complejidad del modelo junto con la multiplicidad de criterios a optimizar, corresponden a un problema de difícil o imposible solución por métodos analíticos directos, siendo evidente la conveniencia de aplicar las Redes Neuronales.

### **4.5.1. Información para la Aplicación del Modelo**

Para la implementación del modelado, primero que todo se tiene que tener en cuenta el Apartado 4.4 de este capítulo (Modelado de la Empresa Cerámica), y de ahí empezar a usar las características más apropiadas para el ensayo del caso práctico. Como podemos ver en la Fig. 4.7, para el ensayo no se tienen en cuenta todos los nodos de cada etapa de la cadena, ya que la cadena comprende 4 etapas y hace más complicada la solución de la programación matemática en el MPL. Por lo tanto, en la etapa de Proveedores se tuvieron en cuenta solo dos nodos, siendo estos los que fabrican fritas, esmaltes cerámicos, colores cerámicos, aditivos cerámicos y pasta blanca atomizada (G4 y G5), pero para este ensayo los llamaremos G1 y G2. Estos se escogieron por ser los que proveen a las Plantas P1.1 y P1.2. Lo que concierne a la etapa de la Plantas se tuvieron en cuenta las que fabrican pavimentos porcelánicos (P1.1 y P1.2) y también teniendo en cuenta una planta subcontratada que fabrica los mismos productos y que a su vez provee si hay escases de productos a los distribuidores que proveen las plantas P1.1 y P1.2. En la etapa de distribución, se tienen en cuenta los distribuidores independientes siendo estos abastecidos del almacén central de las plantas y los llamaremos D1 y D2. Por último en lo que concierne a la etapa de detallistas en la empresa en cuestión, se definen a los detallistas como Tiendas que son abastecidas directamente por los Centros Logísticos, y en este caso práctico se tendrán en cuenta 2 detallistas, R1 y R2.

Teniendo en cuenta las consideraciones del párrafo anterior, el ensayo práctico para la Cadena/Red de Suministro consiste en dos proveedores, dos plantas, una planta subcontratada, cuatro recursos de producción (J1, J2, J3 y J4) y cuatro productos finales (A, B, C y D). La primera planta "P1.1", a dos recursos de producción "J1 y J2"; la segunda planta "P1.2", a dos recursos de producción "J3 y J4", y en la planta subcontratada "P2", no se tienen en cuenta los recursos de producción. Asumimos la demanda en un período de 8 semanas para un rango de seis meses (planificación táctica). Y a fin de simplificar el problema, no tenemos en cuenta todo el proceso interno de la cadena. La decisión de la cantidad bimestral de  $m^2$  a fabricar de cada Producto Final, con cada recurso de producción de cada una de las Plantas

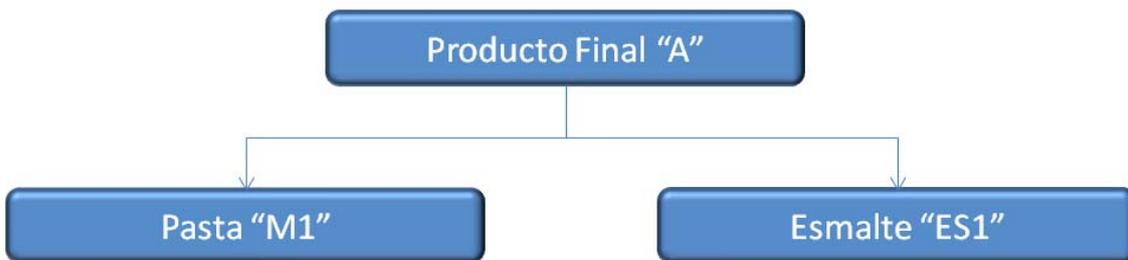
Productivas, se hace en función a los valores de todos los parámetros de coste y capacidades explicados en el Capítulo 3.



**Figura 4.7.- Cadena de Suministro. Caso Práctico**

Los ensayos del Capítulo 5, se hacen con datos proporcionados por la Compañía de Cerámica. Se considera el caso más sencillo, pero a la vez completo, para lograr todos los análisis que se hacen en este estudio. En consecuencia, se abarcan cuatro productos finales y para evitar la confusión se denominan: A, B, C y D.

Todos los productos tienen la misma estructura de la Fig. 4.8 y Tabla 4.5 teniendo inventarios iniciales en cada etapa de la Cadena.



**Figura 4.8.- Materias Primas para un Producto Final**

Materias Primas	Productos Finales
M1	A
ES1	A
M1	B
ES2	B
M1	C
ES3	C
M1	D
ES4	D

**Tabla 4.5.- Materias Primas para un Producto Final.**

Por otra parte, los datos de partida que se aplican al modelo, se usan para recoger toda la información necesaria para la resolución del problema; y estos se pueden ver en el siguiente Apartado.

#### 4.5.2. Datos de partida del Modelo de Aplicación

En la Tabla 4.6, se puede ver la previsión de demanda de la Compañía Cerámica estudiada y de esta se deduce qué productos son los más solicitados por los clientes. Se puede ver que el producto B es el que tiene más demanda, siguiéndole el producto A y luego por último los productos C y D, con menos cantidad. Con esta previsión de demanda se ejecutó el modelo matemático en MPL y así se obtuvo una solución que nos dio las cantidades a fabricar en cada planta y línea de fabricación.

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	PDCR
Detallista1	Ciente1	A	1	1011
Detallista1	Ciente1	A	2	1264
Detallista1	Ciente1	A	3	1516
Detallista1	Ciente1	A	4	1264
Detallista1	Ciente1	A	5	627
Detallista1	Ciente1	A	6	783
Detallista1	Ciente1	A	7	1000
Detallista1	Ciente1	A	8	900
Detallista1	Ciente1	B	1	1524
Detallista1	Ciente1	B	2	1906
Detallista1	Ciente1	B	3	2287
Detallista1	Ciente1	B	4	1906
Detallista1	Ciente1	B	5	1021
Detallista1	Ciente1	B	6	1277
Detallista1	Ciente1	B	7	1100
Detallista1	Ciente1	B	8	700
Detallista1	Ciente1	C	1	443
Detallista1	Ciente1	C	2	554

Detallista1	Ciente1	C	3	664
Detallista1	Ciente1	C	4	554
Detallista1	Ciente1	C	5	242
Detallista1	Ciente1	C	6	303
Detallista1	Ciente1	C	7	200
Detallista1	Ciente1	C	8	500
Detallista1	Ciente1	D	1	229
Detallista1	Ciente1	D	2	286
Detallista1	Ciente1	D	3	343
Detallista1	Ciente1	D	4	286
Detallista1	Ciente1	D	5	121
Detallista1	Ciente1	D	6	152
Detallista1	Ciente1	D	7	100
Detallista1	Ciente1	D	8	131
Detallista1	Ciente2	A	1	544
Detallista1	Ciente2	A	2	680
Detallista1	Ciente2	A	3	816
Detallista1	Ciente2	A	4	680
Detallista1	Ciente2	A	5	337
Detallista1	Ciente2	A	6	1200
Detallista1	Ciente2	A	7	1100
Detallista1	Ciente2	A	8	700
Detallista1	Ciente2	B	1	1863
Detallista1	Ciente2	B	2	2329
Detallista1	Ciente2	B	3	2795

## Implantación de la Metodología Propuesta

Detallista1	Ciente2	B	4	2329
Detallista1	Ciente2	B	5	1248
Detallista1	Ciente2	B	6	1560
Detallista1	Ciente2	B	7	1200
Detallista1	Ciente2	B	8	1400
Detallista1	Ciente2	C	1	823
Detallista1	Ciente2	C	2	1028
Detallista1	Ciente2	C	3	1234
Detallista1	Ciente2	C	4	1028
Detallista1	Ciente2	C	5	450
Detallista1	Ciente2	C	6	1300
Detallista1	Ciente2	C	7	100
Detallista1	Ciente2	C	8	900
Detallista1	Ciente2	D	1	187
Detallista1	Ciente2	D	2	234
Detallista1	Ciente2	D	3	280
Detallista1	Ciente2	D	4	234
Detallista1	Ciente2	D	5	99
Detallista1	Ciente2	D	6	124
Detallista1	Ciente2	D	7	300
Detallista1	Ciente2	D	8	500
Detallista2	Ciente1	A	1	1011
Detallista2	Ciente1	A	2	1264
Detallista2	Ciente1	A	3	1516
Detallista2	Ciente1	A	4	1264
Detallista2	Ciente1	A	5	627

Detallista2	Ciente1	A	6	783
Detallista2	Ciente1	A	7	1000
Detallista2	Ciente1	A	8	900
Detallista2	Ciente1	B	1	1524
Detallista2	Ciente1	B	2	1906
Detallista2	Ciente1	B	3	2287
Detallista2	Ciente1	B	4	1906
Detallista2	Ciente1	B	5	1021
Detallista2	Ciente1	B	6	1277
Detallista2	Ciente1	B	7	1100
Detallista2	Ciente1	B	8	700
Detallista2	Ciente1	C	1	443
Detallista2	Ciente1	C	2	554
Detallista2	Ciente1	C	3	664
Detallista2	Ciente1	C	4	554
Detallista2	Ciente1	C	5	242
Detallista2	Ciente1	C	6	303
Detallista2	Ciente1	C	7	200
Detallista2	Ciente1	C	8	500
Detallista2	Ciente1	D	1	229
Detallista2	Ciente1	D	2	286
Detallista2	Ciente1	D	3	343
Detallista2	Ciente1	D	4	286
Detallista2	Ciente1	D	5	121
Detallista2	Ciente1	D	6	152

## Implantación de la Metodología Propuesta

Detallista2	Ciente1	D	7	100
Detallista2	Ciente1	D	8	131
Detallista2	Ciente2	A	1	544
Detallista2	Ciente2	A	2	680
Detallista2	Ciente2	A	3	816
Detallista2	Ciente2	A	4	680
Detallista2	Ciente2	A	5	337
Detallista2	Ciente2	A	6	1200
Detallista2	Ciente2	A	7	1100
Detallista2	Ciente2	A	8	700
Detallista2	Ciente2	B	1	1863
Detallista2	Ciente2	B	2	2329
Detallista2	Ciente2	B	3	2795
Detallista2	Ciente2	B	4	2329
Detallista2	Ciente2	B	5	1248
Detallista2	Ciente2	B	6	1560
Detallista2	Ciente2	B	7	1200
Detallista2	Ciente2	B	8	1400
Detallista2	Ciente2	C	1	823
Detallista2	Ciente2	C	2	1028
Detallista2	Ciente2	C	3	1234
Detallista2	Ciente2	C	4	1028
Detallista2	Ciente2	C	5	450
Detallista2	Ciente2	C	6	1300
Detallista2	Ciente2	C	7	100
Detallista2	Ciente2	C	8	900

Detallista2	Ciente2	D	1	187
Detallista2	Ciente2	D	2	234
Detallista2	Ciente2	D	3	280
Detallista2	Ciente2	D	4	234
Detallista2	Ciente2	D	5	99
Detallista2	Ciente2	D	6	124
Detallista2	Ciente2	D	7	300
Detallista2	Ciente2	D	8	500

**Tabla 4.6. - Previsiones de demanda empleadas**

**4.5.2.1. Determinación de los costes**

**4.5.2.1.1. Costes de fabricación:** Estos costes comprenden los costes de cada proveedor, ya que son los que proveen la materia prima (pasta y esmalte) a las plantas productivas. En el caso de fabricación en las plantas P1.1 y P1.2 el proceso es el mismo. En cambio en la planta P2 solo se tienen en cuenta los productos finales; esto en caso de escasez de productos en las plantas. En el caso de los productos terminados A, B, C y D tienen el mismo proceso de fabricación. Estos productos se fabrican de la materia prima que provee G5 y G6 (ver la Tabla 4.7). Además los costes totales de cada producto final depende del tipo o clase a que pertenezcan (los innovadores incluyen algunos detalles especiales). El modelo suma los costes de los materiales comprados correspondientes (pasta y esmalte) y costes de producción para calcular el coste total (producción + compras).

**4.5.2.1.2. Costes de fabricación en tiempo extra:** El coste por unidad fabricada es de 0,3 euros en horas normales. Y la relación de coste de fabricación de una unidad de producto en una hora normal y hora extra tiene una relación de 1 a 3 (ver Tabla 4.7).

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CUFP	CUFEP
Planta1	J1	A	0,3	0,35
Planta1	J1	B	0,3	0,35
Planta1	J1	C	0,3	0,35
Planta1	J1	D	0,3	0,35
Planta1	J2	A	0,4	0,45
Planta1	J2	B	0,4	0,45
Planta1	J2	C	0,4	0,45
Planta1	J2	D	0,4	0,45
Planta2	J3	A	0,3	0,35
Planta2	J3	B	0,3	0,35
Planta2	J3	C	0,3	0,35
Planta2	J3	D	0,3	0,35
Planta2	J4	A	0,3	0,35
Planta2	J4	B	0,3	0,35
Planta2	J4	C	0,3	0,35
Planta2	J4	D	0,3	0,35

**Tabla 4.7.-Costes de fabricación en horas normales y extras**

**4.5.2.1.3. Costes de materias primas:** Estos costes dependen del tipo proveedor, los cuales proveen pasta y esmalte. En este caso práctico se emplean dos unidades de materia prima por cada producto terminado y se pueden producir aproximadamente 17000 metros cuadrados de un único producto. En consecuencia el coste de materia prima por producto terminado es el que se puede ver en la Tabla 4.8. El modelo calcula el coste total de de fabricación, considerando el coste de la materia prima.

Proveedores	Plantas	Materias Primas	CUPG
Proveedor1	Planta1	M1	17
Proveedor1	Planta2	M1	17
Proveedor2	Planta1	ES1	2
Proveedor2	Planta1	ES2	2,5
Proveedor2	Planta1	ES3	2,6
Proveedor2	Planta1	ES4	1,8
Proveedor2	Planta2	ES1	2
Proveedor2	Planta2	ES2	2,5
Proveedor2	Planta2	ES3	2,6
Proveedor2	Planta2	ES4	2,8

**Tabla 4.8. -Costes de materia prima**

**4.5.2.1.4. Costes de transporte:** los costes de transporte que se tienen en cuenta son los que van desde los proveedores hasta las plantas, de las plantas hasta los distribuidores y de los distribuidores hasta los detallistas. En esta aplicación práctica no se enuncia qué tipo de transporte se usa, esto porque son diferentes tipos de transporte y es una empresa subcontratada la que se hace cargo de esto. En las siguientes Tablas se muestran los costes fijos y por unidad de transporte (ver Tablas 4.9, 4.10 y 4.11).

Proveedores	Plantas	Materias Primas	CFTG	CUTG
Proveedor1	Planta1	M1	0,3	0,0004
Proveedor1	Planta2	M1	0,4	0,0004
Proveedor2	Planta1	ES1	0,8	0,0004
Proveedor2	Planta1	ES2	0,3	0,0004
Proveedor2	Planta1	ES3	0,4	0,0004
Proveedor2	Planta1	ES4	0,8	0,0004
Proveedor2	Planta2	ES1	0,3	0,0004
Proveedor2	Planta2	ES2	0,4	0,0004
Proveedor2	Planta2	ES3	0,8	0,0004
Proveedor2	Planta2	ES4	0,3	0,0004

**Tabla 4.9.-Costes de fijo y unitario de transporte desde los proveedores a las plantas**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	CFTP	CUTP
Planta1	Distribuidor1	A	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor1	B	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor1	C	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor1	D	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor2	A	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor2	B	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor2	C	0,5	0,0005
Planta1	Distribuidor2	D	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor1	A	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor1	B	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor1	C	0,5	0,0005

Planta2	Distribuidor1	D	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor2	A	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor2	B	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor2	C	0,5	0,0005
Planta2	Distribuidor2	D	0,5	0,0005

**Tabla 4.10.-Costes de fijo y unitario de transporte desde las plantas a los distribuidores**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	CFTD	CUTD
Distribuidor1	Detallista1	A	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista1	B	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista1	C	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista1	D	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista2	A	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista2	B	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista2	C	0,4	0,004
Distribuidor1	Detallista2	D	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista1	A	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista1	B	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista1	C	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista1	D	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista2	A	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista2	B	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista2	C	0,4	0,004
Distribuidor2	Detallista2	D	0,4	0,004

**Tabla 4.11.- Costes de fijo y unitario de transporte desde los distribuidores a los detallistas**

**4.5.2.1.5. Costes de manejo de materiales:** los costes unitarios de manejo de materiales en esta Cadena/Red de Suministro van desde los proveedores hasta las plantas, de las plantas hasta los distribuidores y de los distribuidores hasta los detallistas. También tienen en cuenta el coste fijo de manejo de materiales de la planta. En las siguientes tablas se muestran los costes unitarios y fijos de manejo de materiales (ver Tablas 4.12, 4.13, 4.14, 4.15y 4.16).

Proveedores	Materias Primas	CUMG
Proveedor1	M1	0,001
Proveedor2	ES1	0,001
Proveedor2	ES2	0,001
Proveedor2	ES3	0,001
Proveedor2	ES4	0,001

**Tabla 4.12.-Costes unitarios de manejo de materiales de los proveedores**

Plantas	Productos Finales	CUMP
Planta1	A	0,001
Planta1	B	0,001
Planta1	C	0,001
Planta1	D	0,001
Planta2	A	0,001
Planta2	B	0,001
Planta2	C	0,001
Planta2	D	0,001

**Tabla 4.13.- Costes unitarios de manejo de materiales de las plantas**

Distribuidores	Productos Finales	CUMD
Distribuidor1	A	0,001
Distribuidor1	B	0,001
Distribuidor1	C	0,001
Distribuidor1	D	0,001
Distribuidor2	A	0,001
Distribuidor2	B	0,001
Distribuidor2	C	0,001
Distribuidor2	D	0,001

**Tabla 4.14.- Costes unitarios de manejo de materiales de los distribuidores**

Detallistas	Productos Finales	CUMR
Detallista1	A	0,001
Detallista1	B	0,001
Detallista1	C	0,001
Detallista1	D	0,001
Detallista2	A	0,001
Detallista2	B	0,001
Detallista2	C	0,001
Detallista2	D	0,001

**Tabla 4.15.- Costes unitarios de manejo de materiales de los detallistas**

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CFMP
Planta1	J1	A	0,1
Planta1	J1	B	0,1
Planta1	J1	C	0,1
Planta1	J1	D	0,1
Planta1	J2	A	0,2
Planta1	J2	B	0,2
Planta1	J2	C	0,2
Planta1	J2	D	0,2
Planta2	J3	A	0,1
Planta2	J3	B	0,1
Planta2	J3	C	0,1
Planta2	J3	D	0,1
Planta2	J4	A	0,1
Planta2	J4	B	0,1
Planta2	J4	C	0,1
Planta2	J4	D	0,1

**Tabla 4.16.- Costes fijos de manejo de materiales de las plantas**

**4.5.2.1.6. Costes de inventario:** el coste de inventario tenido en cuenta, es el que la compañía Cerámica ha proporcionado. Pudiendo ver estos en las siguientes Tablas:

Proveedores	Materias Primas	CUIG
Proveedor1	M1	0,003
Proveedor2	ES1	0,003
Proveedor2	ES2	0,003
Proveedor2	ES3	0,003
Proveedor2	ES4	0,003

**Tabla 4.17.- Costes unitarios de inventario de los proveedores**

Plantas	Productos Finales	CUIP
Planta1	A	0,001
Planta1	B	0,001
Planta1	C	0,001
Planta1	D	0,001
Planta2	A	0,001
Planta2	B	0,001
Planta2	C	0,001
Planta2	D	0,001

**Tabla 4.18.- Costes unitarios de inventario de las plantas**

Distribuidores	Productos Finales	CUID
Distribuidor1	A	0,01
Distribuidor1	B	0,01
Distribuidor1	C	0,01
Distribuidor1	D	0,01
Distribuidor2	A	0,01
Distribuidor2	B	0,01
Distribuidor2	C	0,01
Distribuidor2	D	0,01

**Tabla 4.19.- Costes unitarios de inventario de los distribuidores**

Detallistas	Productos Finales	CUIR
Detallista1	A	0,01
Detallista1	B	0,01
Detallista1	C	0,01
Detallista1	D	0,01
Detallista2	A	0,01
Detallista2	B	0,01
Detallista2	C	0,01
Detallista2	D	0,01

**Tabla 4.20.- Costes unitarios de inventario de los detallistas**

**4.5.2.1.7. Costes de diferir demanda (CDD):** estos costes, denominados también costes de escasez, son relativos a cada empresa y se estiman como un porcentaje del monto total de las ventas perdidas por día (Tabla 4.21).

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	CDR
Detallista1	Ciente1	A	1	95
Detallista1	Ciente1	A	2	97
Detallista1	Ciente1	A	3	94
Detallista1	Ciente1	A	4	96
Detallista1	Ciente1	A	5	94
Detallista1	Ciente1	A	6	98
Detallista1	Ciente1	A	7	95
Detallista1	Ciente1	A	8	96
Detallista1	Ciente1	B	1	97
Detallista1	Ciente1	B	2	95
Detallista1	Ciente1	B	3	96
Detallista1	Ciente1	B	4	94
Detallista1	Ciente1	B	5	95
Detallista1	Ciente1	B	6	95
Detallista1	Ciente1	B	7	97
Detallista1	Ciente1	B	8	95
Detallista1	Ciente1	C	1	98
Detallista1	Ciente1	C	2	97
Detallista1	Ciente1	C	3	97
Detallista1	Ciente1	C	4	95
Detallista1	Ciente1	C	5	95
Detallista1	Ciente1	C	6	96
Detallista1	Ciente1	C	7	97
Detallista1	Ciente1	C	8	97

## Implantación de la Metodología Propuesta

Detallista1	Ciente1	D	1	98
Detallista1	Ciente1	D	2	96
Detallista1	Ciente1	D	3	97
Detallista1	Ciente1	D	4	96
Detallista1	Ciente1	D	5	95
Detallista1	Ciente1	D	6	98
Detallista1	Ciente1	D	7	94
Detallista1	Ciente1	D	8	97
Detallista1	Ciente2	A	1	95
Detallista1	Ciente2	A	2	94
Detallista1	Ciente2	A	3	94
Detallista1	Ciente2	A	4	94
Detallista1	Ciente2	A	5	94
Detallista1	Ciente2	A	6	95
Detallista1	Ciente2	A	7	97
Detallista1	Ciente2	A	8	98
Detallista1	Ciente2	B	1	96
Detallista1	Ciente2	B	2	94
Detallista1	Ciente2	B	3	96
Detallista1	Ciente2	B	4	99
Detallista1	Ciente2	B	5	95
Detallista1	Ciente2	B	6	97
Detallista1	Ciente2	B	7	97
Detallista1	Ciente2	B	8	94
Detallista1	Ciente2	C	1	94
Detallista1	Ciente2	C	2	96

Detallista1	Ciente2	C	3	97
Detallista1	Ciente2	C	4	96
Detallista1	Ciente2	C	5	97
Detallista1	Ciente2	C	6	94
Detallista1	Ciente2	C	7	94
Detallista1	Ciente2	C	8	95
Detallista1	Ciente2	D	1	95
Detallista1	Ciente2	D	2	94
Detallista1	Ciente2	D	3	96
Detallista1	Ciente2	D	4	95
Detallista1	Ciente2	D	5	96
Detallista1	Ciente2	D	6	96
Detallista1	Ciente2	D	7	97
Detallista1	Ciente2	D	8	95
Detallista2	Ciente1	A	1	95
Detallista2	Ciente1	A	2	97
Detallista2	Ciente1	A	3	97
Detallista2	Ciente1	A	4	98
Detallista2	Ciente1	A	5	96
Detallista2	Ciente1	A	6	93
Detallista2	Ciente1	A	7	94
Detallista2	Ciente1	A	8	94
Detallista2	Ciente1	B	1	94
Detallista2	Ciente1	B	2	94
Detallista2	Ciente1	B	3	96

## Implantación de la Metodología Propuesta

Detallista2	Ciente1	B	4	95
Detallista2	Ciente1	B	5	96
Detallista2	Ciente1	B	6	95
Detallista2	Ciente1	B	7	94
Detallista2	Ciente1	B	8	95
Detallista2	Ciente1	C	1	97
Detallista2	Ciente1	C	2	95
Detallista2	Ciente1	C	3	98
Detallista2	Ciente1	C	4	95
Detallista2	Ciente1	C	5	93
Detallista2	Ciente1	C	6	95
Detallista2	Ciente1	C	7	95
Detallista2	Ciente1	C	8	97
Detallista2	Ciente1	D	1	97
Detallista2	Ciente1	D	2	94
Detallista2	Ciente1	D	3	96
Detallista2	Ciente1	D	4	96
Detallista2	Ciente1	D	5	97
Detallista2	Ciente1	D	6	97
Detallista2	Ciente1	D	7	97
Detallista2	Ciente1	D	8	94
Detallista2	Ciente2	A	1	97
Detallista2	Ciente2	A	2	98
Detallista2	Ciente2	A	3	94
Detallista2	Ciente2	A	4	93
Detallista2	Ciente2	A	5	96

Detallista2	Ciente2	A	6	96
Detallista2	Ciente2	A	7	96
Detallista2	Ciente2	A	8	98
Detallista2	Ciente2	B	1	97
Detallista2	Ciente2	B	2	94
Detallista2	Ciente2	B	3	95
Detallista2	Ciente2	B	4	94
Detallista2	Ciente2	B	5	96
Detallista2	Ciente2	B	6	95
Detallista2	Ciente2	B	7	95
Detallista2	Ciente2	B	8	98
Detallista2	Ciente2	C	1	98
Detallista2	Ciente2	C	2	95
Detallista2	Ciente2	C	3	94
Detallista2	Ciente2	C	4	98
Detallista2	Ciente2	C	5	94
Detallista2	Ciente2	C	6	94
Detallista2	Ciente2	C	7	95
Detallista2	Ciente2	C	8	98
Detallista2	Ciente2	D	1	97
Detallista2	Ciente2	D	2	95
Detallista2	Ciente2	D	3	97
Detallista2	Ciente2	D	4	95
Detallista2	Ciente2	D	5	94
Detallista2	Ciente2	D	6	96

Detallista2	Ciente2	D	7	95
Detallista2	Ciente2	D	8	96

**Tabla 4.21.- Costes de diferir demanda**

**4.5.2.1.8. Costes fijos de cambio de partida:** En la Tabla 4.22 se pueden observar los diferentes valores asignados de cambio de partida para cada recurso de producción (líneas de montaje).

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CFCP
Planta1	J1	A	460
Planta1	J1	B	351
Planta1	J1	C	322
Planta1	J1	D	322
Planta1	J2	A	460
Planta1	J2	B	351
Planta1	J2	C	322
Planta1	J2	D	322
Planta2	J3	A	460
Planta2	J3	B	351
Planta2	J3	C	322
Planta2	J3	D	322
Planta2	J4	A	460
Planta2	J4	B	351
Planta2	J4	C	322
Planta2	J4	D	322

**Tabla 4.22.- Costes de cambio de partida para cada planta**

**4.5.2.1.9. Costes por unidad subcontratada:** En la Tabla 4.23 se puede observar los valores de subcontratación definidos por la empresa que se subcontrata.

Plantas	Productos Finales	CUSP
Planta3	A	5
Planta3	B	18
Planta3	C	5
Planta3	D	5

**Tabla 4.23.- Costes por unidad subcontratada**

**4.5.2.1.10. Precio de venta:** en las siguientes Tablas: Tabla 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27, se observo los diferentes precios asignados por la Compañía Cerámica.

Proveedores	Plantas	Materias Primas	PUPVG
Proveedor1	Planta1	M1	2
Proveedor1	Planta2	M1	2
Proveedor2	Planta1	ES1	0,5
Proveedor2	Planta1	ES2	0,09
Proveedor2	Planta1	ES3	0,05
Proveedor2	Planta1	ES4	0,02
Proveedor2	Planta2	ES1	0,5
Proveedor2	Planta2	ES2	0,09
Proveedor2	Planta2	ES3	0,05
Proveedor2	Planta2	ES4	0,02

**Tabla 4.24.- Precio unitario del producto desde el proveedor a la planta**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	PUPPV
Planta1	Distribuidor1	A	9
Planta1	Distribuidor1	B	8
Planta1	Distribuidor1	C	6
Planta1	Distribuidor1	D	4
Planta1	Distribuidor2	A	9
Planta1	Distribuidor2	B	8
Planta1	Distribuidor2	C	6
Planta1	Distribuidor2	D	4
Planta2	Distribuidor1	A	9
Planta2	Distribuidor1	B	8
Planta2	Distribuidor1	C	6
Planta2	Distribuidor1	D	4
Planta2	Distribuidor2	A	9
Planta2	Distribuidor2	B	8
Planta2	Distribuidor2	C	6
Planta2	Distribuidor2	D	4

**Tabla 4.25.- Precio unitario del producto desde la planta al distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	PUPDV
Distribuidor1	Detallista1	A	17
Distribuidor1	Detallista1	B	15
Distribuidor1	Detallista1	C	11
Distribuidor1	Detallista1	D	9
Distribuidor1	Detallista2	A	17
Distribuidor1	Detallista2	B	15
Distribuidor1	Detallista2	C	11
Distribuidor1	Detallista2	D	9
Distribuidor2	Detallista1	A	17
Distribuidor2	Detallista1	B	15
Distribuidor2	Detallista1	C	11
Distribuidor2	Detallista1	D	9
Distribuidor2	Detallista2	A	17
Distribuidor2	Detallista2	B	15
Distribuidor2	Detallista2	C	11
Distribuidor2	Detallista2	D	9

**Tabla 4.26.- Precio unitario del producto desde distribuidor al detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	PUPRV
Detallista1	Ciente1	A	17,86
Detallista1	Ciente1	B	15,74
Detallista1	Ciente1	C	11,65
Detallista1	Ciente1	D	9,73
Detallista1	Ciente2	A	17,86
Detallista1	Ciente2	B	15,74
Detallista1	Ciente2	C	11,65
Detallista1	Ciente2	D	9,73
Detallista2	Ciente1	A	17,86
Detallista2	Ciente1	B	15,74
Detallista2	Ciente1	C	11,65
Detallista2	Ciente1	D	9,73
Detallista2	Ciente2	A	17,86
Detallista2	Ciente2	B	15,74
Detallista2	Ciente2	C	11,65
Detallista2	Ciente2	D	9,73

**Tabla 4.27.- Precio unitario del producto desde el detallista al cliente**

**4.5.3. Determinación de los parámetros**

En las siguientes Tablas (Tabla 4.28, 4.29 y 4.30) se observa los niveles de capacidad de transporte aguas abajo de Cadena/Red de Suministro. Estas cantidades son relativas a cada empresa en cada etapa de la cadena.

Proveedores	Plantas	Materias Primas	NCTG
Proveedor1	Planta1	M1	200000
Proveedor1	Planta2	M1	200000
Proveedor2	Planta1	ES1	200000
Proveedor2	Planta1	ES2	200000
Proveedor2	Planta1	ES3	200000
Proveedor2	Planta1	ES4	200000
Proveedor2	Planta2	ES1	200000
Proveedor2	Planta2	ES2	200000
Proveedor2	Planta2	ES3	200000
Proveedor2	Planta2	ES4	200000

**Tabla 4.28.- Nivel de capacidad de transporte desde el proveedor hasta la planta**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	NCTP
Planta1	Distribuidor1	A	100000
Planta1	Distribuidor1	B	100000
Planta1	Distribuidor1	C	100000
Planta1	Distribuidor1	D	100000
Planta1	Distribuidor2	A	100000
Planta1	Distribuidor2	B	100000
Planta1	Distribuidor2	C	100000

Planta1	Distribuidor2	D	100000
Planta2	Distribuidor1	A	100000
Planta2	Distribuidor1	B	100000
Planta2	Distribuidor1	C	100000
Planta2	Distribuidor1	D	100000
Planta2	Distribuidor2	A	100000
Planta2	Distribuidor2	B	100000
Planta2	Distribuidor2	C	100000
Planta2	Distribuidor2	D	100000

**Tabla 4.29.- Nivel de capacidad de transporte desde la planta hasta el distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	NCTD
Distribuidor1	Detallista1	A	200000
Distribuidor1	Detallista1	B	200000
Distribuidor1	Detallista1	C	200000
Distribuidor1	Detallista1	D	200000
Distribuidor1	Detallista2	A	200000
Distribuidor1	Detallista2	B	200000
Distribuidor1	Detallista2	C	200000
Distribuidor1	Detallista2	D	200000
Distribuidor2	Detallista1	A	200000
Distribuidor2	Detallista1	B	200000
Distribuidor2	Detallista1	C	200000
Distribuidor2	Detallista1	D	200000
Distribuidor2	Detallista2	A	200000

Distribuidor2	Detallista2	B	200000
Distribuidor2	Detallista2	C	200000
Distribuidor2	Detallista2	D	200000

**Tabla 4.30.- Nivel de capacidad de transporte desde el distribuidor hasta el detallista**

La máxima capacidad de inventario se muestra en las Tablas (Tabla 4.31, Tabla 4.32, Tabla 4.33 y Tabla 4.34) y están dadas en metros cuadrados. Estas cantidades pueden ser distintas en todos y cada uno de los periodos pero para esta aplicación se consideran constantes durante los ocho periodos

Proveedores	MCIG
Proveedor1	100000
Proveedor2	100000

**Tabla 4.31.- Máxima capacidad de de inventario del proveedor**

Plantas	MCIP
Planta1	100000
Planta2	100000

**Tabla 4.32.- Máxima capacidad de de inventario de la planta**

Distribuidores	MCID
Distribuidor1	90000
Distribuidor2	90000

**Tabla 4.33.- Máxima capacidad de de inventario del distribuidor**

Detallistas	MCIR
Detallista1	100000
Detallista2	100000

**Tabla 4.34.- Máxima capacidad de de inventario del detallista**

Lo que se refiere a los tiempos de transporte Tabla 4.35, Tabla 4.36 y Tabla 4.37, se observa que el tiempo está definido como un solo periodo de tiempo.

Proveedores	Plantas	TETG
Proveedor1	Planta1	0
Proveedor1	Planta2	1
Proveedor2	Planta1	1
Proveedor2	Planta2	0

**Tabla 4.35.- Tiempo de transporte desde el proveedor a la planta**

Plantas	Distribuidores	TETP
Planta1	Distribuidor1	0
Planta1	Distribuidor2	1
Planta2	Distribuidor1	1
Planta2	Distribuidor2	0

**Tabla 4.36.- Tiempo de transporte desde la planta al distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	TETD
Distribuidor1	Detallista1	0
Distribuidor1	Detallista2	1
Distribuidor2	Detallista1	1
Distribuidor2	Detallista2	0

**Tabla 4.37.- Tiempo de transporte desde el distribuidor al detallista**

Las capacidades máximas de entrada y salida de transporte aguas debajo de la Cadena/Red de suministro se pueden ver en las siguientes Tablas (Tabla 4.38, Tabla 4.39, Tabla 4.40 y Tablas 4.41). Estas cantidades son especificadas por la Compañía Cerámica, ya sean para la planta, distribuidor y detallista.

Plantas	CMETP
Planta1	20000
Planta2	10000

**Tabla 4.38.- Capacidad máxima de entrada de transporte a las plantas**

Plantas	CMSTP
Planta1	3000
Planta2	1550

**Tabla 4.39.- Capacidad máxima de salida de transporte de las plantas**

Distribuidores	CMSTD
Distribuidor1	1550
Distribuidor2	1550

**Tabla 4.40.- Capacidad máxima de salida de transporte de los distribuidores**

Detallistas	CMSTR
Detallista1	1550
Detallista2	1550

**Tabla 4.41.- Capacidad máxima de salida de transporte de los detallistas**

El valor del porcentaje para definir la cantidad a subcontratar es definido a partir de la cantidad de productos a fabricar. Se puede observar estos porcentajes en la siguiente Tabla 4.42.

Plantas	Productos Finales	PQSP
Planta1	A	0,1
Planta1	B	0,1
Planta1	C	0,1
Planta1	D	0,1
Planta2	A	0,1
Planta2	B	0,1
Planta2	C	0,1
Planta2	D	0,1

**Tabla 4.42.- Porcentaje de subcontratación de productos**

La siguiente Tabla 4.43, nos proporciona las cifras de cada materia prima necesarias para producir un producto final. Esta lista se emplea para calcular la capacidad y por ello se considera para los productos finales.

Productos Finales	Materias Primas	MA
A	M1	0,95
A	ES1	0,05
B	M1	0,94
B	ES2	0,04
C	M1	0,9
C	ES3	0,1
D	M1	0,98
D	ES4	0,02

**Tabla 4.43.- Unidades de materia prima**

La máxima cantidad de fabricación en tiempo regular y extra se muestra en la Tabla 4.44, estando dadas en metros cuadrados/periodo.

Plantas	Recursos Producción	Periodos	MQFN	MQFE
Planta1	J1	1	10000	5000
Planta1	J1	2	9550	4900
Planta1	J1	3	9700	3900
Planta1	J1	4	11000	5500
Planta1	J1	5	9550	4500
Planta1	J1	6	9559	4550
Planta1	J1	7	9400	4200
Planta1	J1	8	9600	4500
Planta1	J2	1	9700	5650
Planta1	J2	2	9770	5000
Planta1	J2	3	9400	5100
Planta1	J2	4	9500	5000
Planta1	J2	5	10000	5000
Planta1	J2	6	9700	4700
Planta1	J2	7	11100	5550
Planta1	J2	8	11200	5550
Planta2	J3	1	11100	6000
Planta2	J3	2	14000	7000
Planta2	J3	3	9600	4700

Planta2	J3	4	14000	7000
Planta2	J3	5	9900	5000
Planta2	J3	6	9800	5000
Planta2	J3	7	10700	5100
Planta2	J3	8	10600	5000
Planta2	J4	1	11700	5100
Planta2	J4	2	14000	5000
Planta2	J4	3	13000	5000
Planta2	J4	4	10000	4700
Planta2	J4	5	9800	5550
Planta2	J4	6	9700	5550
Planta2	J4	7	14000	5550
Planta2	J4	8	11300	6000

**Tabla 4.44.- Máxima cantidad de fabricación en tiempo regular y extra**

En las siguientes Tablas (Tabla 4.45, Tabla 4.46, Tabla 4.47, Tabla 4.48, Tabla 4.49 y Tabla 4.50), se puede ver el nivel de inventario inicial y stock de seguridad de cada producto final. El cual fue establecido a partir del consumo de inventario disponible de cada producto, en función de su previsión de ventas bimensual.

Plantas	Productos Finales	NIPO
Planta1	A	100
Planta1	B	100
Planta1	C	100
Planta1	D	100
Planta2	A	100
Planta2	B	100
Planta2	C	100
Planta2	D	100

**Tabla 4.45.- Nivel de inventario inicial en las plantas**

Distribuidores	Productos Finales	NIDO
Distribuidor1	A	100
Distribuidor1	B	100
Distribuidor1	C	100
Distribuidor1	D	100
Distribuidor2	A	100
Distribuidor2	B	100
Distribuidor2	C	100
Distribuidor2	D	100

**Tabla 4.46.- Nivel de inventario inicial en los distribuidores**

Detallistas	Productos Finales	NIRO
Detallista1	A	100
Detallista1	B	100
Detallista1	C	100
Detallista1	D	100
Detallista2	A	100
Detallista2	B	100
Detallista2	C	100
Detallista2	D	100

**Tabla 4.47. Nivel de inventario inicial en los detallistas**

Plantas	Productos Finales	SSPD
Planta1	A	100
Planta1	B	100
Planta1	C	100
Planta1	D	100
Planta2	A	100
Planta2	B	100
Planta2	C	100
Planta2	D	100

**Tabla 4.48.- Stock de seguridad de las plantas**

Distribuidores	Productos Finales	SSD
Distribuidor1	A	76
Distribuidor1	B	76
Distribuidor1	C	76
Distribuidor1	D	76
Distribuidor2	A	76
Distribuidor2	B	76
Distribuidor2	C	76
Distribuidor2	D	76

**Tabla 4.49.- Stock de seguridad de los distribuidores**

Detallistas	Productos Finales	SSR
Detallista1	A	76
Detallista1	B	76
Detallista1	C	76
Detallista1	D	76
Detallista2	A	76
Detallista2	B	76
Detallista2	C	76
Detallista2	D	76

**Tabla 4.50.- Stock de seguridad de los detallistas**

#### **4.6. Resumen**

En este Capítulo se ha dado una explicación del proceso de planificación de operaciones de una Compañía Cerámica concreta. También se ha explicado la Información Necesaria para la Aplicación del Modelo y su Caso Práctico.

Se ha profundizado en el conocimiento de una Compañía Cerámica concreta, para poder comprender el funcionamiento de ésta y poder aplicarla al Modelo.

A partir de la información recopilada de la Cadena de Suministro de la Compañía Cerámica, se tomaron los datos necesarios considerando una pequeña porción de su Cadena (2 Proveedores, 3 Plantas, 2 Distribuidores, 2 Detallistas y 2 clientes) para poder incorporarlos a las Aplicaciones del Modelo y a la Plataforma Tecnológica SCANN.

En el Capítulo 5 se muestra la ejecución de las aplicaciones, los resultados y su análisis.

#### 4.7. Referencias

18th Annual State of Logistics Report “The New Face of Logistics”, (2007). National Press Club, Washington, DC. Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP).

Alfaro, J.J., (1997). Análisis mediante simulación de reglas heurísticas. Aplicación a empresas cerámicas [Libro]. - Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.

Andrés C., (2001). Tesis Doctoral, 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. Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia.

ASCER, (2004). Informe de los sectores español y mundial de fabricantes de baldosas cerámicas [Informe]. - Castellón : ASCER, 2004.

Dalmau J.I., Miguel E. de y Miquel S., (1993). Análisis estratégico de los sectores industriales y del turismo en la Comunidad Valenciana [Informe]. - Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 1993.

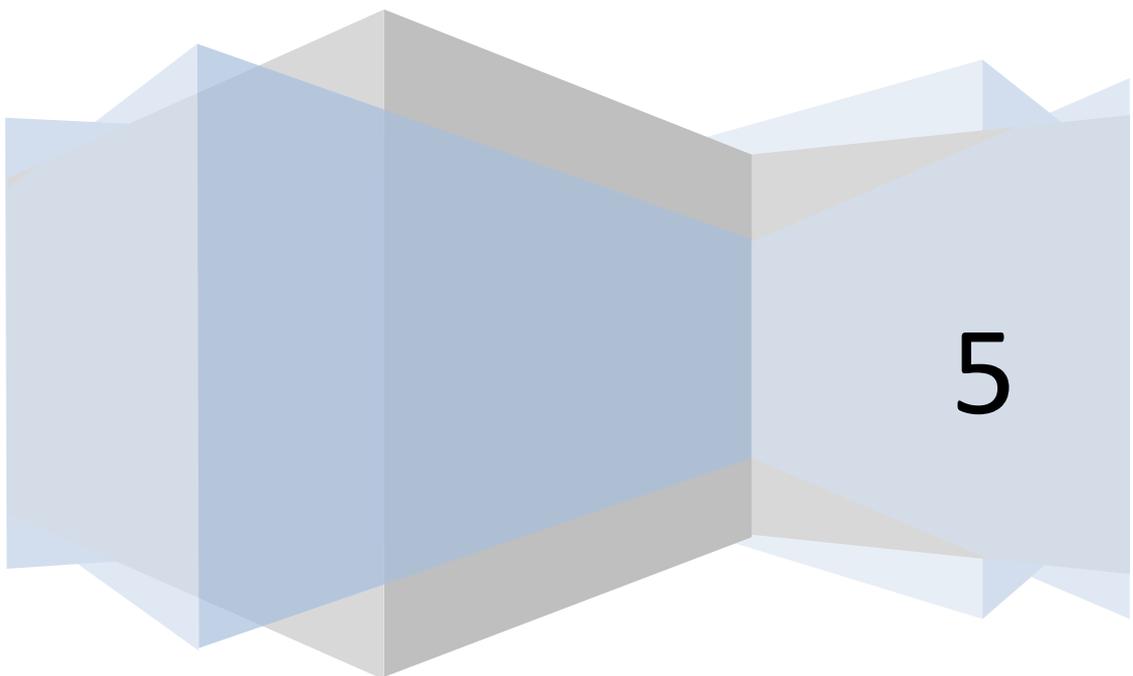
Kumar, S. y Arbi, A.S., (2008). Outsourcing strategies for apparel manufacture: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(1), 73-91.

Lorenzoni, G., (1992). *Accordi, reti e vantaggi competitivi*. Etaslibri. Milán

Proyecto RdS-2V.RDSINC, (2004). Metodología Jerárquica en Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico.

**Universidad Politécnica de Valencia**

# **Análisis y Resultados**



**ÍNDICE**

<b>5.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>239</b>
<b>5.2.</b>	<b>Resultados del modelo determinista y análisis.....</b>	<b>241</b>
<b>5.2.1.</b>	<b>Análisis de los resultados en función de los costes.....</b>	<b>243</b>
<b>5.3.</b>	<b>Resultados del Modelo Matemático con Incertidumbre.....</b>	<b>245</b>
<b>5.3.1.</b>	<b>Datos de partida para la ejecución del MMI.....</b>	<b>245</b>
<b>5.3.2.</b>	<b>Resultados del MMI a partir de los datos de partida, introducidos en la plataforma SCANN.....</b>	<b>268</b>
<b>5.3.2.1.</b>	<b>Resultados según la Tasa de Aprendizaje (TA) de la Red Neuronal.....</b>	<b>268</b>
<b>5.3.2.2.</b>	<b>Resultados teniendo en cuenta el Error Cuadrático Medio (MSE) de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN.....</b>	<b>273</b>
<b>5.3.3.</b>	<b>Resultados teniendo en cuenta el número de neuronas de la capa oculta de la red neuronal de la Plataforma SCANN, para cada parámetro con incertidumbre.....</b>	<b>278</b>
<b>5.3.3.1.</b>	<b>Análisis Parámetro CDR.....</b>	<b>278</b>
<b>5.3.3.2.</b>	<b>Análisis de los Parámetros CUFP y CUFEP.....</b>	<b>283</b>
<b>5.3.3.3.</b>	<b>Análisis de los Parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR.....</b>	<b>290</b>
<b>5.3.3.4.</b>	<b>Análisis de los Parámetros MQFN y MQFE.....</b>	<b>296</b>
<b>5.3.3.5.</b>	<b>Análisis del parámetro PDCR.....</b>	<b>298</b>
<b>5.3.4.</b>	<b>Análisis teniendo en cuenta todos los parámetros con incertidumbre para el MMI.....</b>	<b>303</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>307</b>
<b>5.5</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>309</b>

## CAPÍTULO 5.

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 5.1. Introducción

Se ha aplicado la Metodología con la definición de los correspondientes Modelos Aplicados a las Empresa concreta (Apartados 3.4 y 3.5) y la Arquitectura (Apartado 3.6), y con los Datos del Problema Concreto (Apartado 3.7 y 4.5.2), se utilizará la Plataforma Tecnológica SCANN tanto como en contexto de Determinista (Apartado 3.4) como de Incertidumbre (Apartado 3.5).

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos (ver Fig. 5.1), así como su análisis, haciendo uso de la implantación de la Metodología propuesta (Capítulo 4) y tomando como referencia los datos de una empresa del sector cerámico. Este análisis se ha hecho a partir de diferentes ensayos de los modelos en la Plataforma SCANN para inferir reglas o recomendaciones en las C/RS del sector cerámico.

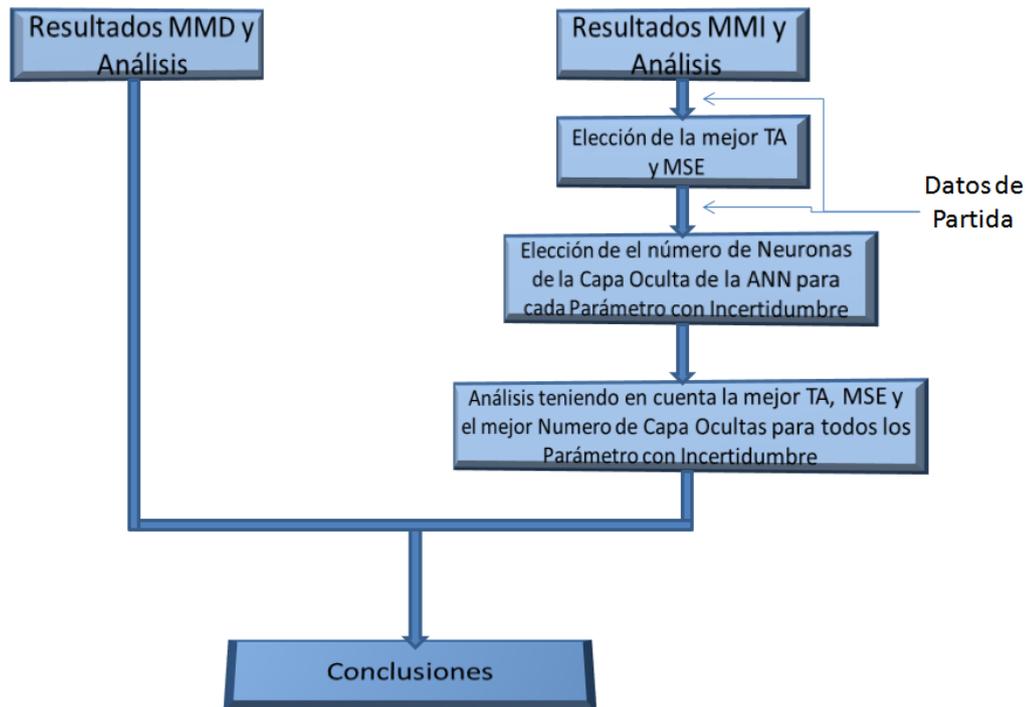


Figura 5.1. - Esquema de Resultados

Si bien estas aplicaciones se basaron en ensayos prácticos y completos usando costes y parámetros propios de la Empresa, los resultados del análisis pueden servir de guía o referencia a las industrias de productos cerámicos con elementos de incertidumbre, como son las C/RS en el sector cerámico.

En este capítulo se describen los experimentos que se han realizado a fin de evaluar la metodología. Además, se han analizado las ventajas y eficacia de las aportaciones, del MMI comparándolo con el MMD, esto con ayuda de la plataforma SCANN.

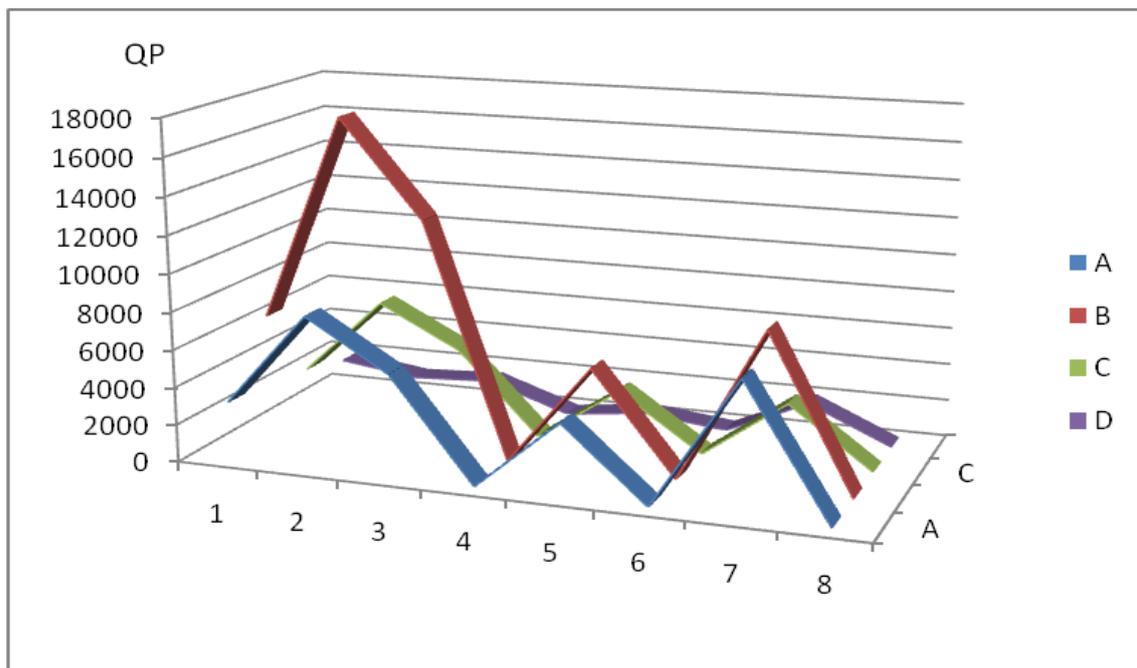
**5.2. Resultados del modelo determinista y análisis**

El primer ensayo (entiéndase por ensayo el conjunto de ejecuciones ya sean con el MMD o el MMI, utilizando un mismo grupo de datos) de este modelo se realizó con los datos expuestos en el capítulo 4 y en el capítulo 7 (ANEXOS E). En cada ejecución se empleó una previsión de la demanda (según lo indicado en el capítulo 7, ANEXO E).

Los planes de producción de los productos terminados se muestran en la Tabla 5. 1 y Fig. 5.2.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	3083	8046	5425	0	3808	0	6971	0
B	6607	17514	12422	0	5405	0	8249	0
C	2507	6634	4408	0	2978	0	3205	0
D	1833	1247	1470	0	512	0	1962	0

**Tabla 5. 1- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo**



**Figura 5.2.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo**

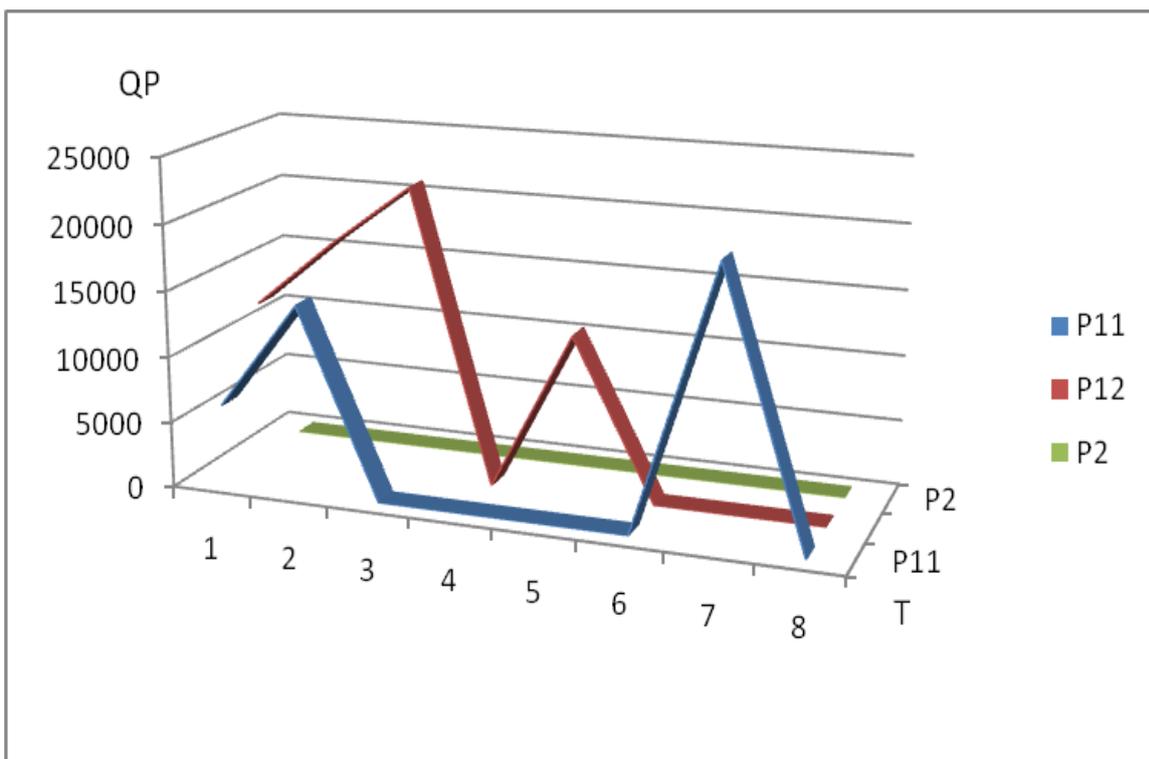
Se puede ver que la mayor parte de la producción es de los productos B y A, tanto en la Planta P1.1 y la Planta P1.2. Esto se debió al pronóstico de la demanda tenido en cuenta (ver capítulo 7, ANEXO E) y a los menores costes de las materias primas respecto a los productos (C y D). El perfil de la producción de los productos finales es muy quebrado pero el uso de las cantidades producidas en cada planta sigue un perfil más equilibrado.

Las cantidades producidas en cada planta se pueden ver en la Tabla 5. 2, y se observa que en la Planta 1.2 hay más fabricación de productos y que en la Planta 2 no hay subcontratación de productos.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P11	6080	14314	0	0	0	0	20387	0
P12	12321	17539	22255	0	12192	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5.2.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo**

En la Fig. 5.3 se muestra el perfil de las cantidades producidas para cada una de las Plantas (por proceso y periodo).



**Figura 5.3.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo**

En función de las capacidades usadas, se puede decir que en P1.1 se produjo el 38,80 % y en P1.2 el 61,19 % (ver Tabla 5. 2). Cabe destacar que en P1.1 y P1.2 no se realizan horas extras y que no hay subcontratación en P2.

### 5.2.1. Análisis de los resultados en función de los costes

Las diferencias entre los costes totales de toda la C/RS dependen de los productos. Los costes totales de fabricación, subcontratación, manejo de materiales, compras, inventario, transporte, diferir demanda y de ventas, se muestran en la Tabla 5. 3. El significado de cada uno de los costes y beneficios se puede ver en el capítulo 3, apartado 2.12.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	valor	Costes	valor	Costes	Valor	Costes	valor	Ventas	valor	Beneficios	Valor
CTFP	2619	CTMRR	54739,69	CTIPP	22,35	CTTDD	421,15	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	153,6	CDD2	0	VPPP	794068,28	ZP	770725,04
CTMGG	10,45	CTCDD	794068,28	CTIRR	80,9			VPDD	1487498,2	ZD	660896,96
CTMPP	114,74	CTCRR	1487498,2	CTTGG	670,6			VPRR	1568147,67	ZR	25828,87
CTMDD	31958,21	CTIGG	0	CTTTP	421,15						

**Tabla 5.3.- Costes y Beneficios del MMD**

Como se ve en la Tabla 5.3, cada tipo de coste tiene un valor calculado a partir de la ejecución del Modelo en Lenguaje de Programación Matemática (MPL), siendo estos parte de la maximización de margen de beneficios del Plan Maestro de Fabricación (PMP) propuesto como función objetivo.

La maximización del margen de beneficios fue igual a 1476946,27. Este valor se ha obtenido en la ejecución del modelo, teniendo en cuenta los parámetros del capítulo 4 y capítulo 7 (ANEXO E). En la Tabla 5.3, se observa que no hay coste de subcontratación, ni de diferir demanda, ya que ha sido la mejor solución del modelo ejecutado en MPL. Adicionalmente, se podrían variar los datos de entrada para que haya costes de subcontratación y de diferir demanda, pero en esta tesis no se tienen en cuenta estos factores, ya que esta solución es adecuada para hacer las diferentes comparaciones con el MMI, y estas suficientes para corroborar el funcionamiento de la Plataforma SCANN.

En los resultados obtenidos a partir de la ejecución del modelo en MPL, se pueden ver (ver capítulo 7, ANEXO G) las cantidades vendidas y transportadas, que en este caso fueron las mismas para toda la C/RS. En las Tablas: Tabla 5.4, Tabla 5. 5 y Tabla 5.6, se muestran los Niveles de Inventario de la Planta, Distribuidor y Detallista, observando

que en esta ejecución, el producto que más nivel de inventario obtuvo fue el D, y en caso contrario el producto que menos obtuvo nivel de inventario fue el C.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	A	1	502,484
Planta2	D	1	3266,949
Planta2	D	2	2082,524
Planta2	D	3	612,372
Planta2	D	4	612,372

**Tabla 5.4.- Nivel de inventario de cada Planta**

Distribuidores	Productos Finales	Periodos	NID
Distribuidor1	A	4	1881,015
Distribuidor1	B	4	4519,432
Distribuidor1	C	4	1581,492

**Tabla 5.5.- Nivel de inventario de cada Distribuidor**

Detallistas	Productos Finales	Periodos	NIR
Detallista1	D	1	550,414
Detallista1	D	4	297,425
Detallista2	D	1	514,812
Detallista2	D	4	364,442

**Tabla 5.6.- Nivel de inventario de cada Detallista**

### **5.3. Resultados del Modelo Matemático con Incertidumbre.**

#### **5.3.1. Datos de partida para la ejecución del MMI**

Por la naturaleza de las Redes Neuronales, comentadas en el capítulo 2, se pueden producir diferentes soluciones para un mismo problema, por las diferentes aplicaciones de los parámetros de la Red Neuronal.

Al igual que en el MMD, para el MMI se utilizó, como parámetros de partida, los enunciados en el capítulo 4 y capítulo 7 (ANEXO E), exceptuando los parámetros que tienen incertidumbre.

Los parámetros con incertidumbre se obtienen de datos históricos de la empresa, consistiendo estos en una nube de datos en los que el decisor, a partir de su experiencia, determina que valores de entrada (5 valores para cada parámetro con incertidumbre) y que valores de la salida esperada (valores que prevé el decisor) de cada parámetro se utilizarán en cada Red Neuronal.

Conociendo los valores adecuados para cada entrada y salida esperada de cada Red Neuronal, se definieron una serie de experimentos a partir de los parámetros de ajuste de la Red Neuronal y de los parámetros del MMI (ver capítulo 3), para compararlos y estudiar sus resultados.

Los diferentes ensayos que comprenden este apartado, entre ellos, el de tasa de aprendizaje, mínimo error cuadrático y el de cada uno de los parámetros con incertidumbre, se realizaron para establecer un ensayo definitivo con todos los valores ya constituidos para cada uno de los parámetros de este apartado.

Así se obtuvieron los parámetros (de ajustes de la Red Neuronal y del MMI) que aportaban mejores soluciones para las diferentes situaciones. Esto permite evaluar la capacidad exploradora y de convergencia de la plataforma SCANN.

La determinación de los parámetros no es un problema de fácil solución y cien por ciento correctos, que nos permitan obtener valores generalistas. Encontrar los parámetros apropiados para un determinado problema, parece ser más un arte que una ciencia. A su vez, la función objetivo y las características del problema en particular, influyen considerablemente en la solución. No obstante, pueden existir ciertas particularidades aceptables para el problema en estudio. También se realizan otra serie de pruebas con cada parámetro de ajuste de la Red Neuronal y cada parámetro del MMI de éste estudio para la validación de la metodología propuesta (ver apartados 5.3.2, 5.3.3 y 5.3.4).

En las siguientes Tablas se observan los datos introducidos en la Plataforma SCANN (datos mencionados en los párrafos anteriores), enunciando cada uno de estos en los siguientes párrafos.

Los valores de entrada de cada parámetro con incertidumbre son:

- Coste de diferir demanda (CDR)
- Coste por unidad de fabricación (CUFP),
- Coste por unidad de fabricación en tiempo extra (CUFEP),
- Coste por unidad de inventario en cada etapa de la CS (CUIG, CUIP, CUID, CUIR),
- Máxima cantidad de fabricación en tiempo regular (MQFN),
- Máxima cantidad de fabricación en tiempo extra (MQFE), y
- Pronóstico de la demanda (PDCR).

Los cuales se muestran en las Tablas 5.7, 5.9, 5.11, 5.13, 5.15, 5.17, 5.19, 5.21, 5.23 y 5.25. Se contempla que de aquí en adelante cada parámetro con incertidumbre tendrá 5 posibles valores (obtenidos de datos históricos, los cuales son escogidos por el decisor del problema) que se usaron para cada entrada de cada Red Neuronal de la Plataforma SCANN.

Por otro lado los datos de la salida esperada de cada Red Neuronal para cada parámetro con incertidumbre, se muestran en las Tablas 5.8, 5.10, 5.12, 5.14, 5.16, 5.18, 5.20, 5.22, 5.24 y 5.26.

## Capítulo 5

Detallistas	Clientes	Productos Finales	Periodos	CDR1	CDR2	CDR3	CDR4	CDR5
Detallista1	Cliente1	A	1	100	90	80	96	76
Detallista1	Cliente1	A	2	90	80	96	76	100
Detallista1	Cliente1	A	3	80	96	76	85	95
Detallista1	Cliente1	A	4	96	76	85	95	80
Detallista1	Cliente1	A	5	90	100	80	80	96
Detallista1	Cliente1	A	6	110	90	96	96	76
Detallista1	Cliente1	A	7	120	80	76	76	85
Detallista1	Cliente1	A	8	90	96	85	85	80
Detallista1	Cliente1	B	1	80	90	80	80	96
Detallista1	Cliente1	B	2	78	110	96	96	76
Detallista1	Cliente1	B	3	76	120	76	76	85
Detallista1	Cliente1	B	4	85	90	85	85	80
Detallista1	Cliente1	B	5	80	80	80	80	96
Detallista1	Cliente1	B	6	96	78	96	96	76
Detallista1	Cliente1	B	7	76	96	76	76	85
Detallista1	Cliente1	B	8	85	76	85	85	80
Detallista1	Cliente1	C	1	80	85	80	80	96
Detallista1	Cliente1	C	2	96	80	96	96	76
Detallista1	Cliente1	C	3	76	96	76	76	85
Detallista1	Cliente1	C	4	85	76	85	85	80
Detallista1	Cliente1	C	5	80	85	80	80	96
Detallista1	Cliente1	C	6	96	80	96	96	96
Detallista1	Cliente1	C	7	76	96	76	76	76
Detallista1	Cliente1	C	8	85	80	85	85	85
Detallista1	Cliente1	D	1	80	96	80	80	80
Detallista1	Cliente1	D	2	96	76	96	96	96
Detallista1	Cliente1	D	3	76	85	76	96	76
Detallista1	Cliente1	D	4	85	80	85	76	85
Detallista1	Cliente1	D	5	80	96	80	85	80
Detallista1	Cliente1	D	6	96	96	96	80	100
Detallista1	Cliente1	D	7	76	76	76	96	100
Detallista1	Cliente1	D	8	85	85	85	76	100
Detallista1	Cliente2	A	1	80	90	80	96	76
Detallista1	Cliente2	A	2	90	80	96	76	100
Detallista1	Cliente2	A	3	80	96	76	85	95
Detallista1	Cliente2	A	4	96	76	85	95	80
Detallista1	Cliente2	A	5	90	100	80	80	96
Detallista1	Cliente2	A	6	110	90	96	96	76

Detallista1	Cliente2	A	7	120	80	76	76	85
Detallista1	Cliente2	A	8	90	96	85	85	80
Detallista1	Cliente2	B	1	80	90	80	80	96
Detallista1	Cliente2	B	2	78	110	96	96	76
Detallista1	Cliente2	B	3	100	90	80	96	76
Detallista1	Cliente2	B	4	90	80	96	76	100
Detallista1	Cliente2	B	5	80	96	76	85	95
Detallista1	Cliente2	B	6	96	76	85	95	80
Detallista1	Cliente2	B	7	90	100	80	80	96
Detallista1	Cliente2	B	8	110	90	96	96	76
Detallista1	Cliente2	C	1	120	80	76	76	85
Detallista1	Cliente2	C	2	90	96	85	85	80
Detallista1	Cliente2	C	3	80	90	80	80	96
Detallista1	Cliente2	C	4	78	110	96	96	76
Detallista1	Cliente2	C	5	100	90	80	96	76
Detallista1	Cliente2	C	6	90	80	96	76	100
Detallista1	Cliente2	C	7	80	96	76	85	95
Detallista1	Cliente2	C	8	96	76	85	95	80
Detallista1	Cliente2	D	1	90	100	80	80	96
Detallista1	Cliente2	D	2	110	90	96	96	76
Detallista1	Cliente2	D	3	120	80	76	76	85
Detallista1	Cliente2	D	4	90	96	85	85	80
Detallista1	Cliente2	D	5	80	90	80	80	96
Detallista1	Cliente2	D	6	78	110	96	96	76
Detallista1	Cliente2	D	7	76	120	76	76	85
Detallista1	Cliente2	D	8	85	90	85	85	80
Detallista2	Cliente1	A	1	80	80	80	80	96
Detallista2	Cliente1	A	2	96	78	96	96	76
Detallista2	Cliente1	A	3	76	96	76	76	85
Detallista2	Cliente1	A	4	85	76	85	85	80
Detallista2	Cliente1	A	5	80	85	80	80	96
Detallista2	Cliente1	A	6	96	80	96	96	76
Detallista2	Cliente1	A	7	76	96	76	76	85
Detallista2	Cliente1	A	8	85	76	85	85	80
Detallista2	Cliente1	B	1	80	85	80	80	96
Detallista2	Cliente1	B	2	96	80	96	96	96
Detallista2	Cliente1	B	3	76	96	76	76	76
Detallista2	Cliente1	B	4	85	80	85	85	85
Detallista2	Cliente1	B	5	80	96	80	80	80
Detallista2	Cliente1	B	6	96	76	96	96	96

## Capítulo 5

Detallista2	Ciente1	B	7	76	85	76	96	76
Detallista2	Ciente1	B	8	85	80	85	76	85
Detallista2	Ciente1	C	1	80	96	80	85	80
Detallista2	Ciente1	C	2	96	96	96	80	100
Detallista2	Ciente1	C	3	76	76	76	96	100
Detallista2	Ciente1	C	4	85	85	85	76	100
Detallista2	Ciente1	C	5	80	90	80	96	76
etallista2	Ciente1	C	6	90	80	96	76	100
Detallista2	Ciente1	C	7	80	96	76	85	95
Detallista2	Ciente1	C	8	96	76	85	95	80
Detallista2	Ciente1	D	1	90	100	80	80	96
Detallista2	Ciente1	D	2	110	90	96	96	76
Detallista2	Ciente1	D	3	120	80	76	76	85
Detallista2	Ciente1	D	4	90	96	85	85	80
Detallista2	Ciente1	D	5	100	90	80	96	100
Detallista2	Ciente1	D	6	90	80	96	76	100
Detallista2	Ciente1	D	7	80	96	76	85	100
Detallista2	Ciente1	D	8	96	76	85	95	100
Detallista2	Ciente2	A	1	90	100	80	80	100
Detallista2	Ciente2	A	2	110	90	96	96	100
Detallista2	Ciente2	A	3	120	80	76	76	100
Detallista2	Ciente2	A	4	90	96	85	85	100
Detallista2	Ciente2	A	5	80	90	80	80	100
Detallista2	Ciente2	A	6	78	110	96	96	100
Detallista2	Ciente2	A	7	76	120	76	76	100
Detallista2	Ciente2	A	8	85	90	85	85	100
Detallista2	Ciente2	B	1	80	80	80	80	100
Detallista2	Ciente2	B	2	96	78	96	96	100
Detallista2	Ciente2	B	3	76	96	76	76	100
Detallista2	Ciente2	B	4	85	76	85	85	100
Detallista2	Ciente2	B	5	80	85	80	80	100
Detallista2	Ciente2	B	6	96	80	96	96	100
Detallista2	Ciente2	B	7	76	96	76	76	80
Detallista2	Ciente2	B	8	85	76	85	85	96
Detallista2	Ciente2	C	1	80	85	80	80	76
Detallista2	Ciente2	C	2	96	80	96	96	85
Detallista2	Ciente2	C	3	76	96	76	76	80
Detallista2	Ciente2	C	4	85	80	85	85	96
Detallista2	Ciente2	C	5	80	96	80	80	76
Detallista2	Ciente2	C	6	96	76	96	96	85

Detallista2	Ciente2	C	7	76	85	76	96	80
Detallista2	Ciente2	C	8	85	80	85	76	96
Detallista2	Ciente2	D	1	80	96	80	85	76
Detallista2	Ciente2	D	2	96	96	96	80	85
Detallista2	Ciente2	D	3	76	76	76	96	80
Detallista2	Ciente2	D	4	85	85	85	76	96
Detallista2	Ciente2	D	5	80	90	80	96	76
Detallista2	Ciente2	D	6	90	80	96	76	85
Detallista2	Ciente2	D	7	80	96	76	85	80
Detallista2	Ciente2	D	8	96	76	85	95	96

**Tabla 5.7.- Valores de entrada con incertidumbre del parámetro CDR**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	CDR
Detallista1	Ciente1	A	1	100
Detallista1	Ciente1	A	2	90
Detallista1	Ciente1	A	3	80
Detallista1	Ciente1	A	4	96
Detallista1	Ciente1	A	5	90
Detallista1	Ciente1	A	6	110
Detallista1	Ciente1	A	7	120
Detallista1	Ciente1	A	8	90
Detallista1	Ciente1	B	1	80
Detallista1	Ciente1	B	2	78
Detallista1	Ciente1	B	3	76
Detallista1	Ciente1	B	4	85
Detallista1	Ciente1	B	5	80
Detallista1	Ciente1	B	6	96
Detallista1	Ciente1	B	7	76
Detallista1	Ciente1	B	8	85
Detallista1	Ciente1	C	1	80
Detallista1	Ciente1	C	2	96
Detallista1	Ciente1	C	3	76
Detallista1	Ciente1	C	4	85
Detallista1	Ciente1	C	5	80
Detallista1	Ciente1	C	6	96
Detallista1	Ciente1	C	7	76
Detallista1	Ciente1	C	8	85
Detallista1	Ciente1	D	1	80
Detallista1	Ciente1	D	2	96
Detallista1	Ciente1	D	3	76
Detallista1	Ciente1	D	4	85
Detallista1	Ciente1	D	5	80

Detallista1	Ciente1	D	6	96
Detallista1	Ciente1	D	7	76
Detallista1	Ciente1	D	8	85
Detallista1	Ciente2	A	1	80
Detallista1	Ciente2	A	2	90
Detallista1	Ciente2	A	3	80
Detallista1	Ciente2	A	4	96
Detallista1	Ciente2	A	5	90
Detallista1	Ciente2	A	6	110
Detallista1	Ciente2	A	7	120
Detallista1	Ciente2	A	8	90
Detallista1	Ciente2	B	1	80
Detallista1	Ciente2	B	2	78
Detallista1	Ciente2	B	3	100
Detallista1	Ciente2	B	4	90
Detallista1	Ciente2	B	5	80
Detallista1	Ciente2	B	6	96
Detallista1	Ciente2	B	7	90
Detallista1	Ciente2	B	8	110
Detallista1	Ciente2	C	1	120
Detallista1	Ciente2	C	2	90
Detallista1	Ciente2	C	3	80
Detallista1	Ciente2	C	4	78
Detallista1	Ciente2	C	5	100
Detallista1	Ciente2	C	6	90
Detallista1	Ciente2	C	7	80
Detallista1	Ciente2	C	8	96
Detallista1	Ciente2	D	1	90
Detallista1	Ciente2	D	2	110
Detallista1	Ciente2	D	3	120
Detallista1	Ciente2	D	4	90
Detallista1	Ciente2	D	5	80
Detallista1	Ciente2	D	6	78
Detallista1	Ciente2	D	7	76
Detallista1	Ciente2	D	8	85
Detallista2	Ciente1	A	1	80
Detallista2	Ciente1	A	2	96
Detallista2	Ciente1	A	3	76
Detallista2	Ciente1	A	4	85
Detallista2	Ciente1	A	5	80
Detallista2	Ciente1	A	6	96
Detallista2	Ciente1	A	7	76
Detallista2	Ciente1	A	8	85
Detallista2	Ciente1	B	1	80
Detallista2	Ciente1	B	2	96

Detallista2	Ciente1	B	3	76
Detallista2	Ciente1	B	4	85
Detallista2	Ciente1	B	5	80
Detallista2	Ciente1	B	6	96
Detallista2	Ciente1	B	7	76
Detallista2	Ciente1	B	8	85
Detallista2	Ciente1	C	1	80
Detallista2	Ciente1	C	2	96
Detallista2	Ciente1	C	3	76
Detallista2	Ciente1	C	4	85
Detallista2	Ciente1	C	5	80
Detallista2	Ciente1	C	6	90
Detallista2	Ciente1	C	7	80
Detallista2	Ciente1	C	8	96
Detallista2	Ciente1	D	1	90
Detallista2	Ciente1	D	2	110
Detallista2	Ciente1	D	3	120
Detallista2	Ciente1	D	4	90
Detallista2	Ciente1	D	5	100
Detallista2	Ciente1	D	6	90
Detallista2	Ciente1	D	7	80
Detallista2	Ciente1	D	8	96
Detallista2	Ciente2	A	1	90
Detallista2	Ciente2	A	2	110
Detallista2	Ciente2	A	3	120
Detallista2	Ciente2	A	4	90
Detallista2	Ciente2	A	5	80
Detallista2	Ciente2	A	6	78
Detallista2	Ciente2	A	7	76
Detallista2	Ciente2	A	8	85
Detallista2	Ciente2	B	1	80
Detallista2	Ciente2	B	2	96
Detallista2	Ciente2	B	3	76
Detallista2	Ciente2	B	4	85
Detallista2	Ciente2	B	5	80
Detallista2	Ciente2	B	6	96
Detallista2	Ciente2	B	7	76
Detallista2	Ciente2	B	8	85
Detallista2	Ciente2	C	1	80
Detallista2	Ciente2	C	2	96
Detallista2	Ciente2	C	3	76
Detallista2	Ciente2	C	4	85
Detallista2	Ciente2	C	5	80
Detallista2	Ciente2	C	6	96
Detallista2	Ciente2	C	7	76

Detallista2	Ciente2	C	8	85
Detallista2	Ciente2	D	1	80
Detallista2	Ciente2	D	2	96
Detallista2	Ciente2	D	3	76
Detallista2	Ciente2	D	4	85
Detallista2	Ciente2	D	5	80
Detallista2	Ciente2	D	6	90
Detallista2	Ciente2	D	7	80
Detallista2	Ciente2	D	8	96

**Tabla 5.8.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CDR**

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CUFP1	CUFP2	CUFP3	CUFP4	CUFP5
Planta1	J1	A	0,3	0,29	0,28	0,31	0,32
Planta1	J1	B	0,3	0,28	0,28	0,31	0,32
Planta1	J1	C	0,28	0,31	0,32	0,25	0,2
Planta1	J1	D	0,3	0,28	0,31	0,32	0,28
Planta1	J2	A	0,4	0,41	0,39	0,37	0,43
Planta1	J2	B	0,4	0,39	0,37	0,43	0,41
Planta1	J2	C	0,37	0,43	0,42	0,37	0,43
Planta1	J2	D	0,4	0,39	0,37	0,43	0,41
Planta2	J3	A	0,3	0,29	0,28	0,31	0,32
Planta2	J3	B	0,3	0,28	0,28	0,31	0,32
Planta2	J3	C	0,3	0,31	0,32	0,25	0,2
Planta2	J3	D	0,3	0,28	0,31	0,32	0,3
Planta2	J4	A	0,3	0,29	0,28	0,31	0,32
Planta2	J4	B	0,3	0,28	0,28	0,31	0,32
Planta2	J4	C	0,28	0,31	0,32	0,25	0,2
Planta2	J4	D	0,3	0,28	0,31	0,32	0,28

**Tabla 5.9.- Valores de entrada con incertidumbre del parámetro CUFP**

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CUFP
Planta1	J1	A	0,28
Planta1	J1	B	0,27
Planta1	J1	C	0,26
Planta1	J1	D	0,3
Planta1	J2	A	0,38
Planta1	J2	B	0,39
Planta1	J2	C	0,35
Planta1	J2	D	0,38
Planta2	J3	A	0,28
Planta2	J3	B	0,27
Planta2	J3	C	0,3
Planta2	J3	D	0,27
Planta2	J4	A	0,3
Planta2	J4	B	0,29
Planta2	J4	C	0,26
Planta2	J4	D	0,27

**Tabla 5.10.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUFP**

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CUFEP1	CUFEP2	CUFEP3	CUFEP4	CUFEP5
Planta1	J1	A	0,3	0,28	0,31	0,3	0,29
Planta1	J1	B	0,3	0,28	0,31	0,3	0,28
Planta1	J1	C	0,3	0,32	0,25	0,28	0,31
Planta1	J1	D	0,3	0,31	0,32	0,3	0,28
Planta1	J2	A	0,4	0,39	0,37	0,4	0,41
Planta1	J2	B	0,4	0,37	0,43	0,4	0,39
Planta1	J2	C	0,4	0,42	0,37	0,37	0,43
Planta1	J2	D	0,4	0,37	0,43	0,4	0,39
Planta2	J3	A	0,3	0,28	0,31	0,3	0,29
Planta2	J3	B	0,3	0,28	0,31	0,3	0,28
Planta2	J3	C	0,3	0,32	0,25	0,3	0,31
Planta2	J3	D	0,3	0,31	0,32	0,3	0,28
Planta2	J4	A	0,3	0,28	0,31	0,3	0,29
Planta2	J4	B	0,3	0,28	0,31	0,3	0,28
Planta2	J4	C	0,3	0,32	0,25	0,28	0,31
Planta2	J4	D	0,3	0,31	0,32	0,3	0,28

**Tabla 5.11.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUFEP**

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	CUFEP
Planta1	J1	A	0,29
Planta1	J1	B	0,28
Planta1	J1	C	0,3
Planta1	J1	D	0,3
Planta1	J2	A	0,38
Planta1	J2	B	0,4
Planta1	J2	C	0,39
Planta1	J2	D	0,4
Planta2	J3	A	0,27
Planta2	J3	B	0,3
Planta2	J3	C	0,29
Planta2	J3	D	0,3
Planta2	J4	A	0,28
Planta2	J4	B	0,3
Planta2	J4	C	0,28
Planta2	J4	D	0,29

**Tabla 5.12.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUFEP**

Proveedores	Materias Primas	CUIG1	CUIG2	CUIG3	CUIG4	CUIG5
Proveedor1	M1	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002
Proveedor2	ES1	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002
Proveedor2	ES2	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003
Proveedor2	ES3	0,003	0,003	0,002	0,004	0,004
Proveedor2	ES4	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002

**Tabla 5.13.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIG**

Proveedores	Materias Primas	CUIG
Proveedor1	M1	0,0059
Proveedor2	ES1	0,0039
Proveedor2	ES2	0,0018
Proveedor2	ES3	0,0033
Proveedor2	ES4	0,0026

**Tabla 5.14.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIG**

Plantas	Productos Finales	CUIP1	CUIP2	CUIP3	CUIP4	CUIP5
Planta1	A	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Planta1	B	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Planta1	C	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Planta1	D	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Planta2	A	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Planta2	B	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Planta2	C	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Planta2	D	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001

**Tabla 5.15.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIP**

Plantas	Productos Finales	CUIP
Planta1	A	0,0014
Planta1	B	0,0017
Planta1	C	0,0011
Planta1	D	0,0015
Planta2	A	0,0017
Planta2	B	0,002
Planta2	C	0,001
Planta2	D	0,0019

**Tabla 5.16.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIP**

Distribuidores	Productos Finales	CUID1	CUID2	CUID3	CUID4	CUID5
Distribuidor1	A	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Distribuidor1	B	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Distribuidor1	C	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Distribuidor1	D	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Distribuidor2	A	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Distribuidor2	B	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Distribuidor2	C	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Distribuidor2	D	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03

**Tabla 5.17.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUID**

Distribuidores	Productos Finales	CUID
Distribuidor1	A	0,009
Distribuidor1	B	0,009
Distribuidor2	A	0,01
Distribuidor2	C	0,01
Distribuidor1	C	0,013
Distribuidor1	D	0,019
Distribuidor2	B	0,019
Distribuidor2	D	0,029

**Tabla 5.18.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUID**

Detallistas	Productos Finales	CUIR1	CUIR2	CUIR3	CUIR4	CUIR5
Detallista1	A	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Detallista1	B	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Detallista1	C	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Detallista1	D	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Detallista2	A	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Detallista2	B	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Detallista2	C	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Detallista2	D	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

**Tabla 5.19.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro CUIR**

Detallistas	Productos Finales	CUIR
Detallista1	A	0,019
Detallista1	B	0,01
Detallista1	C	0,028
Detallista1	D	0,01
Detallista2	A	0,018
Detallista2	B	0,01
Detallista2	C	0,013
Detallista2	D	0,01

**Tabla 5.20.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro CUIR**

Plantas	Recursos Producción	Periodos	MQFN1	MQFN2	MQFN3	MQFN4	MQFN5
Planta1	J1	1	1000000	1200000	990000	990000	1300000
Planta1	J1	2	1000000	1100000	1300000	1300000	1200000
Planta1	J1	3	1000000	990000	1200000	1200000	1100000
Planta1	J1	4	1000000	1300000	1100000	1100000	990000
Planta1	J1	5	1000000	1200000	990000	990000	1300000
Planta1	J1	6	1000000	1100000	1300000	1300000	1200000
Planta1	J1	7	1000000	990000	1200000	1200000	1100000
Planta1	J1	8	1000000	1300000	1100000	1100000	990000
Planta1	J2	1	1000000	1200000	990000	990000	1300000
Planta1	J2	2	1000000	1100000	1300000	1300000	1200000
Planta1	J2	3	1000000	990000	1200000	990000	1100000
Planta1	J2	4	1000000	1300000	1100000	1300000	990000
Planta1	J2	5	1000000	1200000	990000	1200000	1300000
Planta1	J2	6	1000000	1100000	1300000	1100000	1200000
Planta1	J2	7	1000000	990000	1200000	990000	1100000
Planta1	J2	8	1000000	1300000	1100000	1300000	990000
Planta2	J3	1	1000000	1200000	990000	1200000	1300000
Planta2	J3	2	1000000	1100000	1300000	1100000	1200000
Planta2	J3	3	1000000	990000	1200000	990000	1100000
Planta2	J3	4	1000000	1300000	1100000	1300000	990000
Planta2	J3	5	1000000	1200000	990000	990000	1300000
Planta2	J3	6	1000000	1100000	1300000	1300000	1100000
Planta2	J3	7	1000000	990000	1200000	1200000	990000
Planta2	J3	8	1000000	1300000	1100000	1100000	1300000
Planta2	J4	1	1000000	1200000	990000	990000	1200000
Planta2	J4	2	1000000	1100000	1300000	1300000	1100000
Planta2	J4	3	1000000	990000	1200000	1200000	990000
Planta2	J4	4	1000000	1300000	1100000	1100000	1300000
Planta2	J4	5	1000000	1200000	990000	990000	1200000
Planta2	J4	6	1000000	1100000	1300000	1300000	1100000
Planta2	J4	7	1000000	990000	990000	990000	990000
Planta2	J4	8	1000000	1300000	1300000	1300000	1300000

Tabla 5.21.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro MQFN

Plantas	Recursos Producción	Periodos	MQFN
Planta1	J1	1	1140000
Planta1	J1	2	1000000
Planta1	J1	3	1000000
Planta1	J1	4	1190000
Planta1	J1	5	1050000
Planta1	J1	6	1040000
Planta1	J1	7	1000000
Planta1	J1	8	1000000
Planta1	J2	1	1000000
Planta1	J2	2	1000000
Planta1	J2	3	1000000
Planta1	J2	4	1000000
Planta1	J2	5	1100000
Planta1	J2	6	1000000
Planta1	J2	7	1180000
Planta1	J2	8	1150000
Planta2	J3	1	1180000
Planta2	J3	2	1490000
Planta2	J3	3	1000000
Planta2	J3	4	1490000
Planta2	J3	5	1040000
Planta2	J3	6	1050000
Planta2	J3	7	1040000
Planta2	J3	8	1100000
Planta2	J4	1	1230000
Planta2	J4	2	1500000
Planta2	J4	3	1490000
Planta2	J4	4	1100000
Planta2	J4	5	1050000
Planta2	J4	6	1010000
Planta2	J4	7	1590000
Planta2	J4	8	1240000

**Tabla 5.22.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro MQFN**

Plantas	Recursos Producción	Periodos	MQFE1	MQFE2	MQFE3	MQFE4	MQFE5
Planta1	J1	1	10	11	10	11	16
Planta1	J1	2	10	12	10	12	9
Planta1	J1	3	10	12	10	12	8
Planta1	J1	4	10	14	10	14	15
Planta1	J1	5	10	11	10	11	17
Planta1	J1	6	10	16	10	16	11
Planta1	J1	7	10	9	10	9	12
Planta1	J1	8	10	8	10	8	12
Planta1	J2	1	10	15	10	15	14
Planta1	J2	2	10	17	10	17	11
Planta1	J2	3	10	10	10	10	16
Planta1	J2	4	10	11	10	11	9
Planta1	J2	5	10	12	10	12	8
Planta1	J2	6	10	12	11	10	15
Planta1	J2	7	10	14	12	10	17
Planta1	J2	8	10	11	12	10	10
Planta2	J3	1	10	16	14	10	11
Planta2	J3	2	10	9	11	10	12
Planta2	J3	3	10	8	16	10	12
Planta2	J3	4	10	15	9	10	14
Planta2	J3	5	10	17	8	10	11
Planta2	J3	6	10	11	15	10	16
Planta2	J3	7	10	12	17	10	9
Planta2	J3	8	10	12	10	10	8
Planta2	J4	1	10	14	11	10	15
Planta2	J4	2	10	11	12	10	17
Planta2	J4	3	10	16	10	16	10
Planta2	J4	4	10	9	10	9	11
Planta2	J4	5	10	8	10	8	12
Planta2	J4	6	10	15	10	15	10
Planta2	J4	7	10	17	10	17	10
Planta2	J4	8	10	10	10	10	12

**Tabla 5. 23.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro MQFF**

Plantas	Recursos Producción	Periodos	MQFE
Planta1	J1	1	9
Planta1	J1	2	9
Planta1	J1	3	9
Planta1	J1	4	9
Planta1	J1	5	9
Planta1	J1	6	9
Planta1	J1	7	9
Planta1	J1	8	9
Planta1	J2	1	9
Planta1	J2	2	9
Planta1	J2	3	9,5
Planta1	J2	4	9,5
Planta1	J2	5	9,5
Planta1	J2	6	10
Planta1	J2	7	10
Planta1	J2	8	10
Planta2	J3	1	10
Planta2	J3	2	10
Planta2	J3	3	10
Planta2	J3	4	10
Planta2	J3	5	10
Planta2	J3	6	10
Planta2	J3	7	10
Planta2	J3	8	10
Planta2	J4	1	9,5
Planta2	J4	2	9,5
Planta2	J4	3	9,5
Planta2	J4	4	9,5
Planta2	J4	5	9,5
Planta2	J4	6	9,5
Planta2	J4	7	9,5
Planta2	J4	8	9,5

**Tabla 5.24.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro MQFE**

Detallistas	Clientes	Productos Finales	Periodos	PDCR1	PDCR2	PDCR3	PDCR4	PDCR5
Detallista1	Ciente1	A	1	1011	187	1863	229	1524
Detallista1	Ciente1	A	2	1264	234	2329	286	1906
Detallista1	Ciente1	A	3	1516	280	2795	343	2287
Detallista1	Ciente1	A	4	1264	234	2329	286	1906
Detallista1	Ciente1	A	5	627	99	1248	121	1021
Detallista1	Ciente1	A	6	783	124	1560	152	1277
Detallista1	Ciente1	A	7	1000	300	1200	100	1100
Detallista1	Ciente1	A	8	900	500	1400	131	700
Detallista1	Ciente1	B	1	1524	1011	823	544	443
Detallista1	Ciente1	B	2	1906	1264	1028	680	554
Detallista1	Ciente1	B	3	2287	1516	1234	816	664
Detallista1	Ciente1	B	4	1906	1264	1028	680	554
Detallista1	Ciente1	B	5	1021	627	450	337	242
Detallista1	Ciente1	B	6	1277	783	1300	1200	303
Detallista1	Ciente1	B	7	1100	1000	100	1100	200
Detallista1	Ciente1	B	8	700	900	900	700	500
Detallista1	Ciente1	C	1	443	1524	1011	1863	229
Detallista1	Ciente1	C	2	554	1906	1264	2329	286
Detallista1	Ciente1	C	3	664	2287	1516	2795	343
Detallista1	Ciente1	C	4	554	1906	1264	2329	286
Detallista1	Ciente1	C	5	242	1021	627	1248	121
Detallista1	Ciente1	C	6	303	1277	783	1560	152
Detallista1	Ciente1	C	7	200	1100	1000	1200	100
Detallista1	Ciente1	C	8	500	700	900	1400	131
Detallista1	Ciente1	D	1	229	443	1524	1011	544
Detallista1	Ciente1	D	2	286	554	1906	1264	680
Detallista1	Ciente1	D	3	343	664	2287	1516	816
Detallista1	Ciente1	D	4	286	554	1906	1264	680
Detallista1	Ciente1	D	5	121	242	1021	627	337
Detallista1	Ciente1	D	6	152	303	1277	783	1200
Detallista1	Ciente1	D	7	100	200	1100	1000	1100
Detallista1	Ciente1	D	8	131	500	700	900	700
Detallista1	Ciente2	A	1	544	229	443	1524	1011
Detallista1	Ciente2	A	2	680	286	554	1906	1264
Detallista1	Ciente2	A	3	816	343	664	2287	1516
Detallista1	Ciente2	A	4	680	286	554	1906	1264
Detallista1	Ciente2	A	5	337	121	242	1021	627
Detallista1	Ciente2	A	6	1200	152	303	1277	783
Detallista1	Ciente2	A	7	1100	100	200	1100	1000
Detallista1	Ciente2	A	8	700	131	500	700	900
Detallista1	Ciente2	B	1	1863	544	229	443	1524
Detallista1	Ciente2	B	2	2329	680	286	554	1906
Detallista1	Ciente2	B	3	2795	816	343	664	2287
Detallista1	Ciente2	B	4	2329	680	286	554	1906

Detallista1	Cliente2	B	5	1248	337	121	242	1021
Detallista1	Cliente2	B	6	1560	1200	152	303	1277
Detallista1	Cliente2	B	7	1200	1100	100	200	1100
Detallista1	Cliente2	B	8	1400	700	131	500	700
Detallista1	Cliente2	C	1	823	1863	544	229	443
Detallista1	Cliente2	C	2	1028	2329	680	286	554
Detallista1	Cliente2	C	3	1234	2795	816	343	664
Detallista1	Cliente2	C	4	1028	2329	680	286	554
Detallista1	Cliente2	C	5	450	1248	337	121	242
Detallista1	Cliente2	C	6	1300	1560	1200	152	303
Detallista1	Cliente2	C	7	100	1200	1100	100	200
Detallista1	Cliente2	C	8	900	1400	700	131	500
Detallista1	Cliente2	D	1	187	823	1863	544	229
Detallista1	Cliente2	D	2	234	1028	2329	680	286
Detallista1	Cliente2	D	3	280	1234	2795	816	343
Detallista1	Cliente2	D	4	234	1028	2329	680	286
Detallista1	Cliente2	D	5	99	450	1248	337	121
Detallista1	Cliente2	D	6	124	1300	1560	1200	152
Detallista1	Cliente2	D	7	300	100	1200	1100	100
Detallista1	Cliente2	D	8	500	900	1400	700	131
Detallista2	Cliente1	A	1	1011	187	823	1863	544
Detallista2	Cliente1	A	2	1264	234	1028	2329	680
Detallista2	Cliente1	A	3	1516	280	1234	2795	816
Detallista2	Cliente1	A	4	1264	234	1028	2329	680
Detallista2	Cliente1	A	5	627	99	450	1248	337
Detallista2	Cliente1	A	6	783	124	1300	1560	1200
Detallista2	Cliente1	A	7	1000	544	100	1200	1100
Detallista2	Cliente1	A	8	900	680	900	1400	700
Detallista2	Cliente1	B	1	1524	1011	187	823	1863
Detallista2	Cliente1	B	2	1906	1264	234	1028	2329
Detallista2	Cliente1	B	3	2287	1516	280	1234	2795
Detallista2	Cliente1	B	4	1906	1264	234	1028	2329
Detallista2	Cliente1	B	5	1021	627	99	450	1248
Detallista2	Cliente1	B	6	1277	783	124	1300	1560
Detallista2	Cliente1	B	7	1100	1000	544	100	1200
Detallista2	Cliente1	B	8	700	900	680	900	1400
Detallista2	Cliente1	C	1	443	1524	1011	187	823
Detallista2	Cliente1	C	2	554	1906	1264	234	1028
Detallista2	Cliente1	C	3	664	2287	1516	280	1234
Detallista2	Cliente1	C	4	554	1906	1264	234	1028
Detallista2	Cliente1	C	5	242	1021	627	99	450
Detallista2	Cliente1	C	6	303	1277	783	124	1300
Detallista2	Cliente1	C	7	200	1100	1000	544	100
Detallista2	Cliente1	C	8	500	700	900	680	900
Detallista2	Cliente1	D	1	229	443	1524	1011	187
Detallista2	Cliente1	D	2	286	554	1906	1264	234

Detallista2	Ciente1	D	3	343	664	2287	1516	280
Detallista2	Ciente1	D	4	286	554	1906	1264	234
Detallista2	Ciente1	D	5	121	242	1021	627	99
Detallista2	Ciente1	D	6	152	303	1277	783	124
Detallista2	Ciente1	D	7	100	200	1100	1000	544
Detallista2	Ciente1	D	8	131	500	700	900	680
Detallista2	Ciente2	A	1	544	229	443	1524	1011
Detallista2	Ciente2	A	2	680	286	554	1906	1264
Detallista2	Ciente2	A	3	816	343	664	2287	1516
Detallista2	Ciente2	A	4	680	286	554	1906	1264
Detallista2	Ciente2	A	5	337	121	242	1021	627
Detallista2	Ciente2	A	6	1200	152	303	1277	783
Detallista2	Ciente2	A	7	1100	100	200	1100	1000
Detallista2	Ciente2	A	8	700	131	500	700	900
Detallista2	Ciente2	B	1	1863	544	229	443	1524
Detallista2	Ciente2	B	2	2329	680	286	554	1906
Detallista2	Ciente2	B	3	2795	816	343	664	2287
Detallista2	Ciente2	B	4	2329	680	286	554	1906
Detallista2	Ciente2	B	5	1248	337	121	242	1021
Detallista2	Ciente2	B	6	1560	1200	152	303	1277
Detallista2	Ciente2	B	7	1200	1100	100	200	1100
Detallista2	Ciente2	B	8	1400	700	131	500	700
Detallista2	Ciente2	C	1	823	1863	544	229	443
Detallista2	Ciente2	C	2	1028	2329	680	286	554
Detallista2	Ciente2	C	3	1234	2795	816	343	664
Detallista2	Ciente2	C	4	1028	2329	680	286	554
Detallista2	Ciente2	C	5	450	1248	337	121	242
Detallista2	Ciente2	C	6	1300	1560	1200	152	303
Detallista2	Ciente2	C	7	100	1200	1100	100	200
Detallista2	Ciente2	C	8	900	1400	700	131	500
Detallista2	Ciente2	D	1	187	823	1863	544	229
Detallista2	Ciente2	D	2	234	1028	2329	680	286
Detallista2	Ciente2	D	3	280	1234	2795	816	343
Detallista2	Ciente2	D	4	234	1028	2329	680	286
Detallista2	Ciente2	D	5	99	450	1248	337	121
Detallista2	Ciente2	D	6	124	1300	1560	1200	152
Detallista2	Ciente2	D	7	300	100	1200	1100	100
Detallista2	Ciente2	D	8	500	900	1400	700	131

Tabla 5.25.- Datos de entrada de la ANN para el parámetro PDCR

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	PDCR
Detallista1	Ciente1	A	1	1013
Detallista1	Ciente1	A	2	1258
Detallista1	Ciente1	A	3	1520
Detallista1	Ciente1	A	4	1260
Detallista1	Ciente1	A	5	629
Detallista1	Ciente1	A	6	777
Detallista1	Ciente1	A	7	1000
Detallista1	Ciente1	A	8	900
Detallista1	Ciente1	B	1	1527
Detallista1	Ciente1	B	2	1900
Detallista1	Ciente1	B	3	2290
Detallista1	Ciente1	B	4	1895
Detallista1	Ciente1	B	5	1087
Detallista1	Ciente1	B	6	1261
Detallista1	Ciente1	B	7	1105
Detallista1	Ciente1	B	8	685
Detallista1	Ciente1	C	1	442
Detallista1	Ciente1	C	2	550
Detallista1	Ciente1	C	3	668
Detallista1	Ciente1	C	4	550
Detallista1	Ciente1	C	5	245
Detallista1	Ciente1	C	6	298
Detallista1	Ciente1	C	7	208
Detallista1	Ciente1	C	8	485
Detallista1	Ciente1	D	1	217
Detallista1	Ciente1	D	2	274
Detallista1	Ciente1	D	3	331
Detallista1	Ciente1	D	4	275
Detallista1	Ciente1	D	5	130
Detallista1	Ciente1	D	6	140
Detallista1	Ciente1	D	7	85
Detallista1	Ciente1	D	8	160
Detallista1	Ciente2	A	1	513
Detallista1	Ciente2	A	2	670
Detallista1	Ciente2	A	3	805
Detallista1	Ciente2	A	4	690
Detallista1	Ciente2	A	5	325
Detallista1	Ciente2	A	6	1209
Detallista1	Ciente2	A	7	1089
Detallista1	Ciente2	A	8	709
Detallista1	Ciente2	B	1	1850
Detallista1	Ciente2	B	2	2335
Detallista1	Ciente2	B	3	2780

Detallista1	Ciente2	B	4	2335
Detallista1	Ciente2	B	5	1233
Detallista1	Ciente2	B	6	1568
Detallista1	Ciente2	B	7	1188
Detallista1	Ciente2	B	8	1408
Detallista1	Ciente2	C	1	832
Detallista1	Ciente2	C	2	1017
Detallista1	Ciente2	C	3	1242
Detallista1	Ciente2	C	4	1015
Detallista1	Ciente2	C	5	649
Detallista1	Ciente2	C	6	1198
Detallista1	Ciente2	C	7	118
Detallista1	Ciente2	C	8	878
Detallista1	Ciente2	D	1	190
Detallista1	Ciente2	D	2	228
Detallista1	Ciente2	D	3	282
Detallista1	Ciente2	D	4	226
Detallista1	Ciente2	D	5	100
Detallista1	Ciente2	D	6	119
Detallista1	Ciente2	D	7	309
Detallista1	Ciente2	D	8	489
Detallista2	Ciente1	A	1	1020
Detallista2	Ciente1	A	2	1249
Detallista2	Ciente1	A	3	1520
Detallista2	Ciente1	A	4	1250
Detallista2	Ciente1	A	5	635
Detallista2	Ciente1	A	6	770
Detallista2	Ciente1	A	7	1000
Detallista2	Ciente1	A	8	900
Detallista2	Ciente1	B	1	1518
Detallista2	Ciente1	B	2	1900
Detallista2	Ciente1	B	3	2290
Detallista2	Ciente1	B	4	1900
Detallista2	Ciente1	B	5	1020
Detallista2	Ciente1	B	6	1270
Detallista2	Ciente1	B	7	1100
Detallista2	Ciente1	B	8	700
Detallista2	Ciente1	C	1	440
Detallista2	Ciente1	C	2	548
Detallista2	Ciente1	C	3	666
Detallista2	Ciente1	C	4	548
Detallista2	Ciente1	C	5	243
Detallista2	Ciente1	C	6	298
Detallista2	Ciente1	C	7	198
Detallista2	Ciente1	C	8	507

Detallista2	Ciente1	D	1	218
Detallista2	Ciente1	D	2	287
Detallista2	Ciente1	D	3	338
Detallista2	Ciente1	D	4	290
Detallista2	Ciente1	D	5	113
Detallista2	Ciente1	D	6	155
Detallista2	Ciente1	D	7	94
Detallista2	Ciente1	D	8	133
Detallista2	Ciente2	A	1	538
Detallista2	Ciente2	A	2	684
Detallista2	Ciente2	A	3	808
Detallista2	Ciente2	A	4	679
Detallista2	Ciente2	A	5	329
Detallista2	Ciente2	A	6	1249
Detallista2	Ciente2	A	7	1049
Detallista2	Ciente2	A	8	700
Detallista2	Ciente2	B	1	1858
Detallista2	Ciente2	B	2	2332
Detallista2	Ciente2	B	3	2788
Detallista2	Ciente2	B	4	2336
Detallista2	Ciente2	B	5	1238
Detallista2	Ciente2	B	6	1608
Detallista2	Ciente2	B	7	1148
Detallista2	Ciente2	B	8	1400
Detallista2	Ciente2	C	1	817
Detallista2	Ciente2	C	2	1029
Detallista2	Ciente2	C	3	1228
Detallista2	Ciente2	C	4	1030
Detallista2	Ciente2	C	5	440
Detallista2	Ciente2	C	6	1300
Detallista2	Ciente2	C	7	95
Detallista2	Ciente2	C	8	904
Detallista2	Ciente2	D	1	190
Detallista2	Ciente2	D	2	230
Detallista2	Ciente2	D	3	283
Detallista2	Ciente2	D	4	228
Detallista2	Ciente2	D	5	197
Detallista2	Ciente2	D	6	120
Detallista2	Ciente2	D	7	288
Detallista2	Ciente2	D	8	497

**Tabla 5.26.- Datos esperados para la salida de la ANN del parámetro PDCR**

### 5.3.2. Resultados del MMI a partir de los datos de partida introducidos en la plataforma SCANN

Como se enuncio en párrafos anteriores, de aquí en adelante se pueden ver los diferentes ensayos para cada variable que influye en la ejecución de la Red Neuronal.

#### 5.3.2.1. Resultados según la Tasa de Aprendizaje (TA) de la Red Neuronal

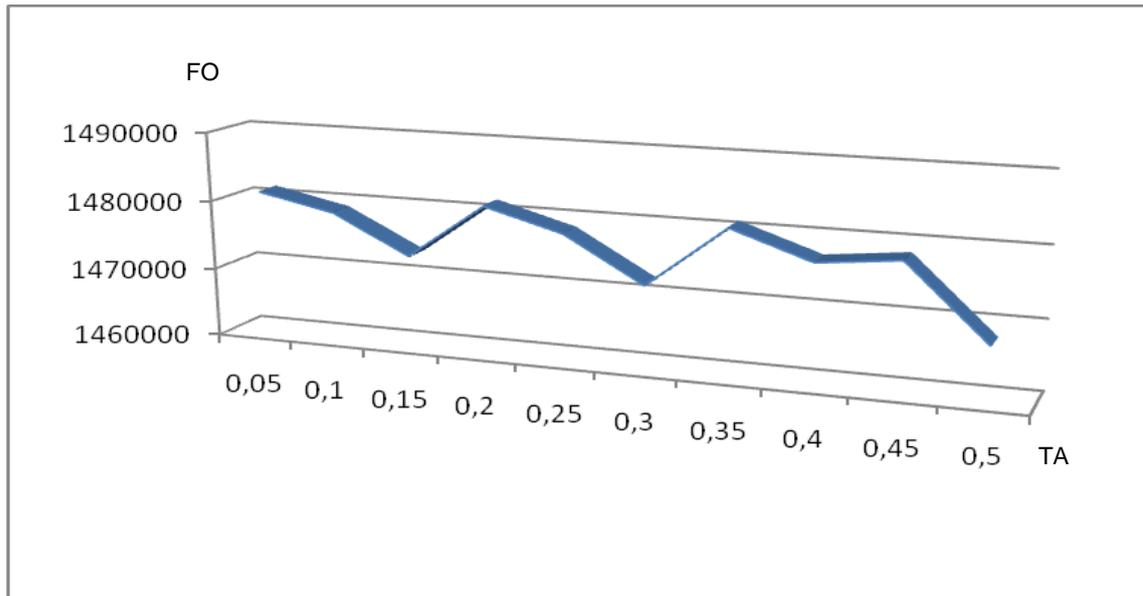
A partir de los parámetros de partida tenidos en cuenta en el apartado anterior (datos de entrada y datos esperados para cada Red Neuronal de la plataforma SCANN), se evalúa la mejor tasa de aprendizaje, manteniendo fijos los siguientes valores (estos valores se tomaron aleatoriamente para esta prueba):

- número de capas ocultas: 3
- máximo error posible: 0,5

TA	FO	TA	FO	TA	FO
0,05	1481145,38	0,25	1478303,11	0,45	1478214,89
0,1	1478857,22	0,3	1471953,42	0,5	1467740,3
0,15	1473363,83	0,35	1480825,39		
0,2	1481375,24	0,4	1477005,11		

**Tabla 5. 27.- Variación de la Función Objetivo en función de la tasa de aprendizaje**

En la Tabla 5.27 se observa la variación de la Función Objetivo (FO) en función de la tasa de aprendizaje. Para una mejor visualización del comportamiento se puede ver la siguiente Fig. 5.4. Se considera que la mejor tasa de aprendizaje obtenida para este ensayo fue 0,2. Siendo para esta la mejor solución de la función objetivo, y a su vez, el valor límite en la búsqueda de mejores soluciones.



**Figura 5.4.- Variación de la Función Objetivo en función de la tasa de aprendizaje**

Los planes de producción de los productos terminados se muestran en la Tabla 5.28 y Fig. 5.5. En estas se puede ver la diferencia entre los resultados del ensayo con la tasa de aprendizaje (Fig. 5.5) y los resultados del MMD (Fig. 5.2). Esta diferencia es entre las cantidades de producción de los productos B y A, respecto a los productos C y D. Siendo A y B, lo que más se produce en toda la cadena de suministro.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6664	4385	3608	1807	7808	0	3025	0
B	14716	9672	8177	4342	9714	0	4028	0
C	5516	3566	2929	1502	3475	0	2667	0
D	1874	1174	942	504	1238	0	1208	0

**Tabla 5.28.-Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo**

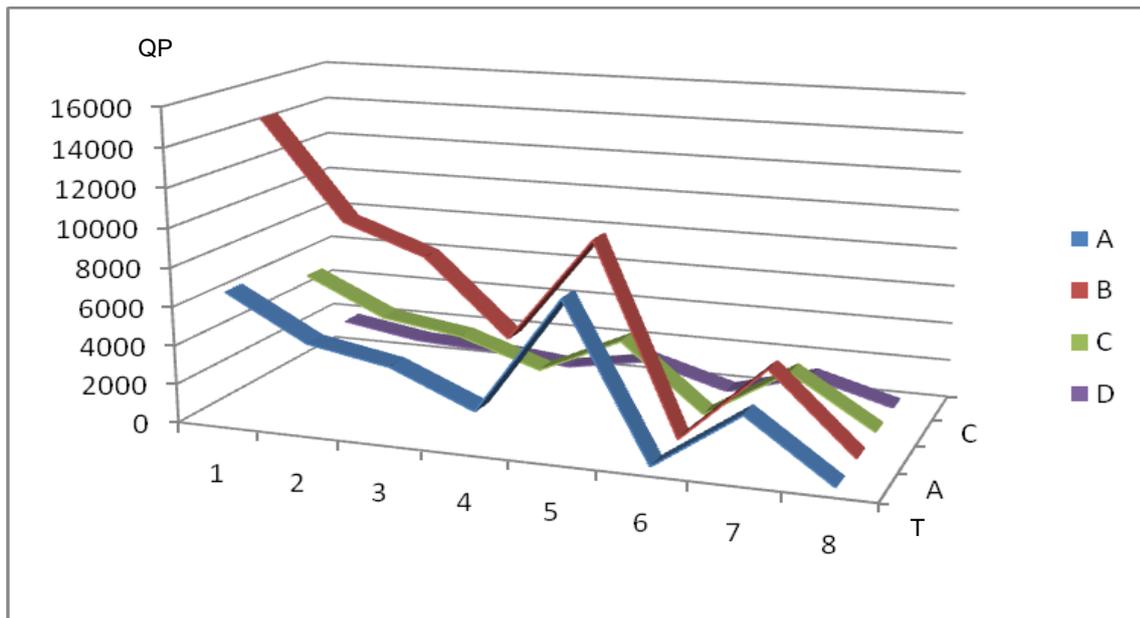


Figura 5.5.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo

En la Fig. 5.6 se muestra el perfil de las cantidades producidas aguas abajo de la cadena de suministro (por proceso y periodo). Se puede ver que en la Planta P1.2 se fabricó más en los primeros periodos. Comparando los resultados de la tasa de aprendizaje (Fig. 5.6), con los resultados del MMD (Fig. 5.3), se dedujo que la mayor cantidad de producción es para el ensayo de TA, la cual es mucho mayor para la Planta P1.2 que para la Planta P1.1. Para el ensayo del MMD, la producción es más uniforme entre las Plantas P1.1 y P1.2. También se puede ver que en los dos ensayos, las plantas tratan de no fabricar al mismo tiempo para minimizar costes de producción.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P11	5101	0	0	0	0	0	0	0
P12	23668	18797	15564,328	8155	22235	0	10928	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5. 29.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo

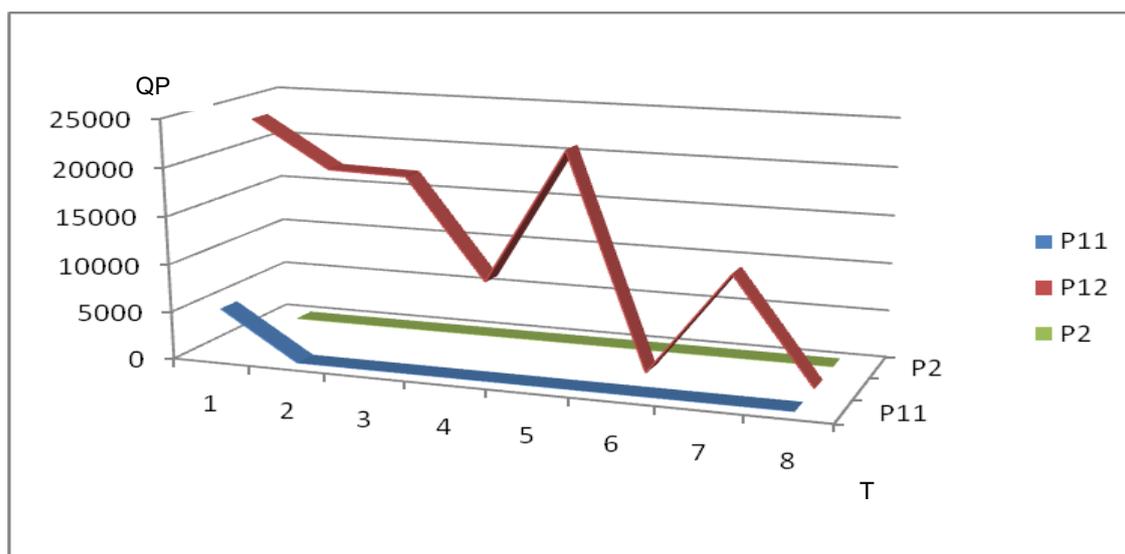


Figura 5.6.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo

Planta	Recursos Producción	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta1	J1	A	1	1648,906
Planta2	J4	A	1	351,094

Tabla 5.30.- Cantidad de producción en tiempo extra

Al Comparar los costes y margen de beneficios de la TA con los del MMD (ver Tabla 5.4), se observa que los primeros son mayores, lo que quiere decir que al tener una tasa de aprendizaje de 0,2, maximiza el margen de beneficios. Hay que tener en cuenta que este ensayo de TA es una prueba para poder obtener el valor más adecuado para ensayos posteriores.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	valor	Costes	valor	Costes	valor	Ventas	Valor	Beneficios	Valor
CTFP	2659,4	CTMRR	54873,38	CTIPP	22,79	CTTDD	420,96	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	88,8	CDD2	0	VPPP	796551,05	ZP	773165,2
CTMGG	10,45	CTCDD	796551,05	CTIRR	196,11			VPDD	1492041,06	ZD	662943,85
CTMPP	114,99	CTCRR	1492041,06	CTTGG	670,6			VPRR	1572881,34	ZR	25770,79
CTMDD	32036,4	CTIGG	0	CTTPP	422,66						

Tabla 5.31.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando la tasa de aprendizaje de la Plataforma SCAAN

Las cantidades vendidas, cantidades transportadas y demás resultados se encuentran en el capítulo 7, ANEXO G (modelo determinista).

En las Tablas 5.32 y 5.33, se ven los Niveles de Inventario de la Planta y del Detallista, observando que, para esta ejecución, el producto que más nivel de inventario tuvo fue el D, y en caso contrario, el que menos nivel de inventario fue el C.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta2	D	1	3226,413
Planta2	D	2	2052,533
Planta2	D	3	1110,83
Planta2	D	4	606,575

**Tabla 5.32.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la TA de SCANN**

Detallistas	Productos Finales	Periodos	NIR
Detallista1	A	6	2042,468
Detallista1	B	6	2211,748
Detallista1	C	6	385,263
Detallista1	D	6	454,498
Detallista2	A	6	2052,832
Detallista2	B	6	2260,329
Detallista2	C	6	350,576
Detallista2	D	6	433,301

**Tabla 5.33.- Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la TA de SCANN**

**5.3.2.2. Resultados teniendo en cuenta el Error Cuadrático Medio (MSE) de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN**

Para poder analizar el Error Cuadrático Medio (MSE) de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN se utilizaron los datos de entrada y los datos esperados, de la misma forma en la que se usaron en el ensayo de la tasa de aprendizaje (estos datos de partida se encuentran en el apartado 5.3.1). Para evaluar el mejor MSE, se mantuvieron fijas las siguientes variables de las redes neuronales de la Plataforma SCANN (los valores de los pesos de la capa oculta son aleatorios):

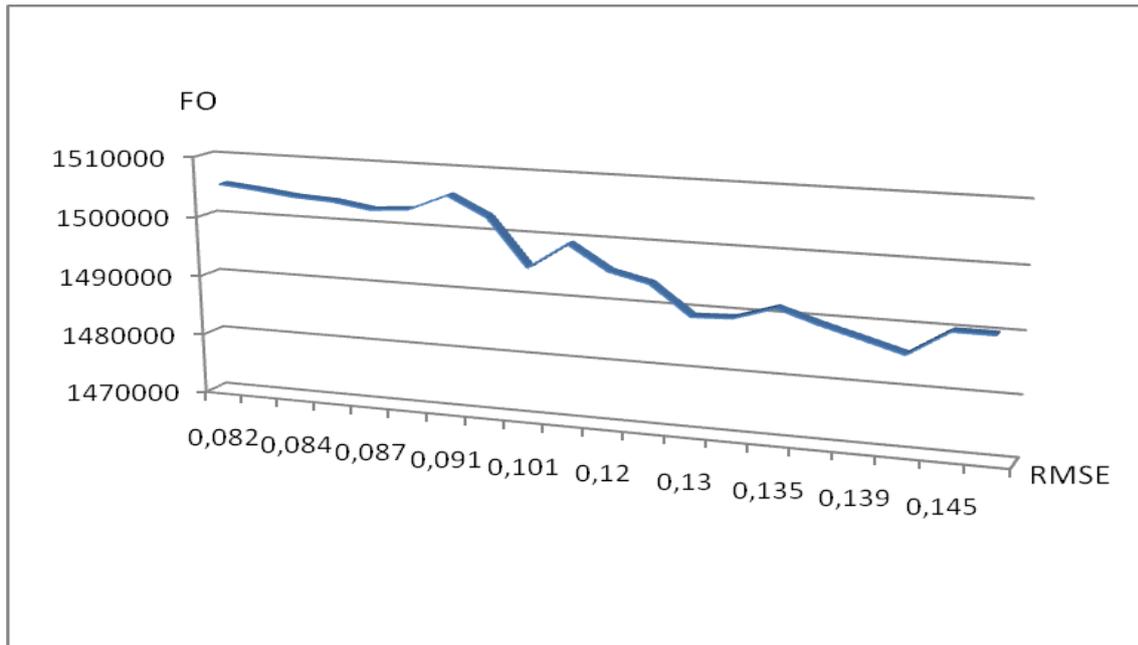
- número de capas ocultas: 3
- tasa de aprendizaje: 0,2

Siendo este último valor el mejor de acuerdo a los análisis de los resultados de la tasa de aprendizaje.

Como se puede observar en la Tabla 5.34 y en la Figura 5.7, se observó que el mejor de los valores de MSE de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN es el valor de 0,91, ya que, en ese caso, se consigue el mayor valor de la función objetivo.

MSE	FO	MSE	FO	MSE	FO	MSE	FO
0,082	1505410,58	0,089	1503164,93	0,12	1495357,74	0,137	1489397,1
0,083	1504800,46	0,091	1505848,08	0,125	1493864,54	0,139	1487613,39
0,084	1504039	0,095	1502731,72	0,13	1489100,26	0,141	1485780,24
0,085	1503694,86	0,101	1495007,76	0,133	1489392,31	0,145	1489966,8
0,087	1502732,45	0,11	1499300,4	0,135	1491484,91	0,15	1489926,83

**Tabla 5.34.- Variación de la Función Objetivo en función del Error Cuadrático Medio**



**Figura 5.7.- Variación de la Función Objetivo en función del Error Cuadrático Medio**

Para el mejor valor de la función objetivo se analizan las cantidades de productos en cada periodo y en cada planta (Ver Tabla 5.35 y Fig. 5.8). Se puede observar que la fabricación de productos fue mayor que en la del MMD. Por otra parte se observa que los resultados de producción, al realizar el ensayo de MSE, generan una producción más homogénea al comparar con los resultados de tasa de aprendizaje.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6830	4486	3717	0	5713	3981	0	3100
B	14884	9869	8194	0	9908	4386	0	4054
C	5611	3675	3038	0	4480	595	0	2663
D	1914	1181	981	0	1033	749	0	1236

**Tabla 5.35.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el resultado MSE**

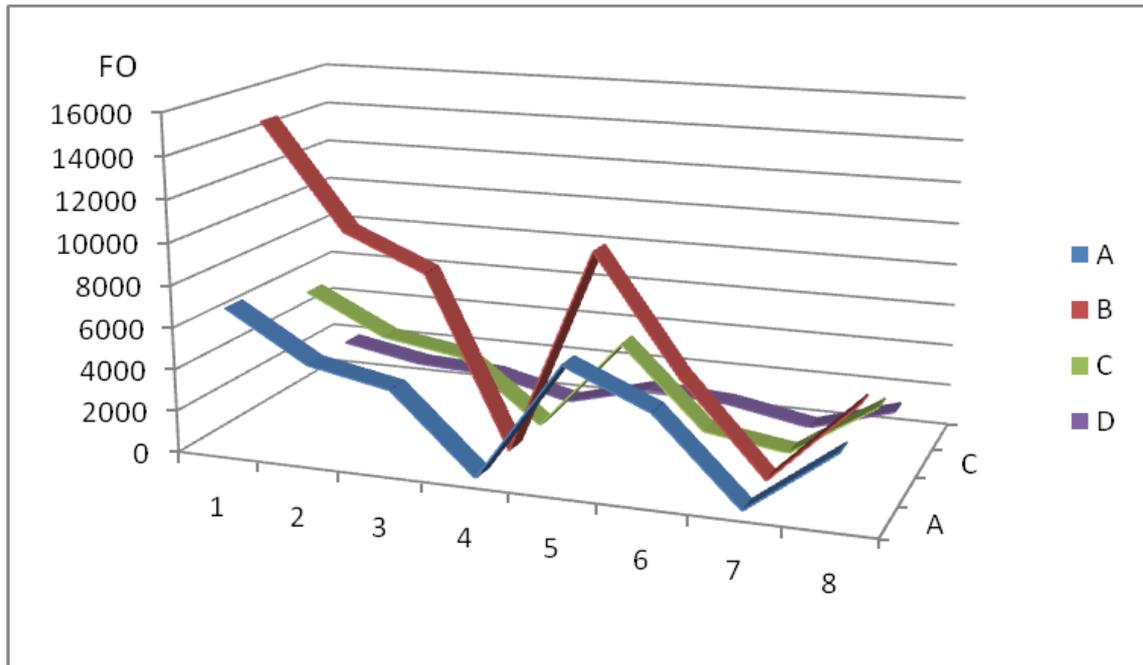


Figura 5.8.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el resultado MSE

Al analizar la parte de producción del ensayo de MSE, el análisis en la plantas difiere (ver Tabla 5.36 y Figura 5.9), ya que es más homogénea la producción por planta para el modelo determinista que la de los ensayos de tasa de aprendizaje y de MSE. Esto se debe a que estos ensayos son pruebas para llegar a unos parámetros definitivos para la Red Neuronal.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	4937	0	0	0	8261	0	0	0
P1.2	24302	19212	15930	0	12874	9711	0	11053
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.36.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado de MSE

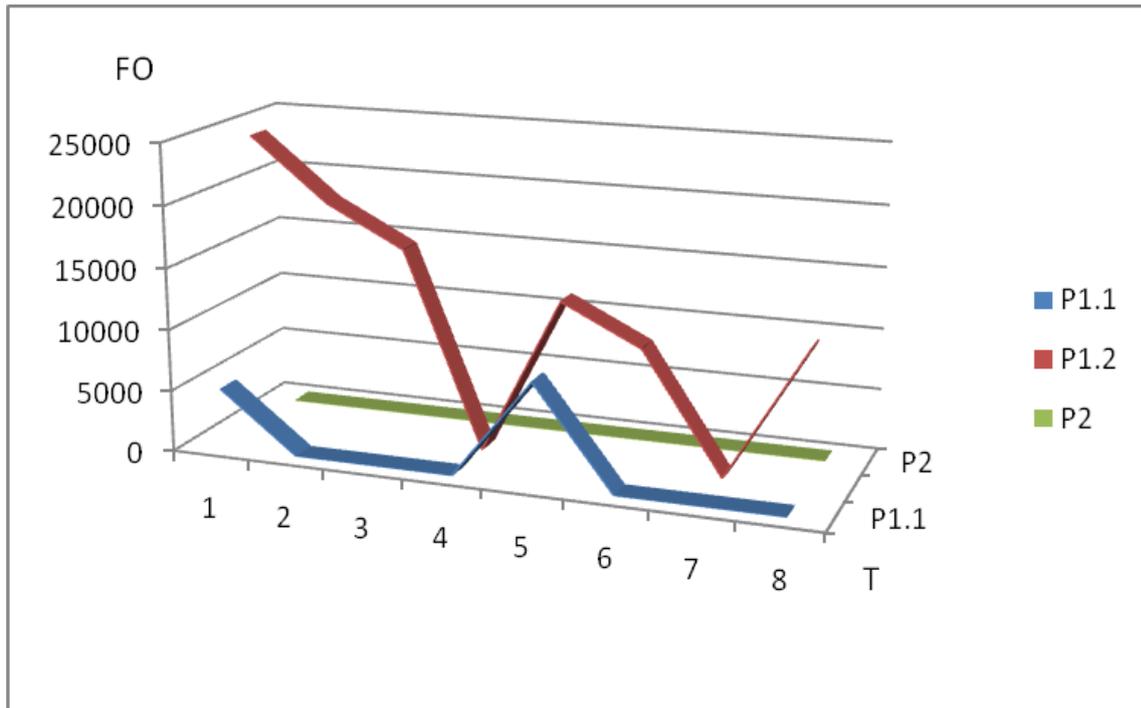


Figura 5.9.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado de MSE

Por otra parte, en este ensayo de MSE se genera una producción extra de dos mil unidades en la Planta1.2, en el periodo 1 (ver Tabla 5.37).

Plantas	Recursos Produccion	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

Tabla 5.37.- Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis MSE

Lo que se refiere a los costes y margen de beneficios generados en este ensayo (ver Tabla 5.38), comparándolos con los del modelo determinista, se observa que los costes son mayores al existir mayor producción en las dos plantas.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	valor	Costes	Valor	Costes	valor	Ventas	valor	Beneficios	Valor
CTFP	2726.00	CTMRR	55791.22	CTIPP	24.09	CTTDD	429.12	VPGG	20166.00	ZG	19495.40
CTSP	0.00	CTCPP	20166.00	CTIDD	92.00	CDD2	0.00	VPPP	809552.86	ZP	786090.43
CTMGG	10.45	CTCDD	809552.86	CTIRR	69.92			VPDD	1516618.34	ZD	673971.17
CTMPP	116.73	CTCRR	1516618.34	CTTGG	670.60			VPRR	1598770.56	ZR	26291.08
CTMDD	32573.20	CTIGG	0.00	CTTPP	429.62						

**Tabla 5.38.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando MSE de la Plataforma SCAAN**

La Tabla 5.39 nos muestra los Niveles de Inventario de la Planta P1.2, observando que para esta ejecución, el producto D fue el único que mantuvo un cierto nivel de inventario siendo, por ello, el producto que menos se produjo.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta2	D	1	3185,46
Planta2	D	2	2003,935
Planta2	D	3	1022,824
Planta2	D	4	1022,824
Planta2	D	5	508,176

**Tabla 5. 39.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la MSE de SCANN**

### 5.3.3. Resultados teniendo en cuenta el número de neuronas de la capa oculta de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN, para cada parámetro con incertidumbre

En este ensayo, se determinó el número de neuronas de la capa oculta de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN más apropiado para poder ejecutar el MMI, y así compararlo con el MMD. En los siguientes apartados se da a conocer las pruebas de cada parámetro con incertidumbre, teniendo en cuenta las variables de la Red Neuronal obtenidas en los apartados anteriores (tasa de aprendizaje y MSE).

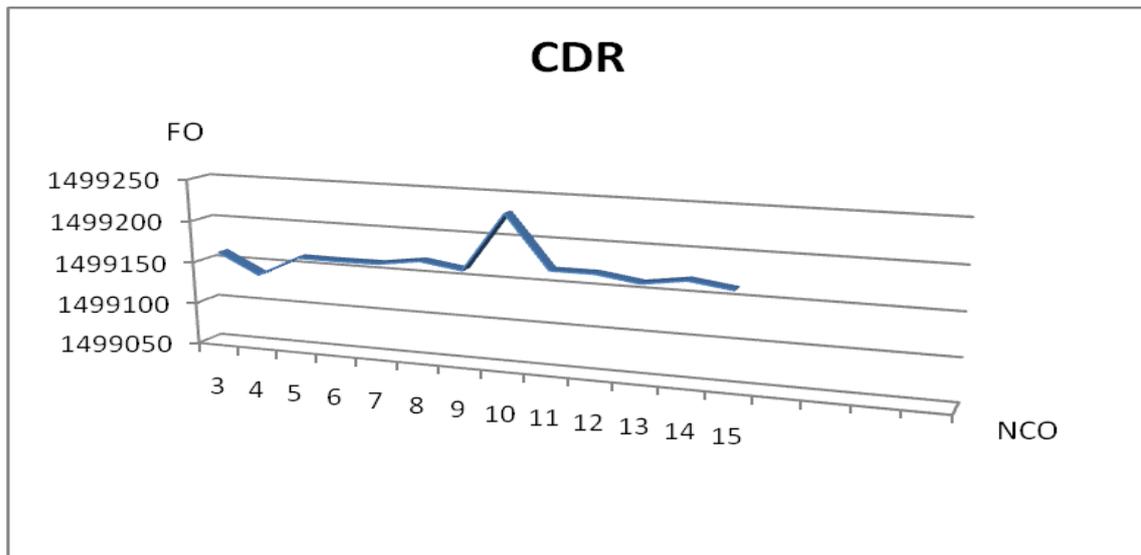
#### 5.3.3.1. Análisis Parámetro CDR (Coste de Diferir la Demanda)

Para el análisis del comportamiento del parámetro CDR, se fijaron los valores de tasa de aprendizaje y MSE (valores obtenidos a partir del análisis en los apartados anteriores). A continuación se empezó a variar el Número de Neuronas en la Capa Oculta (NCO) de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN hasta obtener el valor con mayor resultado en la función objetivo del modelo. En este caso el número de neuronas en la capa oculta fue diez (Ver Tabla 5.40 y Figura.5.10).

NCO	FO	NCO	FO	NCO	FO
3	1499161,68	8	1499168,51	13	1499161,28
4	1499137,37	9	1499161,28	14	1499168,51
5	1499161,68	10	1499229,84	15	1499161,68
6	1499161,28	11	1499168,51		
7	1499161,68	12	1499168,51		

**Tabla 5. 40.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CDR**

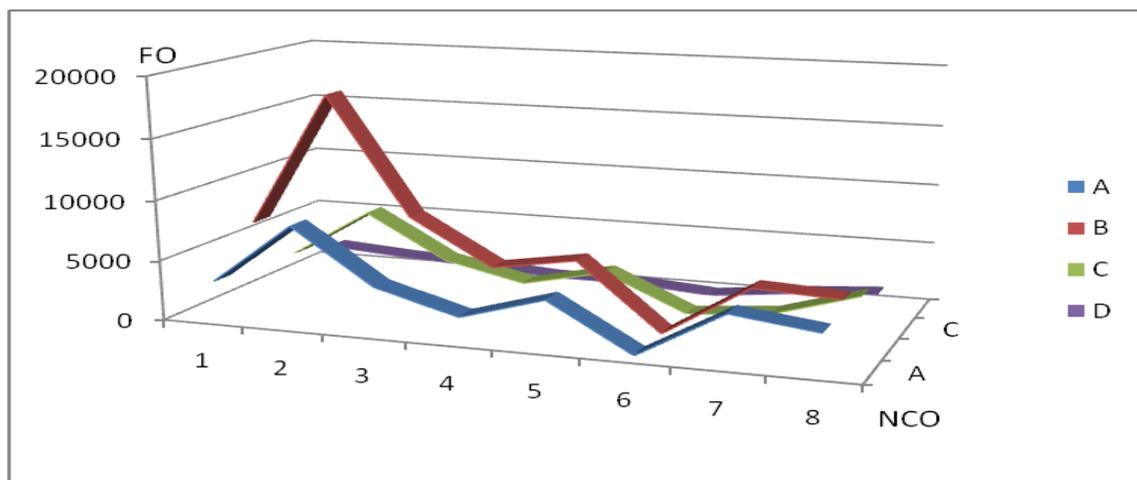
Cuando se ejecutó el modelo MMI de la Plataforma SCANN, variando el número de capas ocultas de la Red Neuronal del parámetro CDR, y para el número calculado, se observó (Tabla 5.41 y Figura 5.11) que la cantidad de productos (A, B, C y D) producida se concentraba más en los cuatro primeros periodos. Al comparar estos resultados con los del MMD (Figura 5.2), se ve que la cantidad producida fue mayor, y hubo un mayor margen de beneficios. Observando la Figura 5.11, el producto con más demanda fue el B seguido de A y C, y por el contrario el producto con menos demanda fue el D.



**Figura 5.10.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CDR**

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	3107	8210	3712	1840	3839	0	3953	3087
B	6724	17838	8132	4395	5492	0	4365	4012
C	2586	6679	3006	1508	2982	0	595	2665
D	1796	1318	983	515	512	0	746	1245

**Tabla 5. 41.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CDR**



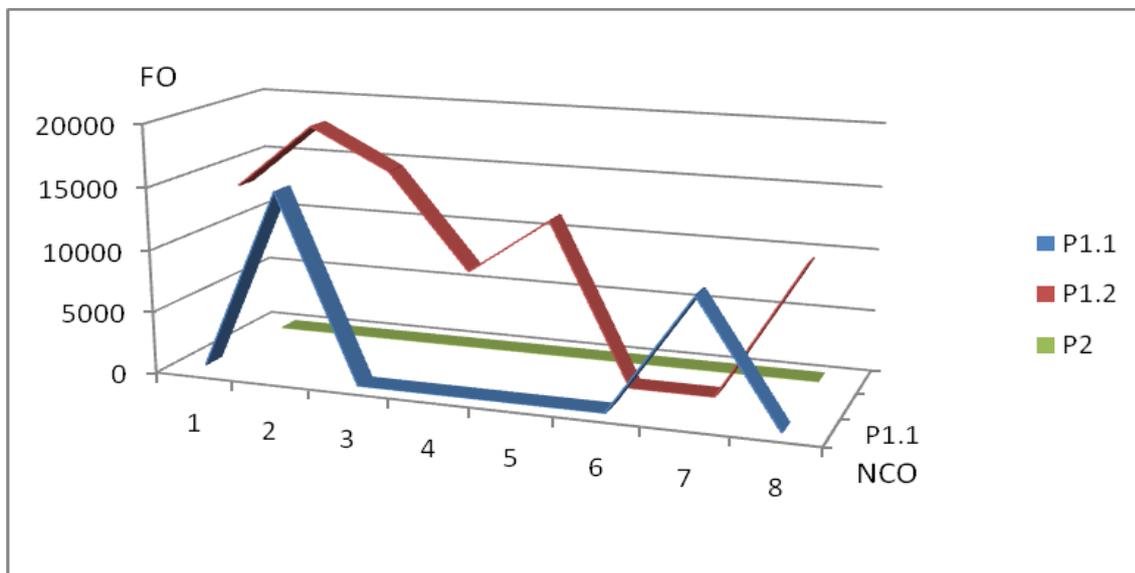
**Figura 5.11.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CDR**

En cuanto a cantidad de productos producida en cada Planta (Ver Tabla 5.42 y Figura 5.12), se observó que la mayor cantidad producida de productos, para el ensayo del parámetro CDR del modelo, fue en la Planta P1.2. Al comparar ésta con la ejecución

del MMD (Figura 5.3), se observa que la mayor producción de las dos ejecuciones está en la Planta P1.2, si bien la producción varía en las cantidades por periodo en cada una de ellas, debido a que en este ensayo se cambia el número de neuronas de la capa oculta de la Red Neuronal de la plataforma. En este caso la cantidad de producción es mayor que en la del MMD y por tanto el margen de beneficios también es mayor. Hay que tener en cuenta que, en esta ejecución, se ha querido ver y demostrar que es factible usar el número de neuronas encontrado en el análisis para realizar un último ensayo con todos los parámetros inciertos.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	400	15007	0	0	0	0	9658	0
P1.2	13813	19038	15833	8259	12825	0	0	11009
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5. 42.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CDR**



**Figura 5.12.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CDR**

Además, en cuanto a la producción, al variar el NCO del parámetro CDR, se generó una producción extra de dos mil unidades en la Planta1.2, en el periodo 1 (Ver Tabla 5.43).

Plantas	Recursos Produccion	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

**Tabla 5. 43.- Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con el parámetro CDR**

En lo que se refiere a los costes y margen de beneficios de este ensayo (Tabla 5.4), se observa que para el parámetro CDR (Ver Tabla 5.44), se generó mayor producción y mayor margen de beneficios a comparación con el MMD. Igualmente se puede observar que los datos obtenidos en este ensayo fueron muy similares a los obtenidos en la ejecución del MSE.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	Valor	Costes	valor	Costes	Valor	Ventas	Valor	Beneficios	Valor
CTFP	2726	CTMRR	55561,02	CTIPP	23,63	CTTDD	426,57	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	91,2	CDD2	0	VPPP	805989,48	ZP	782529,69
CTMGG	10,45	CTCDD	805989,48	CTIRR	78,49			VPDD	1509966,43	ZD	671020,61
CTMPP	116,29	CTCRR	1509966,43	CTTGG	670,6			VPRR	1591790,08	ZR	26184,14
CTMDD	32438,57	CTIGG	0	CTTPP	427,87						

**Tabla 5. 44.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CDR de la Plataforma SCAAN**

Lo último a tener en cuenta en esta ejecución es el nivel de inventario generado por el MMI (ver Tabla 5.45 y Tabla 5.46), y se observa que el producto de mayor nivel de inventario es el D en la Planta P1.2, de tal manera que es el producto que menos se produce. Además se observó que también hay nivel de inventario del producto B en la Planta P1.1 pero en menor proporción, ya que es el producto de mayor fabricación en este ensayo.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	B	1	359,183673
Planta2	D	1	3304,135
Planta2	D	2	2110,074
Planta2	D	3	1127,445
Planta2	D	4	611,805

**Tabla 5. 45.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR**

Detallistas	Productos Finales	Periodos	NIR
Detallista1	D	1	558,955
Detallista2	D	1	450,467

**Tabla 5. 46- Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR**

**5.3.3.2. Análisis de los Parámetros CUF<sub>P</sub> y CUF<sub>EP</sub> (Coste por Unidad de Fabricación y Coste por Unidad de Fabricación en Tiempo Extra)**

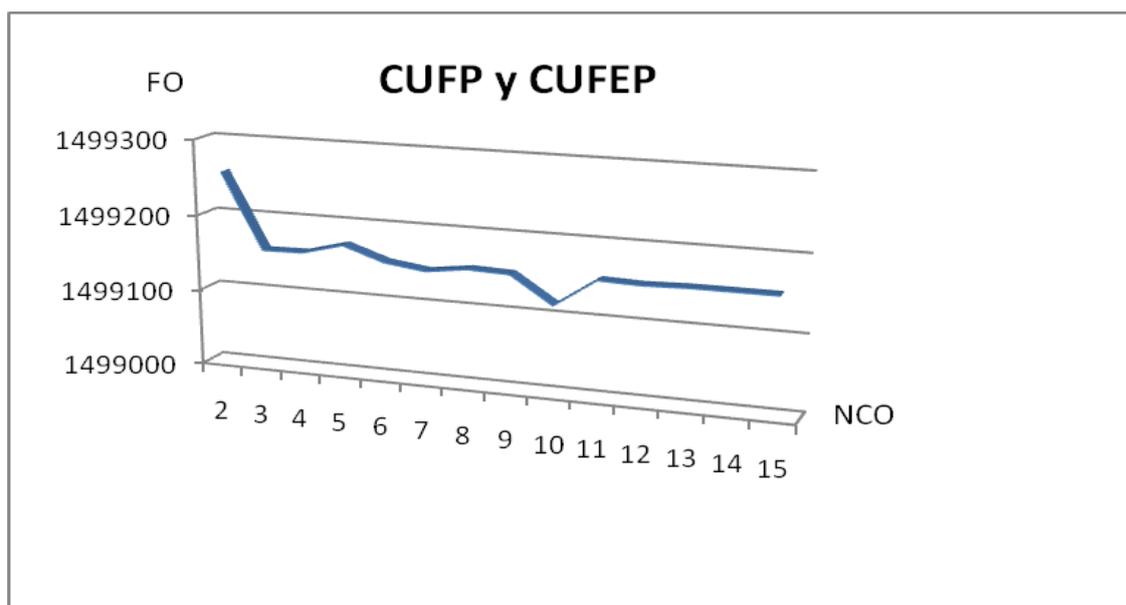
Al igual que con el parámetro CDR, se ha realizado el mismo procedimiento: fijar los valores de tasa de aprendizaje y MSE, y cambiar, de dos en dos hasta diez, el número de neuronas en la capa oculta de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN para el parámetro CUF<sub>P</sub>. Se observó que el valor con mejor resultado de la función objetivo del ensayo fue de dos neuronas, ya que a partir de tres neuronas el resultado seguía siendo el mismo (Ver Tabla 5.47, Tabla 5.48 y Figura.5.13). Igualmente se obtuvo lo mismo para el parámetro CUF<sub>EP</sub>, al obtener una función objetivo de mayor resultado con un número de dos neuronas. En las Tabla 5.47 y 5.48, se observa que al variar el número de neuronas en la capa oculta, para cada parámetro CUF<sub>P</sub> y CUF<sub>EP</sub>, los resultados en la función objetivo son los mismos.

NCO	CUFP	NCO	CUFP	NCO	CUFP
2	1499256,83	7	1499146,53	12	1499151,68
3	1499156,47	8	1499153,68	13	1499153,44
4	1499157,68	9	1499151,68	14	1499153,44
5	1499171,68	10	1499116,42	15	1499153,44
6	1499153,68	11	1499153,44		

**Tabla 5. 47.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CUPF**

NCO	CUFEP	NCO	CUFEP	NCO	CUFEP
2	1499256,83	7	1499146,53	12	1499151,68
3	1499156,47	8	1499153,68	13	1499153,44
4	1499157,68	9	1499151,68	14	1499153,44
5	1499171,68	10	1499116,42	15	1499153,44
6	1499153,68	11	1499153,44		

**Tabla 5. 48.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro CUFEP**



**Figura 5.13.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUFP y CUFEF**

Al ejecutar el MMI para cada parámetro CUFP y CUFEF, los resultados en función de la variación de las neuronas de la capa oculta fueron los mismos, pero en cambio, los resultados en las cantidades producidas de cada producto variaron. Se observó que para el parámetro CUFP la mayor producción fue en los tres primeros periodos (Ver Tabla 5.49 y Figura 5.14), en cambio para el parámetro CUFEF la producción fue más distribuida en función de los periodos (Tabla 5.50 y Figura 5.15). También se observó que para CUFP no hubo producción en los periodos cuatro y seis; pero en cambio para el parámetro CUFEF no hubo producción sólo en el periodo seis. Comparando estas cantidades de producción con las del MMD (Tabla 5.1), éstas fueron homogéneas con respecto a los periodos de producción.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	3107	8210	5552	0	3839	0	3953	3087
B	6724	17838	12527	0	5492	0	4365	4012
C	2586	6679	4514	0	2982	0	595	2665
D	1920	1194	1498	0	512	0	746	1245

**Tabla 5. 49.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUFP**

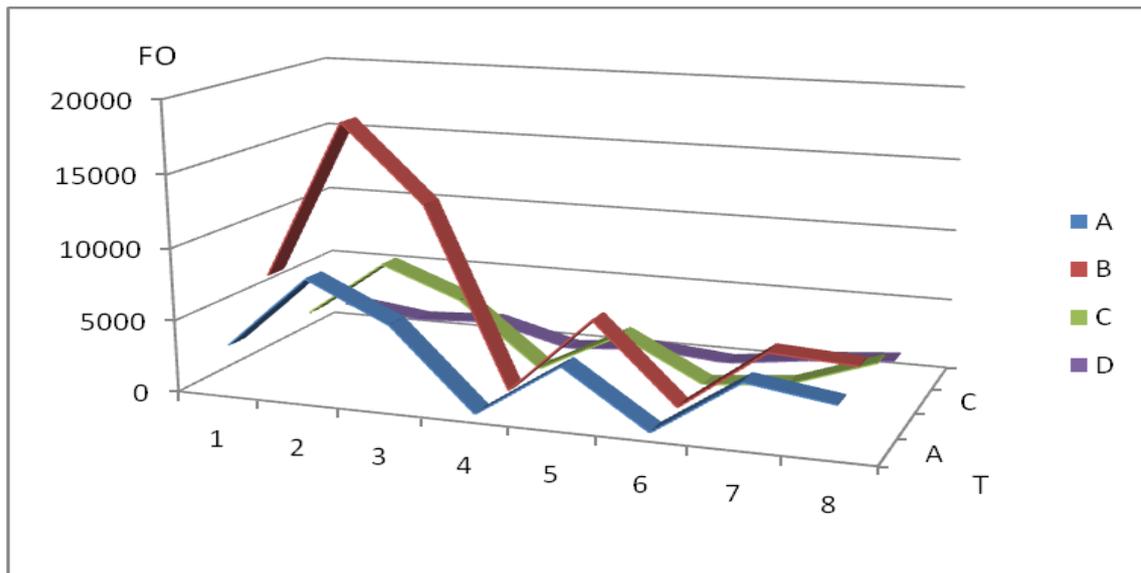


Figura 5.14.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUPF

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6838	4480	3712	1840	3839	0	7040	0
B	14850	9712	8132	4395	5492	0	8377	0
C	5613	3652	3007	1508	2982	0	3259	0
D	1920	1194	983	516	512	0	1991	0

Tabla 5. 50.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUFEP

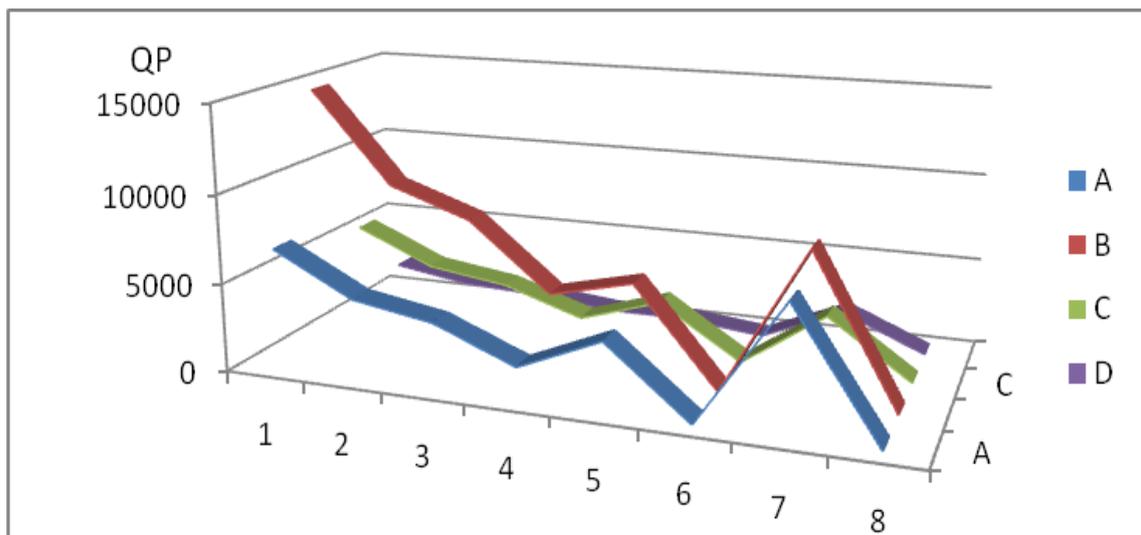


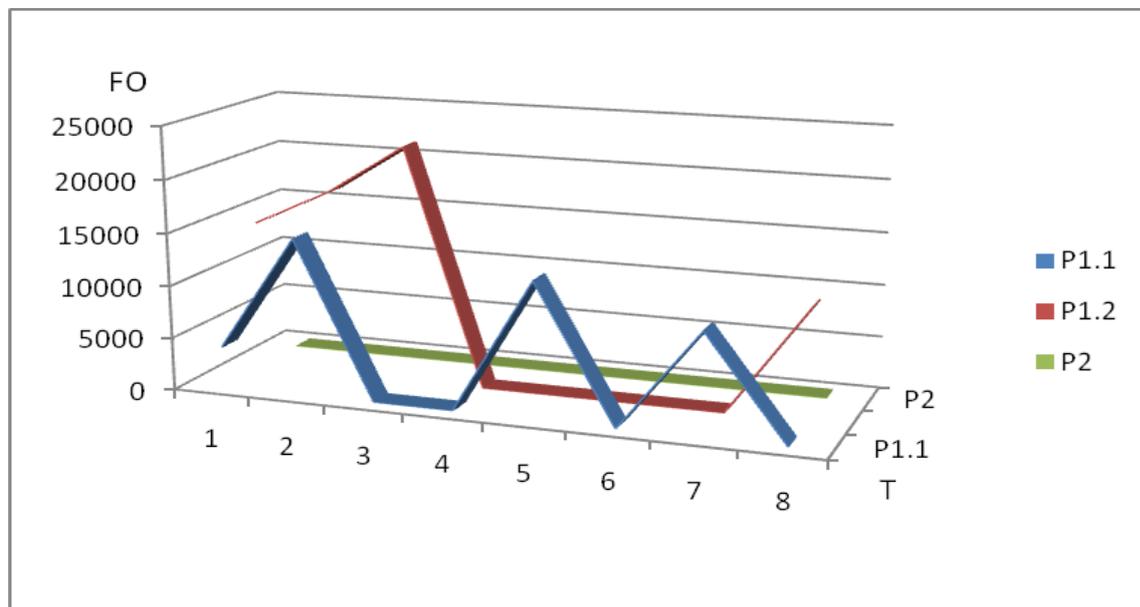
Figura 5.15.- Variación de la Cantidad de cada Producto en función del Periodo para el parámetro CUFEP

Comparando las cantidades producidas en cada Planta, al ejecutar los ensayos de los parámetros CUPF y CUFEP (Ver Tabla 5.51, Tabla 5.52, Figura 5.16 y Figura 5.17), se

observó que la mayor cantidad para ambos ensayos se hizo en la Planta P1.2. Por otra parte en el ensayo del parámetro CUPF, se obtuvo una producción más uniforme respecto a los periodos en la Planta 1.1, en cambio para el ensayo del parámetro CUFEP la producción se centró más en la Planta P1.2. De tal forma al comparar estos dos ensayos respecto a la del MMD (Figura 5.3), se observó que coincidieron al tener la mayor producción en la Planta P1.2, pero las cantidades cambiaban respecto a los periodos en cada una de ellas, debido a que, en cada ensayo, se definieron diferentes datos de entrada en cada la Red Neuronal. En este caso la cantidad de producción fue mayor que la del MMD.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	3900	14883	0	0	12825	0	9658	0
P1.2	14318	17844	22593	0	0	0	0	10621
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

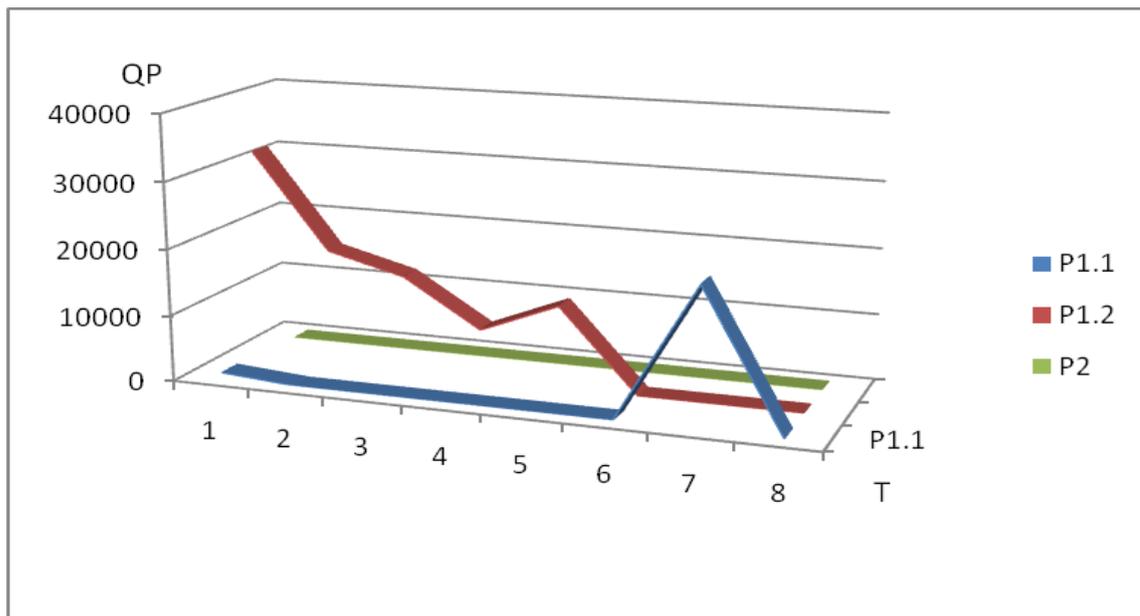
**Tabla 5.51.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUPF**



**Figura 5.16.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUPF**

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	854	0	0	0	0	0	20613	0
P1.2	32301	17844	14851	7743	12437	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5.52.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUFEP**



**Figura 5.17.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con el parámetro CUFEP**

Y por otra parte el ensayo del parámetro CUFEP generó un trabajo extra de dos mil productos en la Planta1.2, en el periodo 1 (Ver Tabla 5.53).

Plantas	RecursosProduccion	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

**Tabla 5.53.- Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con el parámetro CUFEP**

A la hora de comparar los costes y el margen de beneficios de los ensayos de cada parámetro, ya fuera CUFP o CUFEP (Ver Tabla 5.54 y Tabla 5.55), se observa que los valores son los mismos pero sus costes variaban en función de las cantidades producidas. Al comparar con el MMD (Tabla 5.4), se contempló que los costes y el margen de beneficios de estos ensayos eran mayores generando mayor producción.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	valor	Costes	valor	Costes	valor	Ventas	Valor	Beneficios	valor
CTFP	2689,5	CTMRR	55561,02	CTIPP	23,41	CTTDD	427,37	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	165,41	CDD2	0	VPPP	805989,48	ZP	782566,91
CTMGG	10,45	CTCDD	805989,48	CTIRR	84,89			VPDD	1509966,43	ZD	670945,6
CTMPP	116,29	CTCRR	1509966,43	CTTGG	670,6			VPRR	1591790,08	ZR	26177,74
CTMDD	32438,57	CTIGG	0	CTTPP	427,37						

**Tabla 5.54.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CUPF de la Plataforma SCAAN**

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	valor	Costes	valor	Costes	valor	Costes	valor	Ventas	valor	Beneficios	valor
CTFP	2708,76	CTMRR	55561,02	CTIPP	22,44	CTTDD	426,57	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	91,2	CDD2	0	VPPP	805989,48	ZP	782548,12
CTMGG	10,45	CTCDD	805989,48	CTIRR	69,92			VPDD	1509966,43	ZD	671020,61
CTMPP	116,29	CTCRR	1509966,43	CTTGG	670,6			VPRR	1591790,08	ZR	26192,71
CTMDD	32438,57	CTIGG	0	CTTPP	427,87						

**Tabla 5.55.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro CUFEP de la Plataforma SCAAN**

Al analizar el nivel de inventario para cada ensayo de los parámetros CUPF y CUFEP (ver Tabla 5.56, Tabla 5.57, Tabla 5.58 y Tabla 5.59), se observó que el producto de mayor nivel de inventario fue el D, siguiéndole los productos B, C y A.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta2	D	1	3180,339
Planta2	D	2	1986,278
Planta2	D	3	488,009
Planta2	D	4	488,009
Planta2	D	5	488,009
Planta2	D	6	488,009
Planta2	D	7	488,009

**Tabla 5.56.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF**

Distribuidores	Productos Finales	Periodos	NID
Distribuidor1	A	4	1940,084
Distribuidor1	B	4	4494,979
Distribuidor1	C	4	1607,869

**Tabla 5.57.- Nivel de inventario de cada Distribuidor ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF**

Detallistas	Productos Finales	Periodos	NIR
Detallista1	D	1	558,955
Detallista1	D	4	295,683
Detallista2	D	1	574,263
Detallista2	D	4	371,957

**Tabla 5.58.- Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CUPF**

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	C	1	154
Planta1	C	2	154
Planta1	C	3	154
Planta1	C	4	154
Planta1	C	5	154
Planta1	C	6	154
Planta2	D	1	3180,339
Planta2	D	2	1986,278
Planta2	D	3	1003,649
Planta2	D	4	488,009

**Tabla 5.59.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro**

### 5.3.3.3. Análisis de los Parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR (Costes por Unidad de Inventario en cada etapa de la CS)

En este apartado se hace referencia a los diferentes ensayos para cada uno de los parámetros de costes por unidad de inventario para la C/RS (CUIG, CUIP, CUID y CUIR). Se ha utilizado el procedimiento realizado en los apartados anteriores, variando los parámetros con incertidumbre y fijando las variables de Tasa de Aprendizaje y MSE, para luego variar el número de neuronas en la capa oculta de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN. Para los parámetros CUIG y CUIP, se observó que al variar el número de capas ocultas, se obtenían los mismos resultados en la función objetivo. Siendo dos el número de neuronas necesarias en la capa oculta. (Ver Tabla 5.60 y Figura 5.18).

Por otra parte, al ejecutar el ensayo del parámetro CUID (ver Tabla 5.61 Y Figura 5.19), se observó que, para cuatro neuronas en la capa oculta de la Red Neuronal, se obtuvo el mejor valor de la función objetivo. En cambio en la ejecución del parámetro CUIR (Tabla 5.62 y Figura 5.20), se llegó al mejor resultado de la función objetivo al llegar a las seis neuronas en la capa oculta.

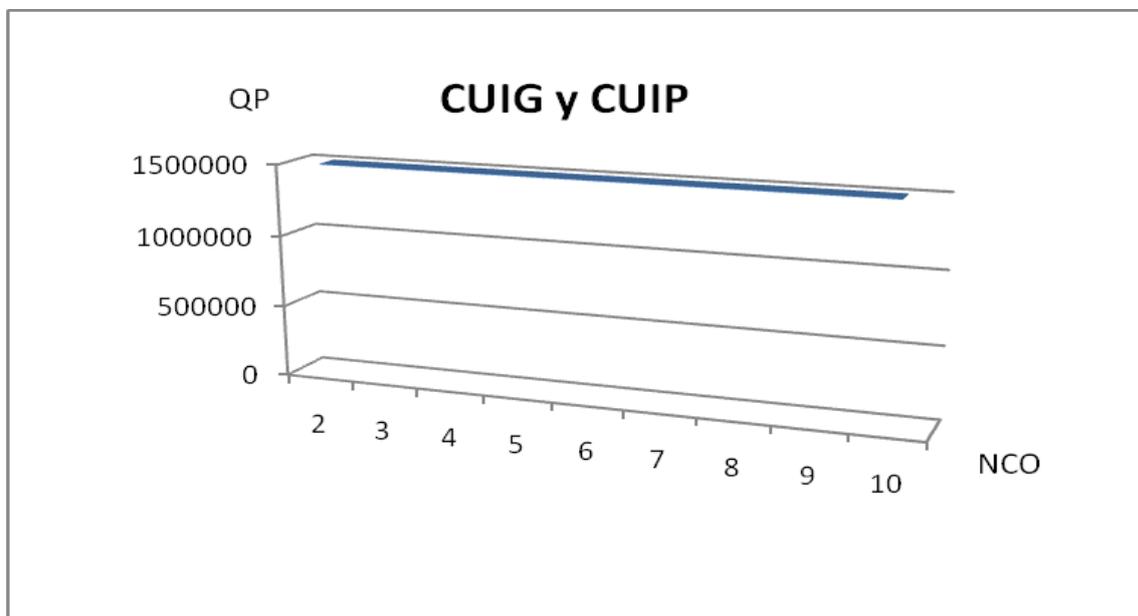
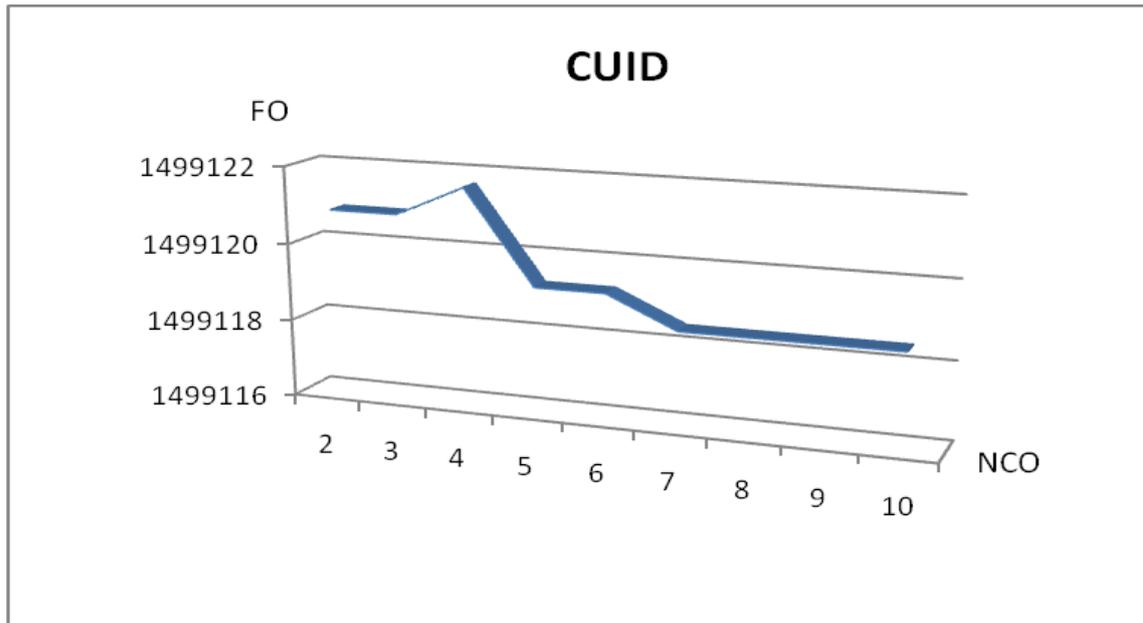


Figura 5.18.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIG y CUIP

NCO	CUIG y CUIP	NCO	CUIG y CUIP	NCO	CUIG y CUIP
2	1499118,45	5	1499118,45	8	1499118,45
3	1499118,45	6	1499118,45	9	1499118,45
4	1499118,45	7	1499118,45	10	1499118,45

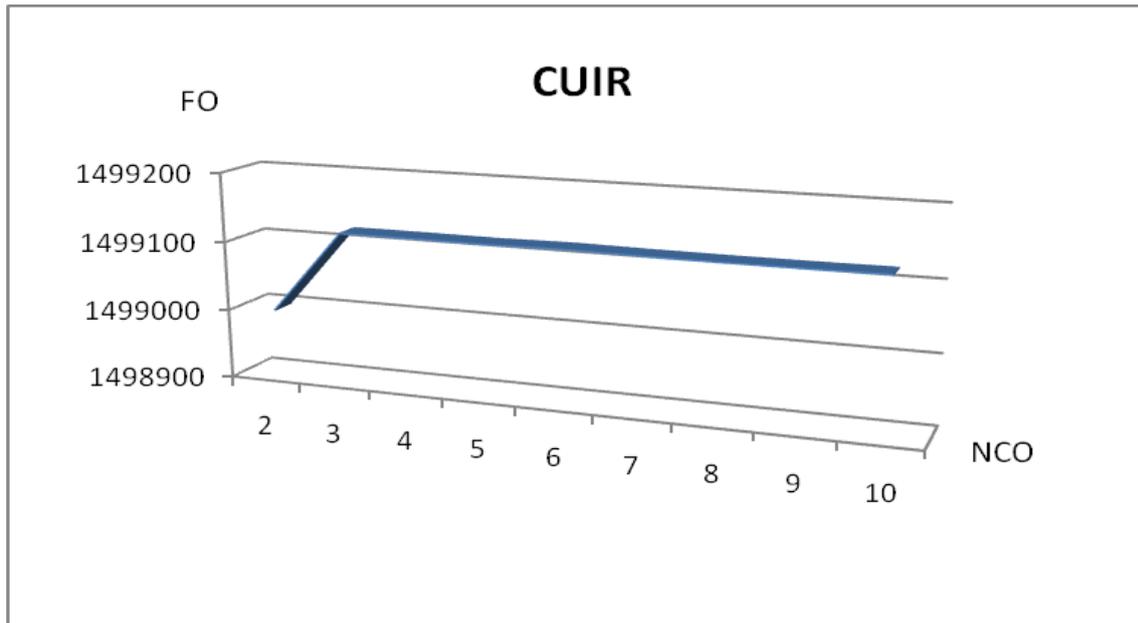
**Tabla 5.60. - Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIG y CUIP**



**Figura 5.19.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUID**

NCO	CUID	NCO	CUID	NCO	CUID
2	1499120,85	5	1499119,25	8	1499118,45
3	1499120,85	6	1499119,25	9	1499118,45
4	1499121,65	7	1499118,45	10	1499118,45

**Tabla 5.61- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUID**



**Figura 5.20.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIR**

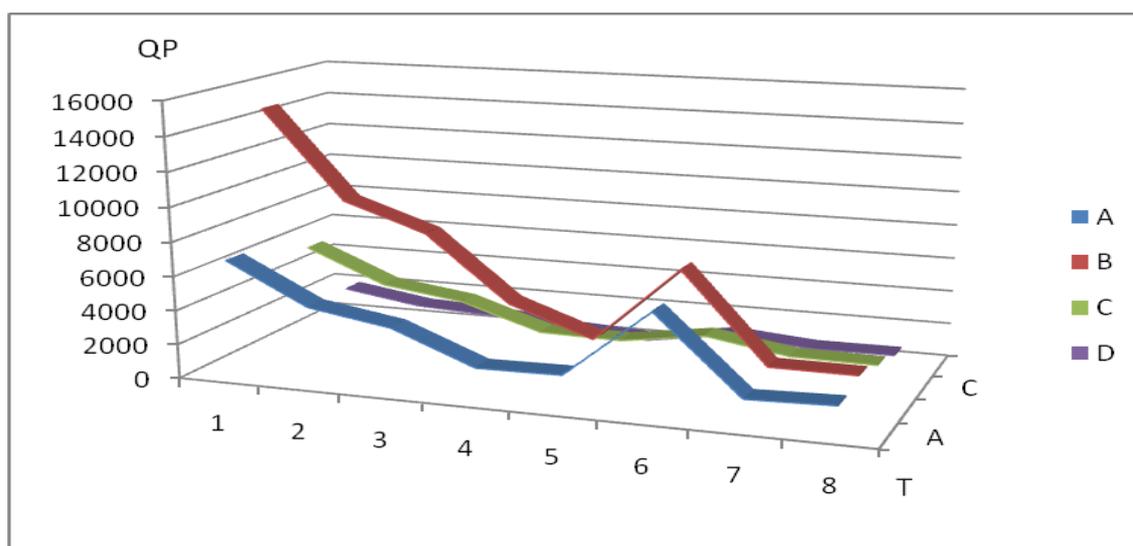
NCO	CUIR	NCO	CUIR	NCO	CUIR
2	1498996,96	7	1499117,24	12	1499116,63
3	1499117,84	8	1499116,63	13	1499116,63
4	1499117,84	9	1499116,63	14	1499116,63
5	1499117,24	10	1499117,24	15	1499116,63
6	1499118,45	11	1499116,63		

**Tabla 5.62.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros CUIR**

A la hora de ejecutar el MMI para cada uno de los parámetros de coste de nivel de inventario, los resultados que se obtuvieron en función a la variación de las neuronas de la capa oculta fueron los mismos para CUIG y CUIP, y cambiaron para CUID y CUIR. Además los resultados en las cantidades producidas para cada producto fueron las mismas en todas las ejecuciones de estos parámetros de costes de nivel de inventario (Ver Tabla 5.63 y Figura 5.21). Al comparar estas cantidades producidas con las del MMD (Tabla 5.1), se observa que, en este caso, hubo producción en todos los periodos. La mayor producción se hizo en los primeros cuatro periodos. Esto fue debido a que los valores de entrada en la Red Neuronal fueron valores muy reducidos, no afectando la producción de productos en estos ensayos.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6838	4480	3712	1840	1902	5889	1525	1562
B	14850	9712	8132	4395	2714	7143	2016	1995
C	5613	3652	3006	1507	1430	2147	1363	1302
D	1920	1194	983	516	248	1010	613	632

**Tabla 5.63.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR**

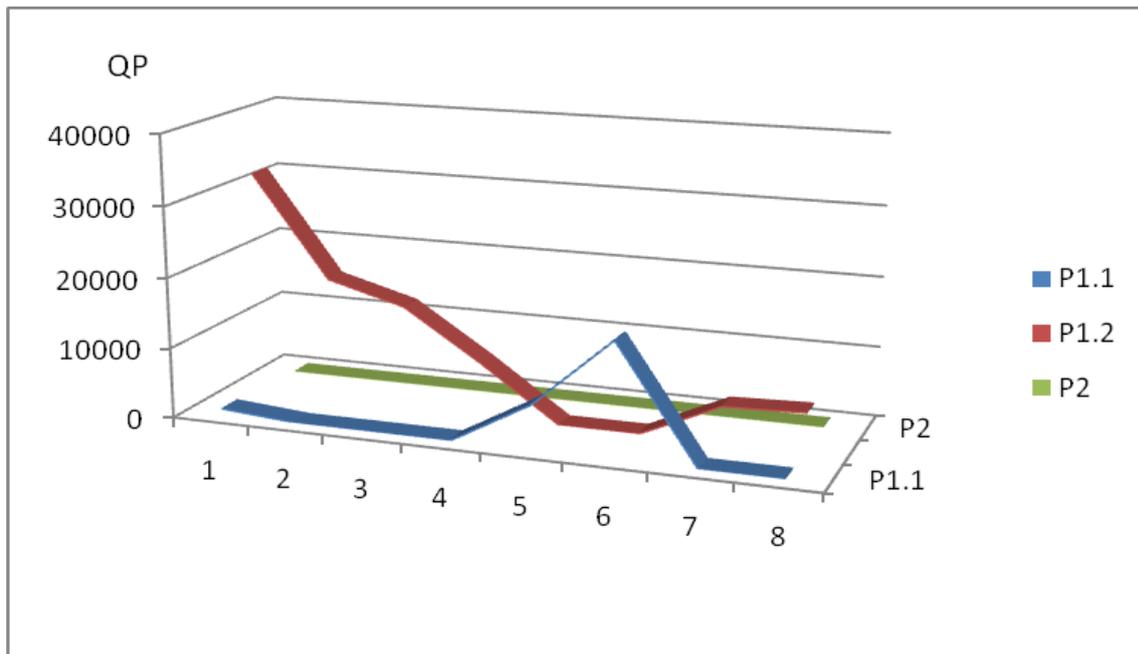


**Figura 5.21.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR**

En lo que se refiere a los productos producidos en cada planta, al realizar el ensayo con los parámetros de costes de inventario (ver Tabla 5.64 y Figura 5.22), se obtuvieron los mismos resultados para cada parámetro. También se observó que la mayor cantidad de productos producidos en estos ensayos se realizó en la Planta P1.2, y la menor producción fue en la Planta 1.1. Al comparar estos ensayos, con los del MMD (Figura 5.3), se contempló que la mayor producción de estos se realizó en la Planta P1.2, pero en cambio para el MMD, la cantidad de producción y margen de beneficios fue menor.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	854	0	0	0	6241	16189	0	0
P1.2	32301	17844	14850	7743	0	0	5130	5491
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5.64.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIO, CUID y CUIR**



**Figura 5.22.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR**

En el ensayo de este apartado, al usar y variar los parámetros con incertidumbre CUIG, CUIP, CUID y CUIR, se generó una producción extra de dos mil productos en la Planta1.2, en el periodo 1 (Tabla 5.65).

Plantas	Recursos Producción	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

**Tabla 5.65.- Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis con los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR**

Al analizar los costes y beneficios, se observó que los resultados de estos cuatro parámetros (CUIG, CUIP, CUID y CUIR) son los mismos. Esto fue debido a que los valores de entrada y valores esperados de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN son valores muy pequeños, afectando en lo mínimo a las soluciones del MMI. Al comparar los resultados de los costes y margen de beneficios de este ensayo con los del MMD (Tabla 5.4), se verificó que los de este ensayo (Tabla 5.66) generan mayor producción y margen de beneficios.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	Valor	Costes	valor	Costes	valor	Ventas	valor	Beneficios	valor
CTFP	2841	CTMRR	55561,02	CTIPP	23,88	CTTDD	426,57	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	94,4	CDD2	0	VPPP	805989,49	ZP	782412,94
CTMGG	10,45	CTCDD	805989,49	CTIRR	69,92			VPDD	1509966,43	ZD	671017,41
CTMPP	116,29	CTCRR	1509966,43	CTTGG	670,6			VPRR	1591790,08	ZR	26192,71
CTMDD	32438,57	CTIGG	0	CTTPP	429,37						

**Tabla 5.66.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando los parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR de la Plataforma SCAAN**

Y finalizando este apartado se analiza los niveles de inventario, observando que se genera inventario en las Platas P1.1 y P1.2 de los productos C y D (ver Tabla 5.67). Siendo el producto D, el que tiene mayor inventario.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	C	1	154
Planta1	C	2	154
Planta1	C	3	154
Planta1	C	4	154
Planta2	D	1	3180,339
Planta2	D	2	1986,278
Planta2	D	3	1003,649
Planta2	D	4	488,009
Planta2	D	5	488,009
Planta2	D	6	488,009

**Tabla 5.67.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con los parámetro CUIG, CUIP, CUID y CUIR**

#### 5.3.3.4. Análisis de los Parámetros MQFN y MQFE (Maxima Cantidad de Fabricación en Tiempo Regular y en Tiempo Extra)

En este apartado se realizaron los diferentes ensayos para saber qué número de neuronas de la capa oculta era mejor para cada uno de los parámetros de máxima cantidad de fabricación en tiempo regular y en tiempo extra (Ver Tabla 5.68 y Figura 5.23) en el MMI. Al fijar los valores de Tasa de Aprendizaje y MSE, y modificar el número de neuronas en la capa oculta de la Red Neuronal de la Plataforma SCANN, se observó que al variar el número de éstas (Ver Tabla 5.68 y Figura.5.23), el resultado de la función objetivo seguía siendo el mismo. Por lo tanto se utilizaron dos neuronas para el ensayo de todos los parámetros con incertidumbre. Al comparar estas ejecuciones con la de costes de nivel de inventario, se detectó que los valores de función objetivo fueron diferentes en algunos casos debido a que los valores de las entradas de cada parámetro de la Red Neuronal eran muy bajos.

NCO	FO	NCO	FO	NCO	FO
2	1499116,63	5	1499116,63	8	1499116,63
3	1499116,63	6	1499116,63	9	1499116,63
4	1499116,63	7	1499116,63	10	1499116,63

Tabla 5.68.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros MQFN y MQFE

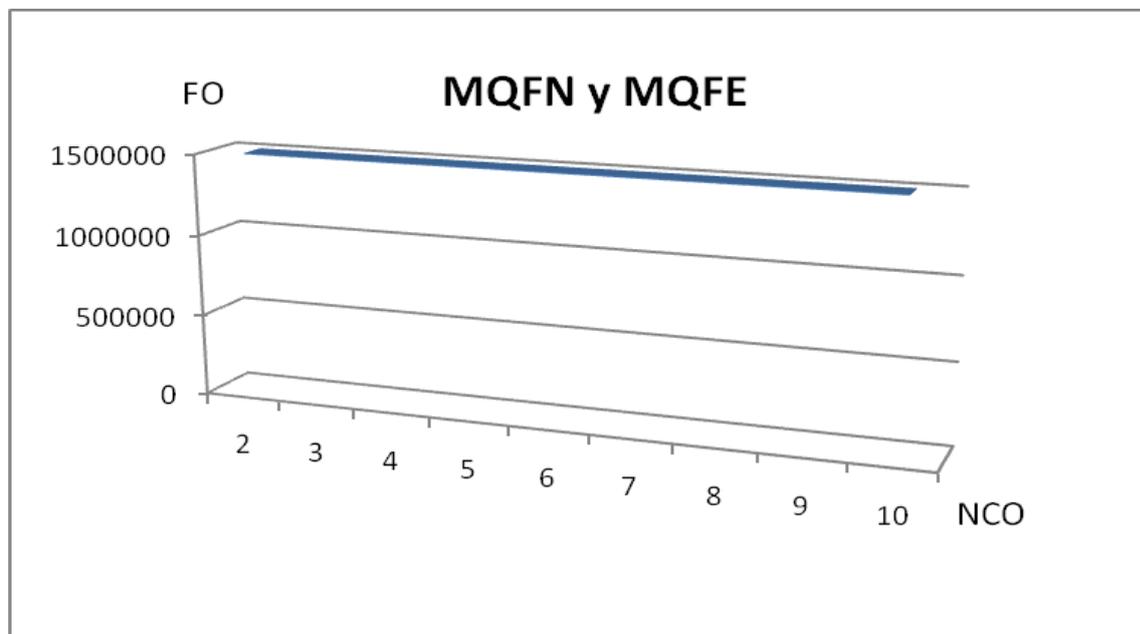


Figura 5.23.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta de los parámetros MQFN y MQFE

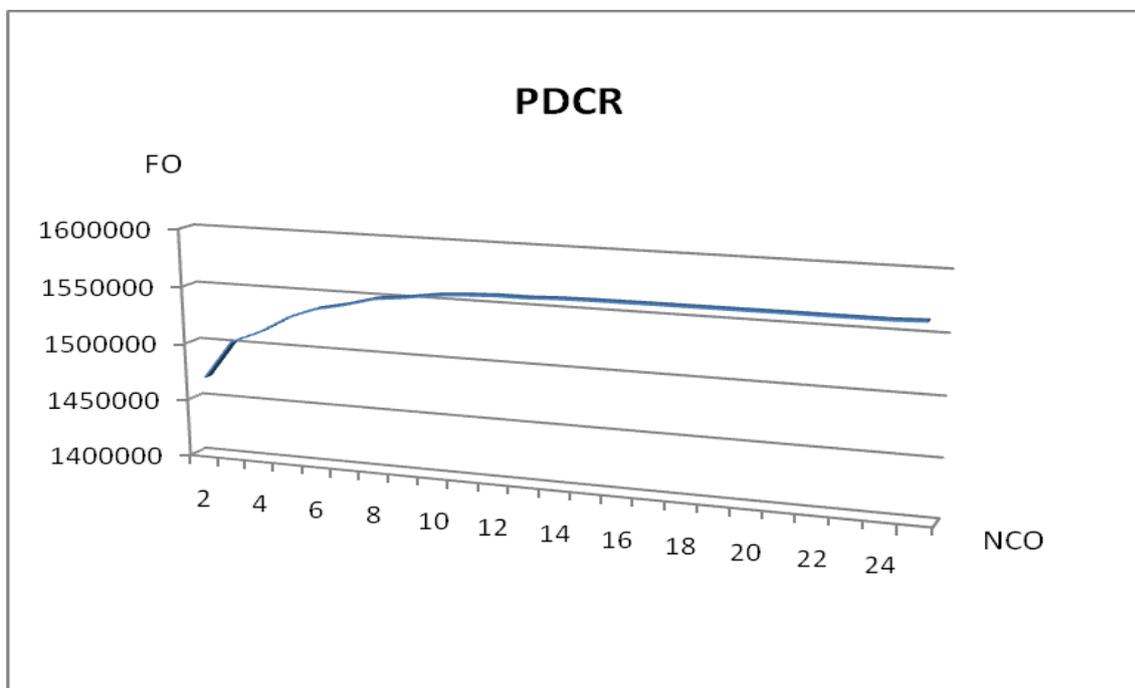
Por otra parte, las cantidades de producción en cada planta para cada producto en cada periodo (ver Figura 5.21 y Figura 5.22) fueron iguales a las producidas en el apartado anterior (5.3.3.3). Respecto a los costes y margen de beneficios, estas ejecuciones generaron los mismos resultados que los hechos en los diferentes ensayos de costes de nivel inventario. Esto se debe a que los valores de los parámetros de máxima cantidad de fabricación en tiempo regular y en tiempo extra fueron mínimos y no afectaban la producción, así obteniendo valores iguales en costes y margen de beneficios.

**5.3.3.5. Análisis del parametro PDCR (Pronóstico de Demanda)**

En este apartado se hace el análisis del Parámetro PDCR. Para esto se utilizó el método realizado en los apartados previos, el cual se realizo variando los parámetros con incertidumbre y fijando los valores de Tasa de Aprendizaje y MSE. De tal manera, se empezó a variar el número de neuronas hasta obtener el valor con mayor resultado en la función objetivo. Observando que diecinueve fue el número de neuronas en la capa oculta (ver Tabla 5.69 y Figura.5.24). Así se observa que para este ensayo, la función objetivo está en función del número de neuronas, la cual varía de forma ascendente hasta llegar un valor máximo.

NCO	PDCR								
2	1469389,79	7	1542138,05	12	1558333,03	17	1559986,14	22	1560118,9
3	1502736,63	8	1548968,13	13	1558310,94	18	1559972,64	23	1560130,86
4	1513132,42	9	1551670,48	14	1559331,76	19	1561191,91	24	1560148,37
5	1527654,12	10	1555441,41	15	1559722,13	20	1560093,67	25	1561185,11
6	1536924,31	11	1557303,61	16	1559787,11	21	1560177,05		

**Tabla 5.69- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro PDCR**

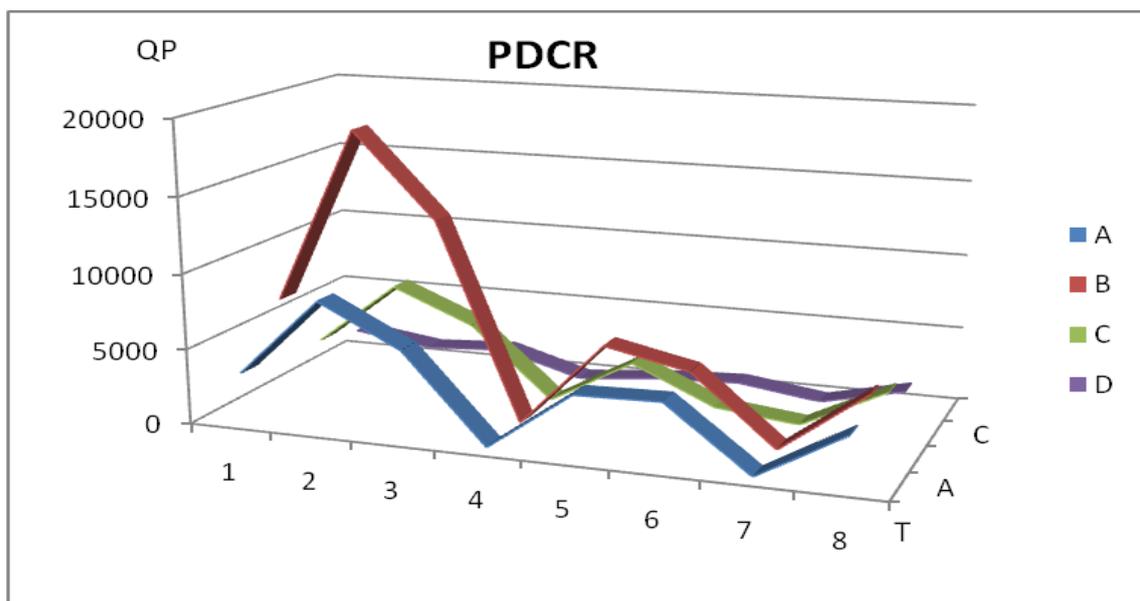


**Figura 5.24.- Variación de la Función Objetivo en función de la variación de neuronas de la capa oculta del parámetro PDCR**

Al observar la Tabla 5.70 y Figura 5.25, se verificó que la cantidad de productos (A, B, C y D) producidos se concentran más en los primeros cuatro periodos. Comparando estos resultados con los del MMD (Figura 5.2), la cantidades producidas fueron proporcionales, pero teniendo más producción de productos en esta ejecución. También se observó que, en los periodos cuatro y siete no había fabricación (ver Figura 5.25). Al comparar las cantidades producidas de este ensayo con las del MMD, ésta última no tenía fabricación en el periodo seis debido a los cambios de distribución en la producción de productos.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	3236	8513	5796	0	4005	4137	0	3209
B	6905	18613	13043	0	5707	4541	0	4193
C	2683	6947	4720	0	3094	619	0	2774
D	1986	1234	1559	0	534	776	0	1279

**Tabla 5.70.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR**

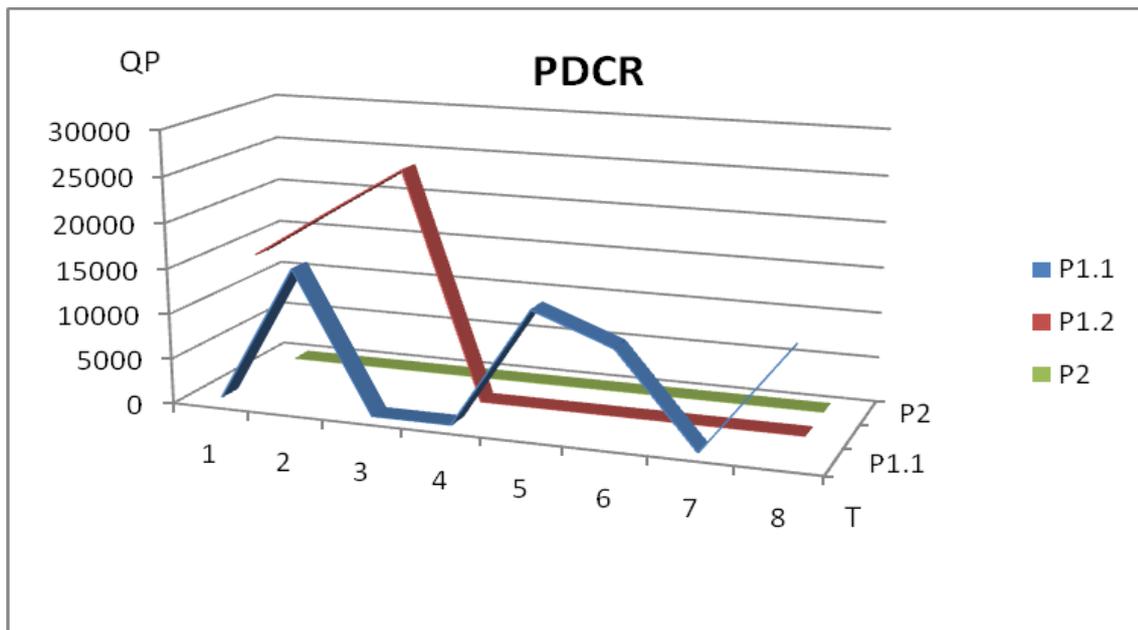


**Figura 5.25.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR**

En relación a la cantidad de productos producidos en cada Planta (ver Tabla 5.71 y Figura 5.26), se observó que la mayor cantidad producida de productos se hizo en la Planta P1.2, aunque, en este ensayo, la producción fue más distribuida en las dos Plantas.

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	400	15471	0	0	13339	10073	0	11454
P1.2	14409	19838	25118	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5.71.- .Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR**



**Figura 5.26.- .Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para los resultados del parámetro PDCR**

Como en ensayos anteriores la mayoría de estos genera una producción extra de dos mil productos en la Planta1.2, en el periodo uno (Ver Tabla 5.72).

Plantas	Recursos Produccion	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

**Tabla 5.72.- .Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis del parámetro PDCR**

Al comparar los costes y margen de beneficios del parámetro PDCR con los del MMD (Tabla 5.4), se detectó que los primeros fueron mayores (ver Tabla 5.73). También es importante mencionar que, en esta ejecución, la función objetivo fue mayor que la de ensayos anteriores, ya sean de tasa de aprendizaje, MSE, y de todos los parámetros con incertidumbre. Esto es debido a que éste parámetro de diferir demanda afecta mucho más los resultados, ya que los datos de diferir demanda son necesarios para ejecutar el modelo de planificación.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	Valor	Costes	valor	Costes	valor	Costes	valor	Venta s	valor	Beneficios	Valor
CTFP	2841	CTMR R	57809,74	CTIPP	21,9	CTTDD	444,0 1	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	173,3 6	CDD2	0	VPPP	838569,3	ZP	814975,4 4
CTMG G	10,45	CTCDD	838569,3	CTIRR	87,33			VPDD	1571371,47	ZD	698431,0 8
CTMPP	120,55	CTCRR	1571371,47	CTTGG	670,6			VPRR	1656408,53	ZR	27139,99
CTMD D	33753,7 2	CTIGG	0	CTTPP	444,4 1						

**Tabla 5.73.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo variando el parámetro PDCR de la Plataforma SCAAN**

Lo último a tener en cuenta para esta ejecución es el nivel de inventario generado (Tabla 5.74, Tabla 5.75 y Tabla 5.76) por el MMI, y se observa que el producto de mayor nivel de inventario para la Planta, Distribuidor y Detallista, fue el producto D, siguiéndole los productos B, A y C. Siendo esta ejecución muy similar a las anteriores donde generaron casi siempre nivel de inventario para D y generando nivel de inventario para los otros productos en pocas proporciones.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	C	1	154
Planta2	D	1	3114,129
Planta2	D	2	1880,309
Planta2	D	3	321,426
Planta2	D	4	321,426
Planta2	D	5	321,426
Planta2	D	6	321,426
Planta2	D	7	321,426
Planta2	D	8	321,426

**Tabla 5.74.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR**

Distribuidores	Productos Finales	Periodos	NID
Distribuidor1	A	4	2017,879
Distribuidor1	B	4	4677,881
Distribuidor1	C	4	1676,834

**Tabla 5.75.- Nivel de inventario de cada Distribuidor ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR**

Detallistas	Productos Finales	Periodos	NIR
Detallista1	D	1	577,989
Detallista1	D	4	305,99
Detallista2	D	1	592,995
Detallista2	D	4	385,987

**Tabla 5.76.- Nivel de inventario de cada Detallista ejecutando la plataforma SCANN con el parámetro CDR**

### 5.3.4. Análisis teniendo en cuenta todos los parámetros con incertidumbre para el MMI

Al realizar este análisis se han tenido en cuenta las evaluaciones de los ensayos anteriores hechos en el apartado 5.3.3 (estos para determinar el número de neuronas de la capa oculta de la Red Neuronal), para cada parámetro con incertidumbre. Se observa en la Tabla 5.77 como para cada parámetro con incertidumbre se tiene su número mejor de neuronas para cada capa oculta en cada Red Neuronal de la Plataforma SCANN.

CDR	CUFP	CUFEP	CUIG	CUIP	CUID	CUIR	MQFN	MQFE	PDCR
10	2	2	2	2	4	6	2	2	19

**Tabla 5.77.- Número de neuronas para cada parámetro con incertidumbre**

A partir de los valores indicados para cada neurona de la capa oculta, se ejecutó el ensayo del MMI obteniendo los resultados que se exponen en los siguientes apartados.

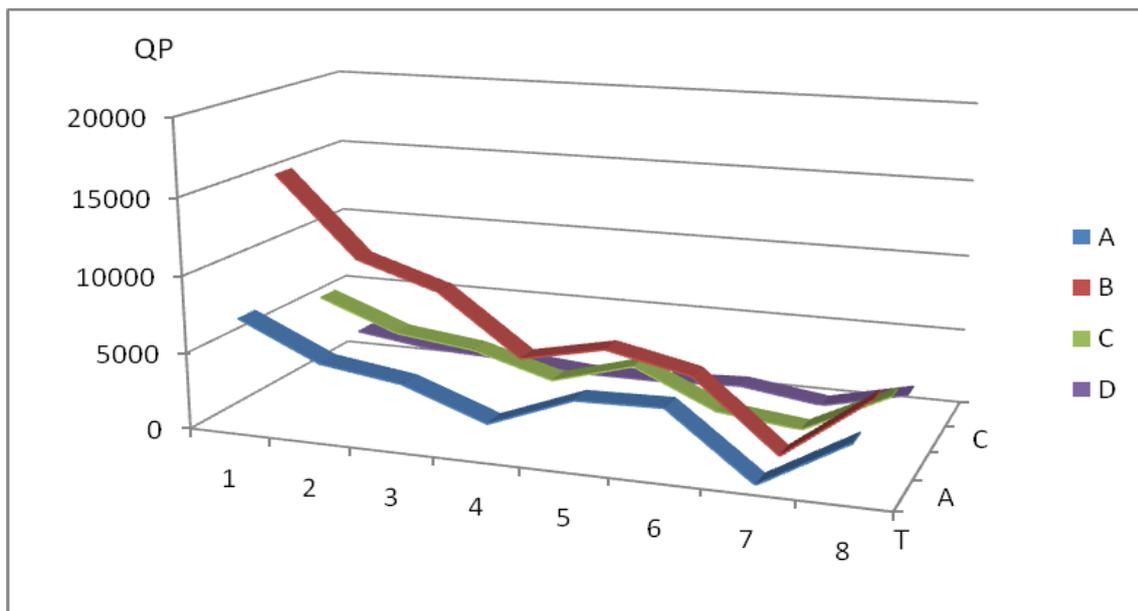
Lo más importante en este apartado es que se describe el ensayo a fin de evaluar la metodología. Además, se pretende analizar las ventajas y eficacia de las aportaciones, del MMI comparándolo con el MMD, esto gracias a la Plataforma SCANN.

Al ejecutar el MMI con los datos expuestos en el apartado 5.3.3 de este proyecto de investigación. Se emplearon los valores obtenidos del número de neuronas de capa oculta de las Redes Neuronales de los ensayos anteriores para los parámetros con incertidumbre, y también los valores fijos ya determinados de tasa de aprendizaje y error cuadrático medio.

Las cantidades producidas de los productos terminados se muestran en la Tabla 5.78 y Figura 5.27. Se detecta que la producción de cada producto fue en forma decreciente con respecto a los periodos, y se observa que la producción era equilibrada para cada producto, además el producto con más demanda de producción fue el B, siguiéndoles los productos A, C y D. Comparando el ensayo de todos los parámetros con incertidumbre con el del MMD (Tabla 5.1 y Figura 5.2) se detecta que, en este último, la producción en cada producto se realizó con más picos de producción y con caídas de producción a cero.

Productos	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7096	4652	3879	1918	4005	4138	0	3209
B	15370	10148	8466	4578	5707	4541	0	4193
C	5826	3804	3143	1577	3094	619	0	2774
D	1986	1234	1019	540	534	776	0	1279

**Tabla 5.78.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultados con los parámetros inciertos**

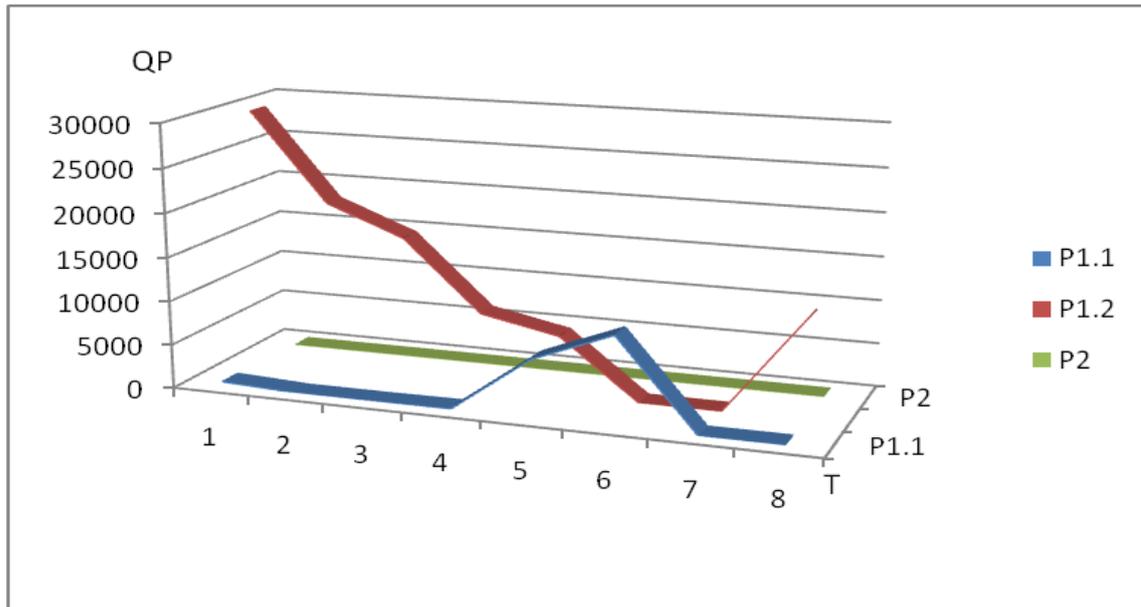


**Figura 5.27.- Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultados con los parámetros inciertos**

Para los productos producidos en cada Planta (ver Tabla 5.79 y Figura 5.28), se observó que la mayor cantidad de estos se realizó en la Planta P1.2, siendo así, la producción más distribuida a lo largo de los periodos establecidos en este análisis. Por otra parte, la producción en la Planta P1.1 es menor. De tal forma al comparar este ensayo, con el del MMD (Figura 5.3), se detectó que se presentaron picos de producción en ambas Plantas para los dos ensayos. Lo más importante de ésta comparación fue que el MMI mejoro su función objetivo respecto a la solución del MMD

Plantas	Periodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P1.1	400	0	0	59	6570	10073	0	0
P1.2	29879	19837	16506	8558	6769	0	0	11454
P2	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 5.79.- .Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con los parámetros inciertos**



**Figura 5.28.- .Cantidad Producida por cada Planta en función del Periodo para el resultado con los parámetros inciertos**

Al comparar esta ejecución del MMI (Tabla 5.80) respecto a las cantidades producidas en tiempo extra, con las del MMD, se observó que esta última no genera cantidades producidas en tiempo extra. Esto debido a que el MPL busca la mejor solución a partir de LPSOLVER y por lo cual, genera diferentes soluciones que se ajusten a los datos de entrada. Comparando esta ejecución con los ensayos de cada parámetro con incertidumbre, se detecto como la mayoría genero una producción extra de dos mil productos en la Planta1.2, en el periodo 1.

Plantas	Recursos Produccion	Productos Finales	Periodos	QPE
Planta2	J3	A	1	2000

**Tabla 5.80.- Cantidad de producir en tiempo extra en la ejecución para el análisis de los parámetros con incertidumbre**

En lo que se refiere a la comparación de los costes y margen de beneficios de los MMI (Tabla 5.81) respecto a los MMD (Tabla 5.4), se detectó que los costes de ambos varían, siendo los costes CTID y CTIR menores pero el resto mayores que los del MMD. Además los valores de costes y ventas son iguales para los dos modelos (CTSP, CTMG, CTCPP, CTIG, CTTG, VPG y ZG). Esto se debe a que los parámetros con incertidumbre no afectan estos valores, porque la solución desarrollada por LPSOLVER requiere que permanezcan teniendo los mismos resultados.

Costes y beneficios de cada etapa de la R/CS											
Costes	valor	Costes	Valor	Costes	valor	Costes	valor	Ventas	valor	Beneficios	Valor
CTFP	2667,41	CTMRR	57809,5	CTIPP	21,32	CTTDD	444,41	VPGG	20166	ZG	19495,4
CTSP	0	CTCPP	20166	CTIDD	92	CDD2	0	VPPP	838567,97	ZP	815146,79
CTMGG	10,45	CTCDD	838567,97	CTIRR	69,92			VPDD	1571367,68	ZD	698509,72
CTMPP	120,55	CTCRR	1571367,68	CTTGG	670,6			VPRR	1656404,39	ZR	27157,29
CTMDD	33753,59	CTIGG	0	CTTPP	445,91						

**Tabla 5.81.- Costes y Beneficios ejecutando el modelo con los valores fijos de neuronas en la capa oculta de todos los parámetros con incertidumbre**

De esta manera se observa que el MMI generó niveles de inventario en las Plantas P1.1 y P1.2 (Tabla 5.82). Y como en los ensayos anteriores se observó que el producto D fue el de mayor nivel de inventario.

Plantas	Productos Finales	Periodos	NIP
Planta1	C	1	154
Planta1	C	2	154
Planta1	C	3	154
Planta2	D	1	3114,1
Planta2	D	2	1880,182
Planta2	D	3	861,241
Planta2	D	4	321,301

**Tabla 5.82.- Nivel de inventario de cada Planta ejecutando la plataforma SCANN con todos los parámetros con incertidumbre**

#### 5.4. Conclusiones

Lo que se refiere al ensayo del MMD (apartado 5.2), se observa que la producción es mayor en los primeros cuatro periodos, esto debido al pronóstico de demanda tenido en cuenta a la hora de ejecutar el modelo. Por otra parte, no hubo subcontratación de producción en el modelo.

En cuanto a la cantidad de producción, el MMD demostró ser muy útil, ya que el pronóstico de demanda se ajustó a las capacidades obtenidas. Además, si se quisiera, se puede hacer un cambio de cantidades en cualquier periodo del horizonte de planificación.

Un aspecto no analizado por su efecto evidente fue el de transporte, ya que es una empresa subcontratada la que se encarga de esto. Los costes de transporte están en función de las cantidades transportadas de cada etapa de la C/RS. Los costes de transporte van en el modelo como datos fijos para cada producto y medio de transporte, al analizar los incrementos de estos, se comprobó que no inciden mayormente en los resultados.

Por otra parte el ensayo realizado para el análisis de la tasa de aprendizaje (apartado 5.3.2.1), ayudó a determinar qué valor era el más adecuado para éste análisis. Se observó que el valor de TA era bajo y por tanto la velocidad de aprendizaje era lenta, si el valor era alto, aparecieron efectos oscilatorios. Por lo tanto, se hicieron diferentes pruebas para definir un valor de TA más adecuado para el análisis de éste apartado. Teniendo en cuenta que el algoritmo de la Red Neuronal, requiere que las modificaciones en los pesos de las conexiones, sean infinitésimos. Para los efectos prácticos, los valores finitos son suficientes para obtener la convergencia, así la tasa de aprendizaje indica cuando cambian los pesos.

Lo que se refiere al método de mínimos cuadrados, un requisito implícito para que funcionara éste (apartado 5.3.2.2), era que los errores de cada iteración fueran cada vez menores para obtener una mejor solución. También fue importante que los datos de salida recogidos para cada Red Neuronal estuvieran bien seleccionados, para que permitieran soluciones más acordes al planteamiento del problema (para dar más peso a un dato en particular).

Ya encontrada la solución que mejor se aproximó a los datos (de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático y a partir de una serie de pruebas, donde el mejor valor fue 0,91), el cual fue determinado por el mayor valor de la función objetivo para obtener el mejor margen de beneficios del modelo, y así poder continuar con los ensayos de los parámetros con incertidumbre.

Teniendo los valores de ajuste (TA y MSE) de la Red Neuronal (apartados 5.3.2.1 y 5.3.2.2), se analizó cada parámetro con incertidumbre (apartado 5.3.3), permitiendo así observar la bondad del algoritmo backpropagation, para determinar el tamaño de la Red Neuronal, en lo que se refiere a la capa oculta. A partir de estas consideraciones se obtiene el número de neuronas para cada parámetro con incertidumbre a partir de los ensayos anteriores (apartado 5.3.3). Esto para ejecutar el ensayo del MMI y así obtener una mejor solución para compararla con la del MMD. Por lo cual se observó mejores resultados para el MMI, en cuanto a la función objetivo, margen de beneficios, costes y cantidades de productos.

El algoritmo Back-propagation de la Red Neuronal ha demostrado converger rápidamente en los diferentes ensayos, teniendo un MSE mínimo.

La implantación de la Plataforma SCANN fue eficiente porque los tiempos de entrenamiento y de simulación de las redes neuronales fueron menores o iguales que el tiempo utilizado para calcular las respuestas del MMD y MMI.

La aplicación de esta metodología, da un gran paso a la utilización de las Redes Neuronales en las Cadenas/Redes de Suministro. Esto a partir de la Plataforma Informática, la cual trabajó de forma estable con el Modelo Matemático Determinista (MMD) y Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI) cumpliendo el planteamiento tenido en cuenta del Capítulo 3, el cual era incorporarle incertidumbre a los parámetros del MMD, dentro del modelo de optimización, que representaron un mejoramiento en la Cadena/Red de Suministro del caso del sector cerámico, comparándolo con el MMD.

Por último el MMI de la Plataforma SCANN incorpora de manera eficaz la incertidumbre asociada a los valores de los costes y a los parámetros del problema.

### 5.5. Referencias

18th Annual State of Logistics Report "The New Face of Logistics" (2007). National Press Club, Washington, DC. Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP).

ASCER, (2004). Informe de los sectores español y mundial de fabricantes de baldosas cerámicas [Informe].- Castellón: ASCER, 2004.

Chen, H. C., Wee, H. M., Wang, K-J, y Hsieh, Y.-H., (2007). Using Artificial Network in Multi-Agent Supply Chain Systems. Third International Conference on Natural Computation (ICNC). IEEE COMPUTER SOCIETY.

Kumar, S. y Arbi, A.S., (2008). Outsourcing strategies for apparel manufacture: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(1), 73-91.

Mena, N., Lario, F.C., y Vicens, E., (2008). Metodologías de Modelado para la Toma de Decisiones en la Red/Cadena de Suministro en el Contexto de Incertidumbre.; 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Burgos.

Peidro, D., Mula, J. y Poler, R., (2007). Supply chain planning under uncertainty: a fuzzy linear programming approach. *Fuzzy Systems Conference. FUZZ-IEEE 2007. IEEE International. July 2007. Page(s): 1-6.*

Proyecto RdS-2V.RDSINC, (2004). Metodología Jerárquica en Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico.

Verikas, A., Malmqvist, K. y Bacauskiene, M., (2000). "Combining Neural Networks, Fuzzy Sets, and Evidence Theory Based Approaches for Analyzing Color Images," *ijcnn*, vol. 2, pp.2297, IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'00)-Volume 2.

Wienholt, W., (1994). Minimizing the system error in feedforward neural networks with evolutionary strategy. In *ICANN94, Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks*; Springer

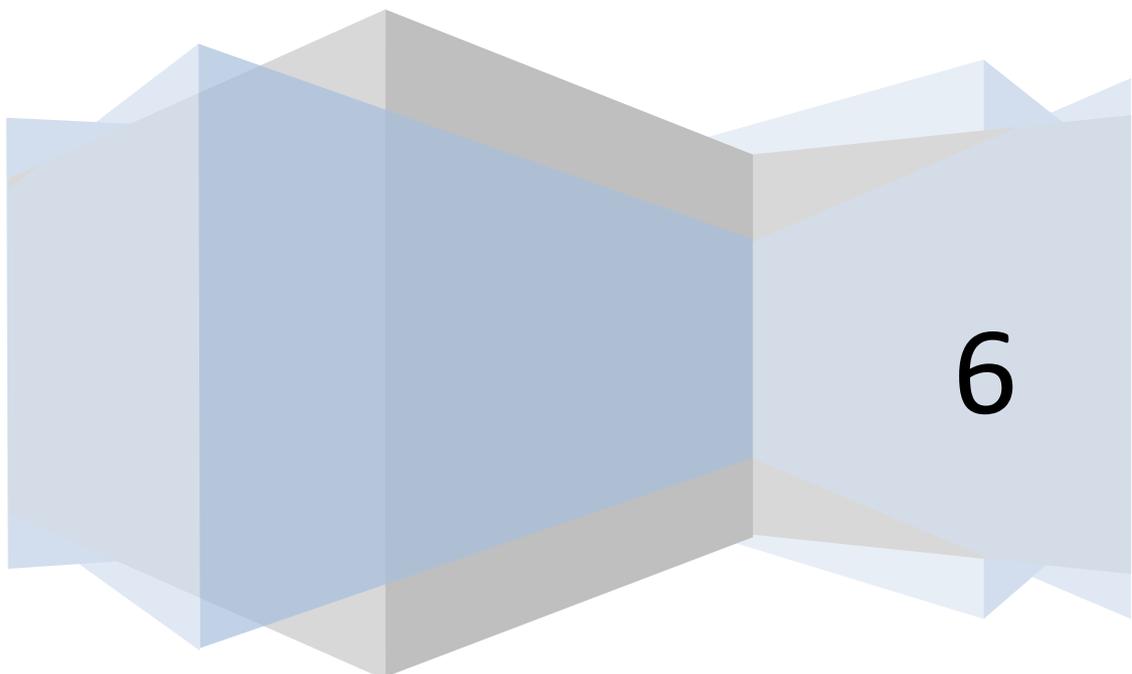
WALPOLE, Myers y Myers, (1998). "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", Edit. Prentice Hall, México.

Yildirim, M. B., Cakar, T., Doguc, U., y Meza, J. C. (2006). Machine number, priority rule, and due date determination in flexible manufacturing systems using artificial neural networks. *Comput. Ind. Eng.* 50, 1-2 (May. 2006), 185-194.



**Universidad Politécnica de Valencia**

# **Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación**



**ÍNDICE**

<b>6.1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>313</b>
<b>6.2.</b>	<b>Sobre la Planificación Centralizada y Colaborativa Usando Metodologías de Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro.....</b>	<b>314</b>
<b>6.3.</b>	<b>Utilización de las Redes Neuronales para la Estimación de Parámetros Inciertos.....</b>	<b>316</b>
<b>6.4.</b>	<b>Sobre la Viabilidad de la Metodología para la Gestión de la Cadena/Red de Suministro en un Contexto de Incertidumbre .....</b>	<b>317</b>
<b>6.5.</b>	<b>Líneas Futuras de Investigación .....</b>	<b>317</b>
<b>6.6.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>319</b>

### **6.1. Introducción**

En este trabajo de investigación se ha propuesto una metodología para la Gestión de la Cadena/Red de Suministro en el Contexto de incertidumbre, aplicándola a una Cadena de Suministro Cerámica. Se ha planteado la problemática de la planificación de operaciones en la Cadena/Red de Suministro en un Contexto de Incertidumbre y para abordarla se han utilizado las Redes Neuronales, así como la optimización conjunta a través de dos tipos de modelos matemáticos (determinista e Incertidumbre) y una Plataforma Tecnológica. Los modelos propuestos se han desarrollado con el objetivo de maximizar el margen de beneficios conjunto de toda la Cadena/Red de Suministro.

## **6.2. Sobre la Planificación de Operaciones Centralizada y Colaborativa usando Metodologías de Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro**

En la planificación centralizada y colaborativa se analizaron diferentes definiciones de Gestión de Cadena/Red de Suministro y se identificaron los tipos de configuraciones de Cadena de Suministro (Lejeune et Al., 2003). Además se analizó la estructura general de la Cadena/Red de Suministro para poder abarcar el contexto de incertidumbre. Un aspecto de gran importancia ha sido el análisis de la literatura que ha permitido clarificar la toma de decisiones colaborativas entre las diferentes etapas de la Cadena/Red de Suministro. Otro aspecto observado en este análisis ha sido que la mayoría de autores estudiados se han enfocado hacia a las Cadenas/Redes de Suministro Centralizadas (Dudek et al. 2005).

A partir del enfoque de planificación jerárquica según Burton (1980, 1984, 1988, 1989 y 1995), Schneeweiss (1995, 1998 y 2002), y Stadler (2000, 2002, 2005 y 2008), se ha definido la tipología del modelo propuesto, ligando la Planificación Jerárquica con la Planificación Colaborativa. Para poder compartir la información entre los diferentes agentes de la cadena ha sido necesario tener en cuenta los diferentes niveles jerárquicos, como pueden ser el estratégico, táctico y operativo. No obstante, en la aplicación realizada se ha dado más importancia a los niveles táctico y operativo, ya que estos están más involucrados en la tipología de toma de decisiones del modelo propuesto a lo largo de la Cadena/Red de Suministro (proveedor, fabricación, distribución y detallista).

Un tema importante que se ha deducido del análisis de la reducida literatura sobre Metodologías de Modelado en la Cadena de Suministro/Planificación en el Contexto de Incertidumbre ha sido la clasificación de los tipos de modelos que han considerado los diferentes autores, tales como modelos analíticos deterministas, modelos analíticos estocásticos, modelos económicos, y modelos de simulación. Basándonos, en el análisis de las referencias anteriores sobre la Planificación de Operaciones de la Cadena de Suministro se han identificado tres tipos de incertidumbre que afectan a ésta, las cuales son: incertidumbre en la demanda, incertidumbre en la fabricación e incertidumbre en el suministro.

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta los parámetros que influyen en cada uno de los tipos de incertidumbre, utilizando los trabajos de Li, D. y Du, Y., (2008) se han estudiado tres Metodologías de Inteligencia Artificial (MIA), aunque mayoritariamente los investigadores tratan sólo una categoría de estas, ya que todas ellas son útiles a la hora de abarcar un problema en la C/RS.

A partir de las MIA se ha desarrollado un sistema para la Planificación de Operaciones Colaborativo y Centralizado basado en Redes Neuronales para resolver los problemas de Incertidumbre en la Cadena/Red de Suministro, mediante la integración de Redes Neuronales, un Modelo Matemático Determinista y un Modelo Matemático con Incertidumbre, con el objetivo de tener una planificación mejor en cada etapa de la Red/Cadena de Suministro.

El primer modelo (MMD) considera como función objetivo, el margen de beneficios por producto, de tal manera que éste pueda decidir, ante recursos escasos, que producto se produce a mayor y menor cantidad. Además mediante el enfoque de Planificación Maestra de Producción (PMP), orientada a la planificación de la demanda, la cual busca mejorar los requerimientos de fabricación, transporte e inventario, permitiendo así ajustar los parámetros del MMD con adecuada anticipación.

Por otra parte el MMI permite obtener soluciones con mejoras respecto al MMD. Estas soluciones a partir de parámetros con incertidumbre permiten analizar diversos grados de variabilidad del margen de beneficios para determinar en qué condiciones compensará producir y en que periodos se hace esta. Además mediante las Redes Neuronales y el Modelo Matemático con Incertidumbre se incorporan valores inciertos consiguiendo mejores resultados o iguales a los del Modelo Matemático Determinista. Estos modelos se han ejecutado en el programa de programación matemática MPL a partir del motor de resolución LPSOLVER, así interactuando con la Red Neuronal por medio de la Plataforma SCANN implantada en VISUAL.NET.

Mediante el estudio de las MIA se ha pretendido abrir nuevas vías de trabajo para que los investigadores se familiaricen más con este tipo de heurísticas para buscar nuevas soluciones, optimizando y mejorando problemas de Planificación en la C/RS.

### **6.3. Utilización de las Redes Neuronales para la Estimación de Parámetros Inciertos**

La utilización de las redes neuronales para la estimación de parámetros inciertos es importante para la determinación de éstos, lo cual no es un problema de fácil solución y cien por ciento correctos, que nos permitan obtener valores generalistas. Hallar los parámetros acertados para un determinado problema, parece ser más un arte que una ciencia. A su vez, la función objetivo y las características del problema en particular, influyen considerablemente en la solución. No obstante, pueden existir ciertas particularidades aceptables para el problema en estudio.

Sin embargo un factor que ha contribuido directamente fueron los diferentes ensayos que comprendieron, entre ellos, el de tasa de aprendizaje (TA), mínimo error cuadrático (MSE) y el de cada uno de los parámetros con incertidumbre.

Los valores de TA y MSE fueron los mejores de los ensayos realizados para los valores de ajuste de para cada Red Neuronal. Así pudiendo efectuar los diferentes ensayos para cada parámetro, donde se observo que coincidían en el número de neuronas en la capa oculta de cada Red Neuronal (siendo estos: CUIG, CUIP, CUID, CUIR, MQFN y MQFP “ver Tabla 5.77”). Esto debido a que los valores de entrada a la Red Neuronal de cada parámetro eran muy pequeños y así éstas podían obtener una solución usando solo dos neuronas en la capa oculta. Para el resto de parámetros los valores fueron diferentes (ver Tabla 5.77), ya que la Red Neuronal necesitaba más neuronas para poder obtener una mejor solución

Todos estos ensayos contribuyeron a establecer un ensayo definitivo con todos los valores ya establecidos para cada uno de los parámetros del capítulo 5. Permitiendo así visualizar la bondad del algoritmo backpropagation para determinar el tamaño de la red neuronal. No obstante se concluyo que el ensayo con todos los parámetros con incertidumbre del MMI, obtuvo mejores resultados que los del MMD, en cuanto a margen de beneficios y cantidades de productos. Cumpliendo así, el planteamiento tenido en cuenta en los capítulos 3 y 4. Todo esto a partir de la Plataforma SCANN que contuvo aspectos del MMD y del MMI.

#### **6.4. Sobre la Viabilidad de la Metodología para la Planificación Colaborativa Gestión en la Cadena/Red de Suministro en un Contexto de Incertidumbre**

Para la viabilidad de la metodología para la Planificación Colaborativa en la Gestión de la Cadena/Red de Suministro en un contexto de incertidumbre se abordó y mostró el proceso de planificación de operaciones de la Compañía Cerámica concreta. También se explicó el funcionamiento de la Plataforma SCANN y se profundizó en la Cadena/Red de Suministro concreta para poder comprender el funcionamiento de ésta y poder aplicarla al modelo que se implanto y así a la Plataforma SCANN. Esto teniendo en cuenta los datos necesarios e incorporando a las aplicaciones éstos y así comprobando las bondades de la Plataforma SCANN y de la aplicación del modelo propuesto.

También, se abordó el análisis y resultados obtenidos a partir de la propuesta de modelado, haciendo uso de la implantación de la metodología propuesta y tomando como referencia los datos de la empresa del sector cerámico. Así se concluyó que los diferentes ensayos de los modelos inferían en la Plataforma SCANN pudiendo obtener un mejor desempeño de esta herramienta.

Así mismo se concluye y se observa que la razón principal de éste análisis, es el efecto positivo que tuvo la Plataforma SCANN, gracias a las redes neuronales, que aumentaron la producción en 5819 metros cuadrados, mejorando las ventas, y por tanto mejorando el margen de beneficios. Todo esto porque los parámetros con incertidumbre han mejorado sus resultados gracias a la técnica conocida como aprendizaje supervisado.

Y por último la aplicación de esta metodología, abre las puertas a la utilización de las Redes Neuronales en las Cadenas/Redes de Suministro. Esto a partir de la Plataforma SCANN, la cual trabajó de forma estable con el MMD y el MMI.

#### **6.5. Líneas Futuras de Investigación**

A partir del proceso del trabajo de investigación y solución del planteamiento del problema, se abordan nuevas líneas de trabajo que bien podrían extender los modelos y plataforma propuesta. A continuación se enumeran algunos aspectos que deberían de ser estudiados en trabajo futuros.

En relación a la metodología de propuesta, con la expresa intención de mejorar su eficacia, resulta necesario el análisis, estudio e implantación, de todas aquellas técnicas innovadoras encaminadas a mejorar los procesos de solución de las Redes Neuronales, así como nuevas formas de implementación de los algoritmos, parámetros e hibridación con otras metodologías. También, la implementación de nuevas técnicas o modelos de optimización para la Cadena de Suministro.

Se podría considerar otras funciones objetivos para plantear un problema multi-objetivo, con criterios que contemplen la cadena de suministro en un entorno de incertidumbre. Asimismo es posible considerar aspectos adicionales en la programación de la producción como son la existencia de capacidad de almacenamiento de productos en curso entre maquinas o etapas, tiempo de transporte entre maquinas, tiempos de control calidad de los productos, etc...

Otro trabajo, es la utilización de la lógica difusa para la definición de los parámetros con incertidumbre. El desarrollo de un sistema de lógica difusa para obtener los datos de entrada de la Red Neuronal a partir de una nube de datos, tales como, demanda, costes, transporte, inventario, etc. Que podría ser un nuevo campo para mejorar la metodología propuesta.

Por último, se quiere hacer una extensión de la Plataforma SCANN, en cuanto a la posibilidad de aplicar diferentes parámetros que aborden los modelos matemáticos para la planificación de la producción de la Cadena/Red de Suministro, esto realizando una opción en la Plataforma que permita unir el modelo matemático a ésta. Así poder definir que parámetros del modelo matemático se les puede incorporar incertidumbre.

## 6.6. Referencias

Burton, R.M. y Obel, B., (1980). A Computer Simulation Test of the M-form Hypotheses, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 25, No. 3, pp. 457-566.

Burton, R.M. y Obel, B., (1984). *Designing Efficient Organization: Modelling and Experimentation*, Amsterdam, North Holland.

Burton, R.M. y Obel, B., (1988). Opportunism, Incentives, and the M-form Hypothesis: A Laboratory Study. *Journal of Economic Behavior and Organization*. Vol. 10, pp. 99-119.

Burton, R.M. y Obel, B., (1989). Using Historical Information in the Design of a Decentralized Firm's Budgetary Planning system. *Computers and Operations Research*. Vol. 16, No. 2, pp. 129-143.

Burton, R.M. y Obel, B., (1995). *Organization Studies: An Information Processing Perspective*, Saul Gass and Carl Harris, editors, *The Encyclopedia of Operations research and Management Science*, Boston, Kluwer Academic Publishers.

Burton, R. M., (1995). *Design Models for Hierarchical Organizations: Computation, Information, and Decentralization*. Kluwer Academic Publishers.

Dudek, G. y Stadtler. H., (2005). Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. *European Journal of Operational Research* 163.3: 668-87.

Lejeune, M. A. Y Nevena Y., (2005), On characterizing the 4 C's in supply chain management. *Journal of Operations Management* 23.1: 81-100.

Li, D. and Du, Y., (2008), *Artificial Intelligence with Uncertainty*. Tsinghua University, Beijing, China. Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group.

Schneeweiss, C., (1995). "Hierarchical Structures in Organizations: A Conceptual Framework". *European Journal of Operational Research*, Vol. 86, 4-31.

Schneeweiss, C. (1998). Hierarchical planning in organizations: Elements of a general theory, *International Journal of Production Economics*, Volumes 56-57, Pages 547-556, ISSN 0925-5273, DOI: 10.1016/S0925-5273(96)00109-0.

Schneeweiss, C., (2002). Distributed decision making in supply chain management. *Int. J. Production Economics*. Vol 84, pp. 71-83. Stadler, H. ; Kilger, C. (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning, Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer, Berlin.

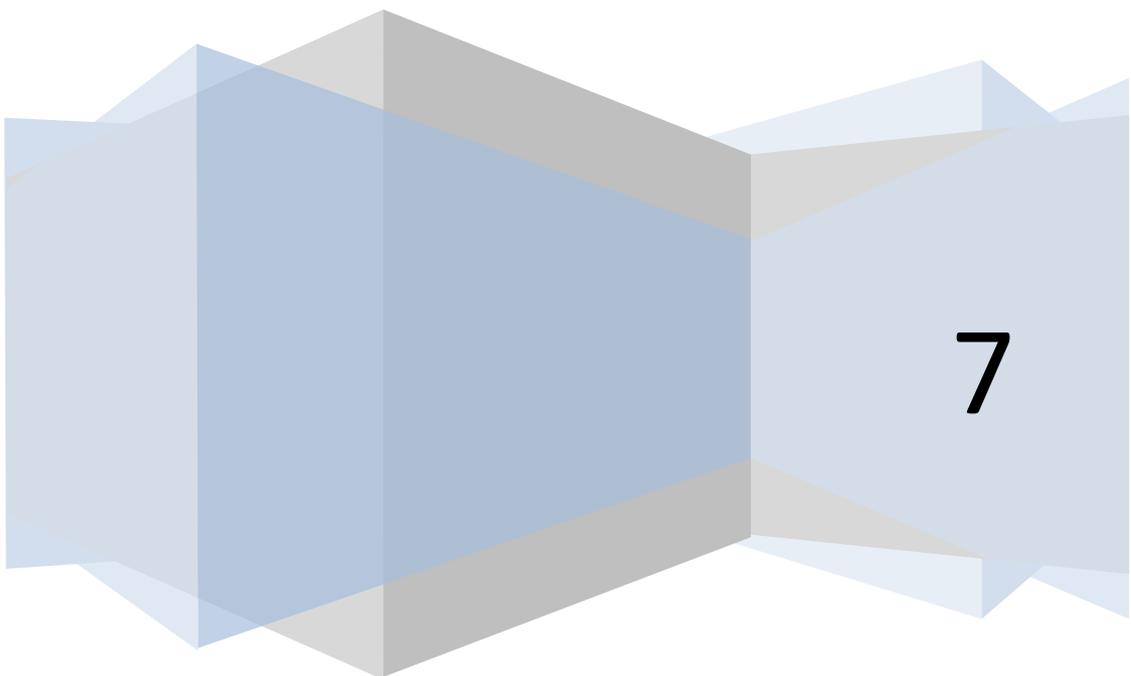
Stadler, H. ; Kilger, C. (2002). Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer.

Stadler, H. (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning-Basics, overview and Challenges, European Journal of Operational Research, 163: 575-588.

Stadler, H. y Kilger, C., (2008). Supply Chain Management an overview in Supply Chain Management and Advanced Planning (Stadler, H., Kilger, C. Editors) Springer-Verlag.

Universidad Politécnica de Valencia

# ANEXOS



## ÍNDICE

A. Modelo Matemático Determinista en MPL.....	323
B. Código fuente de la Red neuronal.....	329
C. Código fuente en el que interactúa la Red neuronal y el MPL.....	334
D. Código fuente del funcionamiento detallado de la Plataforma SCANN.....	337
E. Manual de uso de la Plataforma SCANN.....	349
F. Resultados y Análisis.....	358

**A. Modelo Matemático Determinista en MPL**

## TITLE

"modelonewv6.5 con G.mpl"

## OPTIONS

DatabaseType = Access

DatabaseAccess = "C:\Soft\DATOS2mpl.mdb"

## INDEX

obj = (1);

i := DATABASE("In\_ProductosFinales", "ProductosFinales");

m := DATABASE("In\_MateriasPrimas", "MateriasPrimas");

g := DATABASE("In\_Proveedores", "Proveedores");

p := DATABASE("In\_Plantas", "Plantas");

j := DATABASE("In\_RecursosProduccion", "RecursosProduccion");

d := DATABASE("In\_Distribuidores", "Distribuidores");

r := DATABASE("In\_Detallistas", "Detallistas");

c := DATABASE("In\_Clientes", "Clientes");

t := DATABASE("In\_Periodos", "Periodos");

Ij[j, i] := DATABASE("Ci\_Ij", j = "RecursosProduccion", i = "ProductosFinales");

Ji[i, j] := DATABASE("Ci\_Ji", i = "ProductosFinales", j = "RecursosProduccion");

Im[m, i] := DATABASE("Ci\_Im", m = "MateriasPrimas", i = "ProductosFinales");

Jp[p, j] := DATABASE("Ci\_Jp", p = "Plantas", j = "RecursosProduccion");

Gm[m, g] := DATABASE("Ci\_Gm", m = "MateriasPrimas", g = "Proveedores");

Gp[p, g] := DATABASE("Ci\_Gp", p = "Plantas", g = "Proveedores");

Dp[p, d] := DATABASE("Ci\_Dp", p = "Plantas", d = "Distribuidores");

Rd[d, r] := DATABASE("Ci\_Rd", d = "Distribuidores", r = "Detallistas");

Cr[r, c] := DATABASE("Ci\_Cr", r = "Detallistas", c = "Clientes");

## DATA

CFTG[g,p] := DATABASE("Pr\_CFTG", "CFTG");

CUTG[g,p,m] := DATABASE("Pr\_CUTG", "CUTG");

CUMG[g,m] := DATABASE("Pr\_CUMG", "CUMG");

CUIG[g,m] := DATABASE("Pr\_CUIG", "CUIG");

PUPVG[g,p,m] := DATABASE("Pr\_PUPVG", "PUPVG");

NCTG[g,p,m] := DATABASE("Pr\_NCTG", "NCTG");

MCIG[g] := DATABASE("Pr\_MCIG", "MCIG");

TETG[g,p] := DATABASE("Pr\_TETG", "TETG");

CFMP[p,j,i] := DATABASE("Pr\_CFMP", "CFMP");

CFCP[p,j,i] := DATABASE("Pr\_CFCP", "CFCP");

CUSP[p,i] := DATABASE("Pr\_CUSP", "CUSP");

CFTP[p,d] := DATABASE("Pr\_CFTP", "CFTP");

```

CUFEP[p,j,i] := DATABASE("Pr_CUFEP","CUFEP");
CUTP[p,d,i] := DATABASE("Pr_CUTP","CUTP");
CUMP[p,i] := DATABASE("Pr_CUMP","CUMP");
CUIP[p,i] := DATABASE("Pr_CUIP","CUIP");
CUFP[p,j,i] := DATABASE("Pr_CUFP","CUFP");
PUPPV[p,d,i] := DATABASE("Pr_PUPPV","PUPPV");
CMETP[p] := DATABASE("Pr_CMETP","CMETP");
CMSTP[p] := DATABASE("Pr_CMSTP","CMSTP");
MCIP[p] := DATABASE("Pr_MCIP","MCIP");
NCTP[p,d,i] := DATABASE("Pr_NCTP","NCTP");
PQSP[p,i] := DATABASE("Pr_PQSP","PQSP");
TETP[p,d] := DATABASE("Pr_TETP","TETP");
MA[i,m] := DATABASE("Pr_MA","MA");

```

```

CFTD[d,r] := DATABASE("Pr_CFTD","CFTD");
CUTD[d,r,i] := DATABASE("Pr_CUTD","CUTD");
CDR[r,c,i,t] := DATABASE("Pr_CDR","CDR");
PUPDV[d,r,i] := DATABASE("Pr_PUPDV","PUPDV");
PUPRV[r,c,i] := DATABASE("Pr_PUPRV","PUPRV");
CUMD[d,i] := DATABASE("Pr_CUMD","CUMD");
CUMR[r,i] := DATABASE("Pr_CUMR","CUMR");
CUID[d,i] := DATABASE("Pr_CUID","CUID");
CUIR[r,i] := DATABASE("Pr_CUIR","CUIR");
MCID[d] := DATABASE("Pr_MCID","MCID");
MCIR[r] := DATABASE("Pr_MCIR","MCIR");
CMSTD[d] := DATABASE("Pr_CMSTD","CMSTD");
CMSTR[r] := DATABASE("Pr_CMSTR","CMSTR");
PDCR[r,c,i,t] := DATABASE("Pr_PDCR","PDCR");
NCTD[d,r,i] := DATABASE("Pr_NCTD","NCTD");
TETD[d,r] := DATABASE("Pr_TETD","TETD");

```

```

MQFN[p,j,t] := 1000000000;
MQFE[p,j,t] := 1000000000;
NIRO[r,i] := DATABASE("Pr_NIRO","NIRO");
NIDO[d,i] := DATABASE("Pr_NIDO","NIDO");
NIPO[p,i] := DATABASE("Pr_NIPO","NIPO");
NIGO := 100;

```

```

ssp := 100;
ssd := 100;
ssr := 76;
M1 := 10000000;
M2 := 10000;

```

#### DECISION VARIABLES

```

YKDRT[d,r,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YKDRT","YKDRT");
YKPDT[p,d,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YKPDT","YKPDT");

```

```
YKGPT[g,p,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_YKGPT","YKGPT");
BETA[p,j,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_BETA","BETA");
SETUP[p,j,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_SETUP","SETUP");
```

```
QDDR[r,c,i,t] WHERE (CDR>0) EXPORT REFILL TO
DATABASE("VarDec_QDDR","QDDR");
NIG[g,m,t] WHERE (CUIG>0) EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NIG","NIG");
NIP[p,i,t] WHERE (CUIP>0) EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NIP","NIP");
NID[d,i,t] WHERE (CUID>0) EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NID","NID");
NIR[r,i,t] WHERE (CUIR>0) EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_NIR","NIR");
QS[p,d,i,t] WHERE (CUSP>0) EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QS","QS");
```

```
QP[p,j,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QP","QP");
QPN[p,j,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QPN","QPN");
QPE[p,j,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QPE","QPE");
QG[g,m,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QG","QG");
QPS[p,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QPS","QPS");
```

```
QTGK[g,p,m,t] WHERE (CUTG>0) EXPORT REFILL TO
DATABASE("VarDec_QTGK","QTGK");
QTPK[p,d,i,t] WHERE (CUTP>0) EXPORT REFILL TO
DATABASE("VarDec_QTPK","QTPK");
QTDK[d,r,i,t] WHERE (CUTD>0) EXPORT REFILL TO
DATABASE("VarDec_QTDK","QTDK");
QTRK[r,c,i,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QTRK","QTRK");
QTG[g,p,m,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QTG","QTG");
QTP[p,d,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QTP","QTP");
QTD[d,r,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QTD","QTD");
QTR[r,c,t] EXPORT REFILL TO DATABASE("VarDec_QTR","QTR");
```

## MACROS

```
CTFP := SUM(p,j,i,t: ((CFCP * SETUP) + (CFMP) + (CUFP * QPN) + (CUFEP * QPE)));
```

```
CTSP := SUM(p,d,i,t: ((CUSP * QS)));
```

```
CTMGG := SUM(g,p,m,t: CUMG * QTG);
```

```
CTMPP := SUM(p,t: SUM(m,i IN Im: CUMP * MA * (SUM(j IN Jp: QP)))) + SUM (i,p,t:
CUMP*SUM(d: QTPK)); !
```

```
CTMDD := SUM(d,i,t: (CUMD * (SUM(p,d,t: (QTPK[p,d,i,t-TETP]) + SUM(d,r,i,t:
QTDK)))));
```

```
CTMRR := SUM(r,i,t: (CUMR * (SUM(r,d,t: (QTDK[d,r,i,t-TETD]) + SUM(r,c,t: QTRK)))));
```

$CTCPP := \text{SUM}(g,p,t,m: PUPVG * (\text{SUM}(i \text{ IN } I_m, j \text{ IN } J_p: QP*MA)));$   
 $CTCDD := \text{SUM}(p,d,i,t: PUPPV * QTPK);$   
 $CTCRR := \text{SUM}(d,r,i,t: PUPDV * QTDK);$   
 $CTIGG := \text{SUM}(g,m,t: CUIG * NIG);$   
 $CTIPP := \text{SUM}(p,i,t: CUIP * NIP);$   
 $CTIDD := \text{SUM}(d,i,t: CUID * NID);$   
 $CTIRR := \text{SUM}(r,i,t: CUIR * NIR);$   
 $CTTGG := \text{SUM}(g,p,t: CFTG * YKGPT) + \text{SUM}(g,p,j,i,m,t: CUTG * (\text{SUM}(i \text{ IN } I_m, j \text{ IN } J_p: QP*MA)));$   
 $CTTPP := \text{SUM}(p,d,t: CFTP * YKPDT) + \text{SUM}(p,d,i,t: CUTP * QTPK);$   
 $CTTDD := \text{SUM}(d,r,t: CFTD * YKDRT) + \text{SUM}(d,r,i,t: CUTD * QTDK);$   
 $CDD2 := \text{SUM}(r,c,i,t: CDR * QDDR);$   
 $VPGG := \text{SUM}(g,p,m,t: PUPVG * QTG); !$   
 $VPPP := \text{SUM}(p,d,i,t: PUPPV * QTPK);$   
 $VPDD := \text{SUM}(d,r,i,t: PUPDV * QTDK);$   
 $VPRR := \text{SUM}(r,c,i,t: PUPRV * QTRK);$   
 $ZG := VPGG - CTTGG - CTIGG;$   
 $ZP := VPPP - CTCPP - CTFP - CTPP - CTIPP - CTMPP - CTSP;$   
 $ZD := VPDD - CTCDD - CTTDD - CTIDD - CTMDD;$   
 $ZR := VPRR - CTCRR - CTMRR - CTIRR - CDD2;$   
  
MODEL  
  
MAXIMIZE Beneficios = ZG + ZP + ZD + ZR;

## SUBJECT TO

## !Restricciones de Fabricación

$$R [p,j,i,t]: QP = QPN + QPE;$$

$$\text{MaxCapHorasN } [p,j,t] : \text{SUM}(i: QPN) \leq \text{MQFN};$$

$$\text{MaxCapHorasE } [p,j,t] : \text{SUM}(i: QPE) \leq \text{MQFE};$$

$$\text{Rsetup } [p,j,i,t] : QP \leq M1 * \text{BETA};$$

$$R1 [p,j,i,t] : \text{SUM}(p,i \text{ IN } Ij: \text{BETA}) = 1;$$

$$R3 [p,j,i,t] : \text{SETUP} \geq \text{BETA} - \text{BETA}[t-1];$$

$$R6 [p,d,i,t] : QS \leq \text{PQSP} * \text{QPS};$$

## !Restricciones de Transporte

$$R10 [g,p,t] : \text{SUM}(m: \text{QTG}) \leq M2 * \text{YKGPT};$$

$$R11 [p,d,t] : \text{SUM}(i: \text{QTPK}) \leq M1 * \text{YKPDT};$$

$$R12 [d,r,t] : \text{SUM}(i: \text{QTDK}) \leq M1 * \text{YKDRT};$$

$$R13 [g,p,m,t] : \text{QTG} = \text{SUM}(i \text{ IN } I_m, j \text{ IN } J_p: \text{QP} * \text{MA}); !$$

$$R14 [p,d,t] : \text{QTP} = \text{SUM}(i: \text{QTPK}); !$$

$$R15 [d,r,i,t] : \text{QTD} = \text{SUM}(i: \text{QTDK}); !$$

$$R16 [r,c,i,t] : \text{QTR} = \text{SUM}(i: \text{QTRK}); !$$

## !Restricciones de Inventario

$$R220 [g,m,t=1] : \text{NIG} = \text{NIG0} + \text{QG} - \text{SUM}(p: \text{QTG});$$

$$R22 [g,m,t>1] : \text{NIG} = \text{NIG}[t-1] + \text{QG} - \text{SUM}(p: \text{QTG});$$

$$R230 [p,i,t=1] : \text{NIP} = \text{NIP0} + \text{SUM}(j \text{ IN } J_i: \text{QP}) - \text{SUM}(d: \text{QTPK});$$

$$R23 [p,i,t>1] : \text{NIP} = \text{NIP}[t-1] + \text{SUM}(j \text{ IN } J_i: \text{QP}) - \text{SUM}(d: \text{QTPK});$$

$$R231 [p,i,t] : \text{NIP} \geq \text{ssp};$$

$$R240 [d,i,t=1] : \text{NID} = \text{NID0} + \text{SUM}(p: \text{QTPK}[t-\text{TETP}]) - \text{SUM}(r: \text{QTDK});$$

$$R24 [d,i,t>1] : \text{NID} = \text{NID}[t-1] + \text{SUM}(p: \text{QTPK}[t-\text{TETP}]) - \text{SUM}(r: \text{QTDK});$$

$$R241 [d,i,t] : \text{NID} \geq \text{ssd};$$

$$R250 [r,i,t=1] : \text{NIR} = \text{NIR0} + \text{SUM}(d: \text{QTDK}[t-\text{TETD}]) - \text{SUM}(c: \text{QTRK});$$

$$R25 [r,i,t>1] : \text{NIR} = \text{NIR}[t-1] + \text{SUM}(d: \text{QTDK}[t-\text{TETD}]) - \text{SUM}(c: \text{QTRK});$$

$$R251 [r,i,t] : \text{NIR} \geq \text{ssr};$$

$$R26 [r,c,i,t \leq 8] : \text{QTRK} = \text{QDDR}[t-1] - \text{QDDR} + \text{PDCR};$$

$$R27 [r,c,i,t] : \text{QDDR}[t=8] = 0; !$$

$$R28 [g,m,t] : \text{SUM}(m: \text{NIG}) \leq \text{MCIG};$$

$$R29 [p,i,t] : \text{SUM}(i: \text{NIP}) \leq \text{MCIP};$$

$$R30 [d,i,t] : \text{SUM}(i: \text{NID}) \leq \text{MCID};$$

$$R31 [r,i,t] : \text{SUM}(i: \text{NIR}) \leq \text{MCIR};$$

BOUNDS

NIG >= 0;

NIP >= 0;

NID >= 0;

NIR >= 0;

QTGK >= 0;

QTPK >= 0;

QTDK >= 0;

QTRK >= 0;

QDDR >= 0;

INTEGER

BINARY

YKDRT;

YKPDT;

YKGPT;

BETA;

SETUP;

END

**B. Código fuente de la Red Neuronal**

```
While numFilas < reg

    Dim m As Integer = 0
    Dim ceros As Integer = 0
    While m < nEntrada
        datosEntrada(m) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(m +
index).ToString)
        If datosEntrada(m) = 0 Then
            ceros = ceros + 1
        End If
        m = m + 1
    End While

    If ceros <> datosEntrada.Length - 1 Then

        Dim datoError As Decimal = 1
        h = 0
        While datoError > Convert.ToDecimal(txtError.Text)

            If h > 0 Then
                txtSalida.Text = txtSalida.Text + "--Nuevos valores despues de la
retropropagacion" + h.ToString + "--" & vbCrLf & vbCrLf
            End If
            Dim c As Integer = 0
            Dim j As Integer = 0
            Dim k As Integer = 0

            While c < nEntrada
                datosEntrada(c) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(c +
index).ToString)
                If comboTabla.Text = "Pr_DEM" Then
                    datosEntrada = datDem
                    c = nEntrada + 1
                End If
                c = c + 1
            End While
            Dim mayor As Decimal = 0

            Dim vector(nEntrada) As Decimal
            Dim vector2(nEntrada) As Decimal
            c = 0
            While c < nEntrada
```

```

        vector(c) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(c +
index).ToString)
        c = c + 1
    End While

    c = 0
    While c < nEntrada
        If vector(0) < vector(c + 1) Then
            Dim val As Decimal
            val = vector(0)
            vector(0) = vector(c + 1)
            vector(c + 1) = val
        End If
        c = c + 1
    End While

    mayor = vector(0)

    c = 0
    While c < nEntrada
        If mayor = 0 Then
            datosEntrada(c) = 0
        Else
            datosEntrada(c) = datosEntrada(c) / mayor
        End If
        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Dato " +
tabla.Rows(numFilas).Item(0).ToString + " Periodo " +
tabla.Rows(numFilas).Item(1).ToString + ": " + datosEntrada(c).ToString + "" & vbCrLf
        c = c + 1
    End While
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Pesos para cada Dato con respecto a las
Neuronas" & vbCrLf
    c = 0
    j = 0
    While c < nNeuronas
        While j < nEntrada
            If h > 0 Then
                datosPesos(c, j) = Format((datosPesos(c, j) *
Convert.ToDecimal(txtTA.Text) * datosNeurona(c) * datoError), "0.###")
            Else
                datosPesos(c, j) = Format((1 * Rnd()), "0.###")
            End If
            txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Peso" + (j + 1).ToString + (c +
1).ToString + ": " + datosPesos(c, j).ToString + "" & vbCrLf
            j = j + 1
        End While
        c = c + 1
    End While

```

```
End While
c = c + 1
j = 0
End While

txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Valores Neuronas Capa Oculta" & vbCrLf
c = 0
j = 0
While c < nNeuronas
    While j < nEntrada
        datosNeurona(c) = datosNeurona(c) + (datosPesos(c, j) *
datosEntrada(j))
        j = j + 1
    End While
    Dim pot As Decimal
    Dim val As Decimal = datosNeurona(c) * (-1)
    Dim e As Decimal = 2.718281828459
    pot = (1 / (1 + (e ^ val)))
    datosNeurona(c) = pot
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Neurona" + (c + 1).ToString + ": " +
datosNeurona(c).ToString + "" & vbCrLf
    c = c + 1
    j = 0
End While

txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Pesos para cada Neurona con respecto a
los Datos de salida" & vbCrLf
c = 0
j = 0
While c < nSalida
    While j < nNeuronas
        neuronasPesos(j, c) = Format((1 * Rnd()), "0.###")
        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "PesoN" + (j + 1).ToString + (c +
1).ToString + ": " + neuronasPesos(j, c).ToString + "" & vbCrLf
        j = j + 1
    End While
    c = c + 1
    j = 0
End While

txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Datos de Salida" & vbCrLf
c = 0
j = 0
```

```

While c < nSalida
  While j < nNeuronas
    datosSalida(c) = datosSalida(c) + (neuronasPesos(j, c) *
datosNeurona(j))
    j = j + 1
  End While
  Dim pot As Decimal
  Dim val As Decimal = datosSalida(c) * (-1)
  Dim e As Decimal = 2.718281828459
  pot = (1 / (1 + (e ^ val)))
  datosSalida(c) = pot

  txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Rta" + (c + 1).ToString + ": " +
datosSalida(c).ToString + "" & vbCrLf & vbCrLf
  'datosNeurona(c).ToString + "" & vbCrLf & vbCrLf

  Dim valo As String =
gridDatosEsperados.Rows(numFilas).Cells(tablaDatosEsperados.Columns.Count -
1).Value.ToString
  Dim esperado As Decimal = 0
  esperado = Convert.ToDecimal(valo)
  mayor = mayor - (mayor - esperado)
  datoError = (mayor / esperado) - datosSalida(nSalida - 1) + 0.000001
  Dim ee As Decimal = Convert.ToDecimal(txtError.Text)

  'If datoError > (ee * 2) Then
  '  datoError = datoError - (datoError / 3)
  'End If
  Dim valDB As Decimal
  Dim valsal As Decimal = datosSalida(c)
  If valsal < 1 Then
    valsal = valsal + ((1 - valsal) / 2)
  Else
    valsal = valsal - ((valsal - 1) / 2)
  End If
  valDB = valsal * mayor
  valDB = Format(valDB, "0.###")
  If datoError < ee Then
    Dim data As New MSAccess2
    'Dim t As String = tabla.Columns.Item(0).ColumnName.ToString
    'data.Query("UPDATE Pr_CMAX SET CMAX=" & valDB.ToString & "
WHERE Nodos=" & tabla.Rows(numFilas).Item(0).ToString + "" AND Periodos=" &
Convert.ToDouble(tabla.Rows(numFilas).Item(1)) & """)
    Dim sql As String = "UPDATE " + nombreTabla + " SET " +
gridDatosEsperados.Columns(gridDatosEsperados.Columns.Count - 1).Name.ToString +
"=" & valDB & "" "
    Dim col As Integer = 0

```

```
        Dim setSQL As String = ""

        'While col < nEntrada
        'setSQL = setSQL + tabla.Columns.Item(tabla.Columns.Count -
1).ColumnName.ToString + "=" & valDB & "" "
        'If col + 1 < nEntrada Then
        ' setSQL = setSQL + " AND "
        'End If
        'col = col + 1
        'End While

        Dim whereSQL As String = " WHERE "
        col = 0
        While col < index
            whereSQL = whereSQL +
tabla.Columns.Item(col).ColumnName.ToString + "=" +
tabla.Rows(numFilas).Item(col).ToString + ""
            If col + 1 < index Then
                whereSQL = whereSQL + " AND "
            End If
            col = col + 1
        End While
        'sql = sql + setSQL + whereSQL
        sql = sql + whereSQL
        data.Query(sql)
    End If

    c = c + 1
    j = 0
    End While

    If datoError > Convert.ToDecimal(txtError.Text) Then
        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Error con respecto al dato esperado:" +
datoError.ToString & vbCrLf & vbCrLf
    End If
    h = h + 1

    End While
    txtSalida.Text = txtSalida.Text +
"_____ " & vbCrLf & vbCrLf

    End If
    numFilas = numFilas + 1
    End While
```

**C. Código fuente en el que interactúa la Red Neuronal y el MPL (desarrollado en VISUAL .NET)**

**Código para MPL determinista**

```
Dim MPL As OptiMax
Dim planModel As Model
Dim result As Integer

mpl = New OptiMax

'MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft\neuronas\neuronas\neuronas\bin\Debug"
MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft"
MPL.Solvers.Add("cplex") 'Ipsolve

planModel = MPL.Models.Add("pruebamatprimconpdcfinal")
result = planModel.ReadModel("pruebamatprimconpdcfinal.mpl")
If result > 0 Then
    MsgBox(planModel.ErrorMessage)
Else
    Dim tttotal As String = planModel.Solution.TotalTime.ToString
    Dim tsolucion As String = planModel.Solution.SolutionTime.ToString
    planModel.Solve()

    rtxtMPL.LoadFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    rtxtMPL.Text = ""
    rtxtMPL.SaveFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    planModel.WriteSolutionFile(ruta + "\MPL.rtf")

    rtxtMPL.LoadFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)

    Dim c As Integer = 0
    While c < 25
        macros1(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Value
        macrosn(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Name.ToString
        c = c + 1
    End While
    macros1(25) = planModel.Solution.ObjectValue
    MsgBox(planModel.Solution.ResultString + ": " +
planModel.Solution.ObjectValue.ToString + " , Tiempo total:" + tttotal)
    tab.SelectedIndex = 5
End If
```

**Código para MPL incertidumbre**

```
Dim MPL As OptiMax
Dim planModel As Model
Dim result As Integer

MPL = New OptiMax

MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft"
MPL.Solvers.Add("cplex") 'Ipsolve

planModel = MPL.Models.Add("pruebamatprimconpdcfinalIncer")
result = planModel.ReadModel("pruebamatprimconpdcfinalIncer.mpl")
If result > 0 Then
    MsgBox(planModel.ErrorMessage)
Else
    Dim tttotal As String = planModel.Solution.TotalTime.ToString
    Dim tsolucion As String = planModel.Solution.SolutionTime.ToString
    planModel.Solve()

    rtxtMPLIncer.LoadFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    rtxtMPLIncer.Text = ""
    rtxtMPLIncer.SaveFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    planModel.WriteSolutionFile(ruta + "\MPLIncer.rtf")

    rtxtMPLIncer.LoadFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)

    Dim c As Integer = 0
    rtxtComparacion.Text = "Macros" & vbCrLf
    While c < 25
        macros2(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Value
        macrosRta(c) = macros1(c) - macros2(c)
        rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + " " + macrosn(c) + ": " +
        macros1(c).ToString + " - " + macros2(c).ToString + " = " + macrosRta(c).ToString &
        vbCrLf

        c = c + 1
    End While
    macros2(25) = planModel.Solution.ObjectValue

    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + vbCrLf
    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + "Funcion Objetivo " & vbCrLf
    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + "MMD " + macros1(25).ToString
    + " - MMI " + macros2(25).ToString + " = " + (macros1(25) - macros2(25)).ToString
```

```
        MsgBox(planModel.Solution.ResultString + ": " +  
planModel.Solution.ObjectValue.ToString + " , Tiempo total:" + tttotal)  
        tab.SelectedIndex = 6  
    End If
```

**D. Código fuente del funcionamiento detallado de la Plataforma SCANN  
(desarrollado en VISUAL .NET)****Inicialización de variables**

```
Dim nEntrada As Integer = 0
Dim nNeuronas As Integer = Convert.ToDecimal(txtNeuronas.Text)
Dim nSalida As Integer = Convert.ToDecimal(txtDatosSalida.Text)
Dim datosNeurona(nNeuronas) As Decimal
Dim datosSalida(nSalida) As Decimal
Dim h As Integer
Dim datDem() As Decimal

Dim numFilas As Integer = 0
Randomize()
Dim index As Integer
Dim bdN As New MSAccess

Dim cDB As Integer = 0
Dim nombreTabla As String = ""

Dim datosPesos(nNeuronas, nEntrada) As Decimal
Dim neuronasPesos(nNeuronas, nSalida) As Decimal

Dim datosEntrada(nEntrada) As Decimal
```

**Selección de tablas para cada parámetro**

```
Dim tabla As New DataTable
If comboTabla.Text = "Pr_CDR" Then ' cDB = 0 Then
    nombreTabla = "Pr_CDR"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CDR", "Pr_CDR")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 4
    index = 4
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CMETP" Then 'If cDB = 1 Then
    nombreTabla = "Pr_CMETP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CMETP", "Pr_CMETP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CMSTD" Then 'If cDB = 2 Then
    nombreTabla = "Pr_CMSTD"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CMSTD", "Pr_CMSTD")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CMSTP" Then 'If cDB = 3 Then
    nombreTabla = "Pr_CMSTP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CMSTP", "Pr_CMSTP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
```

```

index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CMSTR" Then 'If cDB = 4 Then
    nombreTabla = "Pr_CMSTR"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CMSTR", "Pr_CMSTR")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUFEP" Then 'If cDB = 5 Then
    nombreTabla = "Pr_CUFEP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUFEP", "Pr_CUFEP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUFP" Then 'If cDB = 6 Then
    nombreTabla = "Pr_CUFP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUFP", "Pr_CUFP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUID" Then 'If cDB = 7 Then
    nombreTabla = "Pr_CUID"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUID", "Pr_CUID")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 2
    index = 2
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUIG" Then 'If cDB = 8 Then
    nombreTabla = "Pr_CUIG"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUIG", "Pr_CUIG")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 2
    index = 2
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUIP" Then 'If cDB = 9 Then
    nombreTabla = "Pr_CUIP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUIP", "Pr_CUIP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 2
    index = 2

Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUIR" Then 'If cDB = 10 Then
    nombreTabla = "Pr_CUIR"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUIR", "Pr_CUIR")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 2
    index = 2
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUTD" Then 'If cDB = 11 Then
    nombreTabla = "Pr_CUTD"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUTD", "Pr_CUTD")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUTG" Then 'If cDB = 12 Then
    nombreTabla = "Pr_CUTG"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUTG", "Pr_CUTG")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3

```

```
Elseif comboTabla.Text = "Pr_CUTP" Then 'If cDB = 13 Then
    nombreTabla = "Pr_CUTP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_CUTP", "Pr_CUTP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MCID" Then 'If cDB = 14 Then
    nombreTabla = "Pr_MCID"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MCID", "Pr_MCID")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MCIG" Then 'If cDB = 15 Then
    nombreTabla = "Pr_MCIG"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MCIG", "Pr_MCIG")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MCIP" Then 'If cDB = 16 Then
    nombreTabla = "Pr_MCIP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MCIP", "Pr_MCIP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MCIR" Then 'If cDB = 17 Then
    nombreTabla = "Pr_MCIR"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MCIR", "Pr_MCIR")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 1
    index = 1
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MQFE" Then 'If cDB = 18 Then
    nombreTabla = "Pr_MQFE"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MQFE", "Pr_MQFE")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MQFN" Then 'If cDB = 19 Then
    nombreTabla = "Pr_MQFN"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MQFN", "Pr_MQFN")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_MQP" Then 'If cDB = 20 Then
    nombreTabla = "Pr_MQP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_MQP", "Pr_MQP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_NCTD" Then 'If cDB = 21 Then
    nombreTabla = "Pr_NCTD"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_NCTD", "Pr_NCTD")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_NCTG" Then 'If cDB = 22 Then
    nombreTabla = "Pr_NCTG"
```

```

tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_NCTG", "Pr_NCTG")
nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_NCTP" Then 'If cDB = 23 Then
    nombreTabla = "Pr_NCTP"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_NCTP", "Pr_NCTP")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 3
    index = 3
Elseif comboTabla.Text = "Pr_PDCR" Then 'If cDB = 24 Then
    nombreTabla = "Pr_PDCR"
    tabla = bdN.fill("SELECT * FROM Pr_PDCR", "Pr_PDCR")
    nEntrada = tabla.Columns.Count - 4
    index = 4
End If

While numFilas < reg

    Dim m As Integer = 0
    Dim ceros As Integer = 0
    While m < nEntrada
        datosEntrada(m) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(m +
index).ToString)
        If datosEntrada(m) = 0 Then
            ceros = ceros + 1
        End If
        m = m + 1
    End While

    If ceros <> datosEntrada.Length - 1 Then

        Dim datoError As Decimal = 1
        h = 0
        While datoError > Convert.ToDecimal(txtError.Text)

            If h > 0 Then
                txtSalida.Text = txtSalida.Text + "--Nuevos valores despues de la
retropropagacion" + h.ToString + "--" & vbCrLf & vbCrLf
            End If
            Dim c As Integer = 0
            Dim j As Integer = 0
            Dim k As Integer = 0

            While c < nEntrada
                datosEntrada(c) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(c +
index).ToString)
                If comboTabla.Text = "Pr_DEM" Then
                    datosEntrada = datDem

```

```
        c = nEntrada + 1
    End If
    c = c + 1
End While
Dim mayor As Decimal = 0

Dim vector(nEntrada) As Decimal
Dim vector2(nEntrada) As Decimal
c = 0
While c < nEntrada
    vector(c) = Convert.ToDecimal(tabla.Rows(numFilas).Item(c +
index).ToString)
    c = c + 1
End While

c = 0
While c < nEntrada
    If vector(0) < vector(c + 1) Then
        Dim val As Decimal
        val = vector(0)
        vector(0) = vector(c + 1)
        vector(c + 1) = val
    End If
    c = c + 1
End While

mayor = vector(0)

c = 0
While c < nEntrada
    If mayor = 0 Then
        datosEntrada(c) = 0
    Else
        datosEntrada(c) = datosEntrada(c) / mayor
    End If
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Dato " +
tabla.Rows(numFilas).Item(0).ToString + " Periodo " +
tabla.Rows(numFilas).Item(1).ToString + ": " + datosEntrada(c).ToString + "" & vbCrLf
    c = c + 1
End While
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Pesos para cada Dato con respecto a las
Neuronas" & vbCrLf
c = 0
j = 0
While c < nNeuronas
    While j < nEntrada
```

```

        If h > 0 Then
            datosPesos(c, j) = Format((datosPesos(c, j) *
Convert.ToDecimal(txtTA.Text) * datosNeurona(c) * datoError), "0.###")
        Else
            datosPesos(c, j) = Format((1 * Rnd()), "0.###")
        End If
        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Peso" + (j + 1).ToString + (c +
1).ToString + ": " + datosPesos(c, j).ToString + "" & vbCrLf
        j = j + 1
    End While
    c = c + 1
    j = 0
End While

txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Valores Neuronas Capa Oculta" & vbCrLf
c = 0
j = 0
While c < nNeuronas
    While j < nEntrada
        datosNeurona(c) = datosNeurona(c) + (datosPesos(c, j) *
datosEntrada(j))
        j = j + 1
    End While
    Dim pot As Decimal
    Dim val As Decimal = datosNeurona(c) * (-1)
    Dim e As Decimal = 2.718281828459
    pot = (1 / (1 + (e ^ val)))
    datosNeurona(c) = pot
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Neurona" + (c + 1).ToString + ": " +
datosNeurona(c).ToString + "" & vbCrLf
    c = c + 1
    j = 0
End While

txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Pesos para cada Neurona con respecto a
los Datos de salida" & vbCrLf
c = 0
j = 0
While c < nSalida
    While j < nNeuronas
        neuronasPesos(j, c) = Format((1 * Rnd()), "0.###")
        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "PesoN" + (j + 1).ToString + (c +
1).ToString + ": " + neuronasPesos(j, c).ToString + "" & vbCrLf
        j = j + 1
    End While

```

```
        c = c + 1
        j = 0
    End While

    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "" & vbCrLf
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Datos de Salida" & vbCrLf
    c = 0
    j = 0
    While c < nSalida
        While j < nNeuronas
            datosSalida(c) = datosSalida(c) + (neuronasPesos(j, c) *
datosNeurona(j))
            j = j + 1
        End While
        Dim pot As Decimal
        Dim val As Decimal = datosSalida(c) * (-1)
        Dim e As Decimal = 2.718281828459
        pot = (1 / (1 + (e ^ val)))
        datosSalida(c) = pot

        txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Rta" + (c + 1).ToString + ": " +
datosSalida(c).ToString + "" & vbCrLf & vbCrLf
        'datosNeurona(c).ToString + "" & vbCrLf & vbCrLf

        Dim valo As String =
gridDatosEsperados.Rows(numFilas).Cells(tablaDatosEsperados.Columns.Count -
1).Value.ToString
        Dim esperado As Decimal = 0
        esperado = Convert.ToDecimal(valo)
        mayor = mayor - (mayor - esperado)
        datoError = (mayor / esperado) - datosSalida(nSalida - 1) + 0.000001
        Dim ee As Decimal = Convert.ToDecimal(txtError.Text)

        'If datoError > (ee * 2) Then
        '    datoError = datoError - (datoError / 3)
        'End If
        Dim valDB As Decimal
        Dim valsal As Decimal = datosSalida(c)
        If valsal < 1 Then
            valsal = valsal + ((1 - valsal) / 2)
        Else
            valsal = valsal - ((valsal - 1) / 2)
        End If
        valDB = valsal * mayor
        valDB = Format(valDB, "0.###")
        If datoError < ee Then
            Dim data As New MSAccess2
```

```

        Dim t As String = tabla.Columns.Item(0).ColumnName.ToString
        'data.Query("UPDATE Pr_CMAX SET CMAX=" & valDB.ToString & "
WHERE Nodos=" & tabla.Rows(numFilas).Item(0).ToString + " AND Periodos=" &
Convert.ToDouble(tabla.Rows(numFilas).Item(1)) & """)
        Dim sql As String = "UPDATE " + nombreTabla + " SET " +
gridDatosEsperados.Columns(gridDatosEsperados.Columns.Count - 1).Name.ToString +
"=" & valDB & " "
        Dim col As Integer = 0
        Dim setSQL As String = ""

        'While col < nEntrada
        'setSQL = setSQL + tabla.Columns.Item(tabla.Columns.Count -
1).ColumnName.ToString + "=" & valDB & " "
        'If col + 1 < nEntrada Then
        '    setSQL = setSQL + " AND "
        'End If
        'col = col + 1
        'End While

        Dim whereSQL As String = " WHERE "
        col = 0
        While col < index
            whereSQL = whereSQL +
tabla.Columns.Item(col).ColumnName.ToString + "=" +
tabla.Rows(numFilas).Item(col).ToString + ""
            If col + 1 < index Then
                whereSQL = whereSQL + " AND "
            End If
            col = col + 1
        End While
        'sql = sql + setSQL + whereSQL
        sql = sql + whereSQL
        data.Query(sql)
    End If

    c = c + 1
    j = 0
End While

If datoError > Convert.ToDecimal(txtError.Text) Then
    txtSalida.Text = txtSalida.Text + "Error con respecto al dato esperado:" +
datoError.ToString & vbCrLf & vbCrLf
End If
h = h + 1

End While

```

```
        txtSalida.Text = txtSalida.Text +  
"_____ " & vbCrLf & vbCrLf  
  
        End If  
        numFilas = numFilas + 1  
    End While  
  
Dim MPL As OptiMax  
Dim planModel As Model  
Dim result As Integer  
  
mpl = New OptiMax  
  
'MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft\neuronas\neuronas\neuronas\bin\Debug"  
MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft"  
MPL.Solvers.Add("cplex") 'Ipsolve  
  
planModel = MPL.Models.Add("pruebamatprimconpdcfinal")  
result = planModel.ReadModel("pruebamatprimconpdcfinal.mpl")  
If result > 0 Then  
    MsgBox(planModel.ErrorMessage)  
Else  
    Dim tttotal As String = planModel.Solution.TotalTime.ToString  
    Dim tsolucion As String = planModel.Solution.SolutionTime.ToString  
    planModel.Solve()  
  
    rtxtMPL.LoadFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)  
    rtxtMPL.Text = ""  
    rtxtMPL.SaveFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)  
    planModel.WriteSolutionFile(ruta + "\MPL.rtf")  
  
    rtxtMPL.LoadFile(ruta + "\MPL.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)  
  
    Dim c As Integer = 0  
    While c < 25  
        macros1(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Value  
        macrosn(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Name.ToString  
        c = c + 1  
    End While  
    macros1(25) = planModel.Solution.ObjectValue  
    MsgBox(planModel.Solution.ResultString + ": " +  
planModel.Solution.ObjectValue.ToString + " , Tiempo total:" + tttotal)  
    tab.SelectedIndex = 5  
End If  
  
Dim MPL As OptiMax  
Dim planModel As Model
```

```

Dim result As Integer
MPL = New OptiMax

'MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft\neuronas\neuronas\neuronas\bin\Debug"
MPL.WorkingDirectory = "C:\Soft"
MPL.Solvers.Add("cplex") 'Ipsolve

planModel = MPL.Models.Add("pruebamatprimconpdcfinalIncer")
result = planModel.ReadModel("pruebamatprimconpdcfinalIncer.mpl")
If result > 0 Then
    MsgBox(planModel.ErrorMessage)
Else
    Dim tttotal As String = planModel.Solution.TotalTime.ToString
    Dim tsolucion As String = planModel.Solution.SolutionTime.ToString
    planModel.Solve()

    rtxtMPLIncer.LoadFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    rtxtMPLIncer.Text = ""
    rtxtMPLIncer.SaveFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)
    planModel.WriteSolutionFile(ruta + "\MPLIncer.rtf")

    rtxtMPLIncer.LoadFile(ruta + "\MPLIncer.rtf", RichTextBoxStreamType.PlainText)

    Dim c As Integer = 0
    rtxtComparacion.Text = "Macros" & vbCrLf
    While c < 25
        macros2(c) = planModel.Macros.Item(nombre(c)).Value
        macrosRta(c) = macros1(c) - macros2(c)
        rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + " " + macrosn(c) + ": " +
macros1(c).ToString + " - " + macros2(c).ToString + " = " + macrosRta(c).ToString &
vbCrLf

        c = c + 1
    End While
    macros2(25) = planModel.Solution.ObjectValue

    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + vbCrLf
    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + "Funcion Objetivo " & vbCrLf
    rtxtComparacion.Text = rtxtComparacion.Text + "MMD " + macros1(25).ToString
+ " - MMI " + macros2(25).ToString + " = " + (macros1(25) - macros2(25)).ToString

    MsgBox(planModel.Solution.ResultString + ": " +
planModel.Solution.ObjectValue.ToString + " , Tiempo total:" + tttotal)
    tab.SelectedIndex = 6
End If

```

PLATAFORMA DE CONEXIÓN CON LA BASE DE DATOS

```
Imports System.Data.OleDb
```

```
Public Class MSAccess
```

```
Private __cnx As OleDb.OleDbConnection  
Private mCmd As OleDb.OleDbCommand
```

```
Public Sub New()
```

```
Dim ConnStr As String = ""
```

```
Try
```

```
ConnStr = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;User ID=Admin;Data  
Source=C:\Soft\datos de entrada.mdb;Persist Security Info=False"
```

```
__cnx = New OleDbConnection
```

```
__cnx.ConnectionString = ConnStr
```

```
__cnx.Open()
```

```
'Call Conectar()
```

```
Catch OleDbEx As OleDb.OleDbException
```

```
MsgBox(OleDbEx.ToString)
```

```
Catch ex As Exception
```

```
MsgBox(ex.ToString)
```

```
End Try
```

```
End Sub
```

```
Public Function fill(ByVal sSQL As String, ByVal tabla As String) As DataTable
```

```
Dim datos As DataSet
```

```
Try
```

```
If __cnx.State <> ConnectionState.Open Then Call __cnx.Open()
```

```
If __cnx.State = ConnectionState.Open Then
```

```
datos = New DataSet()
```

```
Dim adapt As OleDbDataAdapter
```

```
adapt = New OleDbDataAdapter(sSQL, __cnx)
```

```
adapt.Fill(datos, tabla)
```

```
fill = datos.Tables(0)
```

```
Else
```

```
Return Nothing
```

```
End If
```

```
Catch OleDbEx As OleDbException
```

```
MsgBox(OleDbEx.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error SQL Server")
```

```
Return Nothing
```

```
Catch ex As Exception
```

```
MsgBox(ex.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error de ejecución")
```

```
Return Nothing
```

```
End Try
```

```
End Function
```

```

Public Function Query(ByVal sSQL As String) As OleDbDataReader
    Dim cmdTmp As OleDbCommand
    Try
        If __cnx.State <> ConnectionState.Open Then Call __cnx.Open()
        If __cnx.State = ConnectionState.Open Then
            cmdTmp = New OleDbCommand(sSQL)
            cmdTmp.CommandTimeout = 3600
            cmdTmp.CommandType = CommandType.Text
            cmdTmp.Connection = __cnx
            Return cmdTmp.ExecuteReader()
        Else
            Return Nothing
        End If

        Catch OleDbEx As OleDbException
            MsgBox(OleDbEx.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error SQL Server")
            Return Nothing
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error de ejecución")
            Return Nothing
        End Try
    End Function

Public Function Execute(ByVal sSQL As String) As Long
    Dim cmdTmp As OleDbCommand
    Try
        If __cnx.State <> ConnectionState.Open Then Call __cnx.Open()
        If __cnx.State = ConnectionState.Open Then
            cmdTmp = New OleDbCommand(sSQL)
            cmdTmp.CommandTimeout = 3600
            cmdTmp.CommandType = CommandType.Text
            cmdTmp.Connection = __cnx
            Return cmdTmp.ExecuteNonQuery()
        Else
            Return 0
        End If

        Catch OleDbEx As OleDbException
            MsgBox(OleDbEx.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error SQL Server")
            Return 0
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.ToString, MsgBoxStyle.Critical, "Error de ejecución")
            Return 0
        End Try
    End Function
End Class

```

## E. Manual de uso de la Plataforma SCANN

### Introducción de datos.

Para la introducción de los datos y parámetros de la ANN, se partirá de cuadros de diálogos y celdas en el entorno Microsoft Windows. Como se ha observado en el Capítulo 3, los datos de partida de la Metodología Propuesta a cargar son:

Para la Red Neuronal:

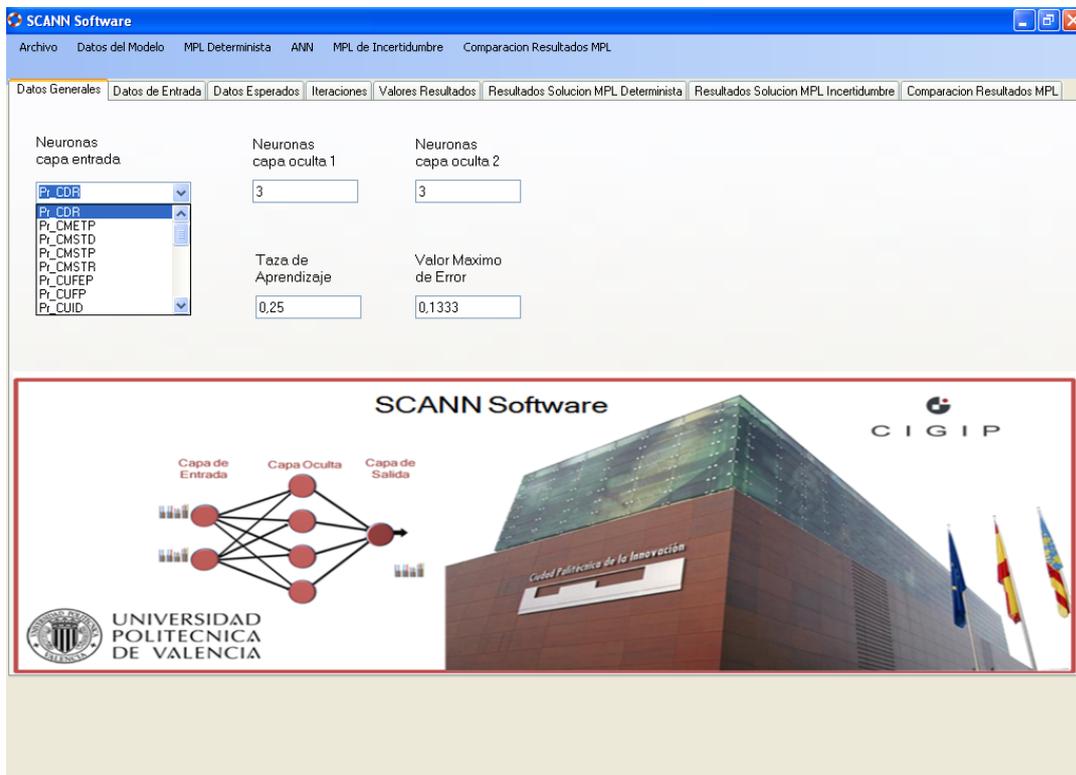
- Número de entradas de la capa de entrada, es decir, los parámetros inciertos que se utilizarán.
- Número de capas ocultas son las generan el proceso de la ANN.
- Número de salidas para la salida de la ANN.
- Taza de aprendizaje.
- Valor máximo de error.

Los parámetros inciertos específicos para la Plataforma SCANNNS son:

- Coste de Diferir en una unidad la demanda de  $r$  para  $i$  en  $t$  a  $t+1$  " $CDD_{rit}$ "
- Coste por Unidad de Fabricación en  $p$  y en  $j$  para  $i$ , " $CUF_{pji}$ "
- Coste por Unidad de Fabricación en tiempo Extra en  $p$  y en  $j$  para  $i$ , " $CUFE_{pji}$ "
- Coste por Unidad de Inventario en  $g$  para  $m$ , " $CUI_{gm}$ "
- Coste por Unidad de Inventario en  $p$  para  $i$ , " $CUI_{pi}$ "
- Coste por Unidad de Inventario en  $d$  para  $i$ , " $CUI_{di}$ "
- Coste por Unidad de Inventario en  $r$  para  $i$ , " $CUI_{ri}$ "
- Coste por Unidad de Transporte desde  $g$  a  $p$  para  $m$ , " $CUT_{gpm}$ "
- Máxima Capacidad de Inventario en  $g$ , " $MCI_g$ "
- Máxima Cantidad de Fabricación en tiempo regular en La Planta  $p$  en el Recurso de Producción  $j$  en el tiempo  $t$ , " $MQFN_{pjt}$ "
- Maxima Cantidad de Fabricación en tiempo extra en La Planta  $p$  en el Recurso de Producción  $j$  en el tiempo  $t$ , " $MQFE_{pjt}$ "
- Pronóstico de la Demanda del Cliente en  $r$  para  $i$  en  $t$ , " $PDC_{rit}$ "

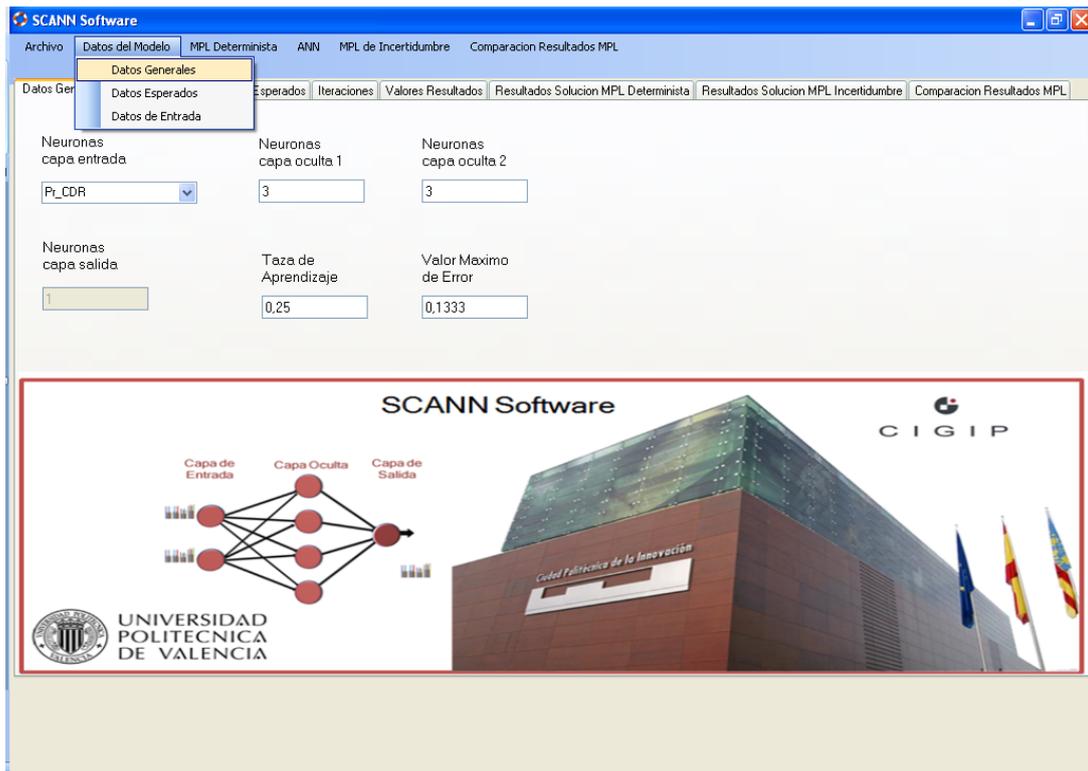
## Cuadros de diálogos.

A continuación, se muestran los diferentes pasos para la ejecución del modelo propuesto.



**Figura 7.1.- Introducción de los datos de la Red Neuronal**

Como se ve en la Figura 7.1, hay una opción del menú llamada “Neuronas de capa de entrada”, en las que están los parámetros inciertos (apartado 3.3.2). El usuario a partir de ésta opción puede decidir que parámetros inciertos tiene en cuenta a la hora de ejecutar la opción del menú llamada “ANN” de la Plataforma SCANN. Estos parámetros inciertos son precisos para ejecutar la Plataforma Tecnológica, ya que son los datos de entrada de cada Red Neuronal. El decisor tiene la posibilidad de introducir los valores para cada parámetro incierto (en este caso son cinco valores).



**Figura 7.2.- Introducción de los datos de la Red Neuronal**

Como se observa en la Figura 7.2, se declaran una serie de datos para el proceso de resolución de la ANN. Para este modelo, lo importante es introducir el número adecuado de Capas de Entrada, Capas Ocultas, Capas de Salida, Taza de Aprendizaje, Error Cuadrático Medio y su tipo de configuración, dependiendo del número de capas ocultas preciso para modelar.

En el cuadro interactivo de la Figura 7.3, se observa una opción del menú llamada “Datos del Modelo”, que al hacer clic en esta se puede ir hasta la función de “Datos de Entrada”. Y al pinchar en ésta se puede ver una nueva ventana, en la que se introducen los valores para cada parámetro con incertidumbre, relacionados con la ejecución de cada Red Neuronal, para la primera etapa de desarrollo del modelo. Por otra parte, el decisor del problema tiene la posibilidad de introducir cinco posibles valores para cada uno de los parámetros inciertos, siendo estos de gran importancia para todo el proceso general de la Plataforma SCANN.

The screenshot shows the SCANN Software interface with the 'Datos Esperados' menu option selected. The table below represents the data being entered.

Datos de Entrada		ProductosFinales	Periodos	CDR1	CDR2	CDR3	CDR4	CDR5
Detallista1	Ciente1	A	1	100	90	80	96	76
Detallista1	Ciente1	A	2	90	80	96	76	100
Detallista1	Ciente1	A	3	80	96	76	85	95
Detallista1	Ciente1	A	4	96	76	85	95	80
Detallista1	Ciente1	A	5	90	100	80	80	96
Detallista1	Ciente1	A	6	110	90	96	96	76
Detallista1	Ciente1	A	7	120	80	76	76	85
Detallista1	Ciente1	A	8	90	96	85	85	80
Detallista1	Ciente1	B	1	80	90	80	80	96
Detallista1	Ciente1	B	2	78	110	96	96	76
Detallista1	Ciente1	B	3	76	120	76	76	85
Detallista1	Ciente1	B	4	85	90	85	85	80
Detallista1	Ciente1	B	5	80	80	80	80	96
Detallista1	Ciente1	B	6	96	78	96	96	76
Detallista1	Ciente1	B	7	76	96	76	76	85
Detallista1	Ciente1	B	8	85	76	85	85	80
Detallista1	Ciente1	C	1	80	85	80	80	96
Detallista1	Ciente1	C	2	96	80	96	96	76
Detallista1	Ciente1	C	3	76	96	76	76	85

**Figura 7.3.- Introducción de los parámetros con Incertidumbre**

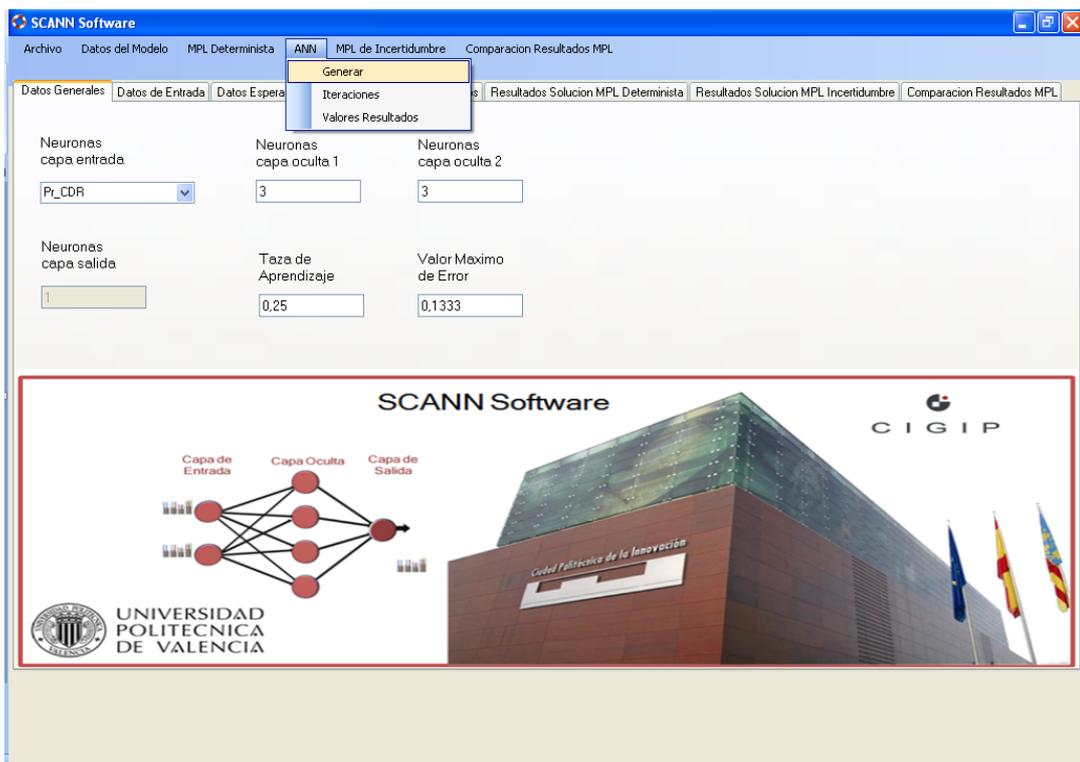
The screenshot shows the SCANN Software interface with the 'Datos Esperados' menu option selected. The table below represents the data being entered.

Datos de Entrada		ProductosFinales	Periodos	CDR
Detallista1	Ciente1	A	1	100
Detallista1	Ciente1	A	2	90
Detallista1	Ciente1	A	3	80
Detallista1	Ciente1	A	4	96
Detallista1	Ciente1	A	5	90
Detallista1	Ciente1	A	6	110
Detallista1	Ciente1	A	7	120
Detallista1	Ciente1	A	8	90
Detallista1	Ciente1	B	1	80
Detallista1	Ciente1	B	2	78
Detallista1	Ciente1	B	3	76
Detallista1	Ciente1	B	4	85
Detallista1	Ciente1	B	5	80
Detallista1	Ciente1	B	6	96
Detallista1	Ciente1	B	7	76
Detallista1	Ciente1	B	8	85
Detallista1	Ciente1	C	1	80
Detallista1	Ciente1	C	2	96
Detallista1	Ciente1	C	3	76

**Figura 7.4.- Introducción de los Datos Esperado a la Salida de la Red Neuronal**

En la Figura 7.4, hay una opción del menú llamada "Datos del Modelo" que al hacer clic en ésta y al deslizarse hasta la función de "Datos Esperados", se puede pinchar e introducir los Valores Esperados para cada salida de cada Red Neuronal. Estos Valores Esperados se compararán con los Valores de Salida Real para determinar una mejor

solución y conocer qué número de iteraciones son necesarias, esto se realiza a partir del valor de Error Cuadrático Medio.



**Figura 7.5.- Generación de valores de salida de la Red Neuronal**

En la Figura 7.5, se observa la opción del menú llamada “ANN”, que al hacer clic en ésta se muestra una función llamada “Generar”, que al pinchar en ésta, pone en funcionamiento la Red Neuronal. Esto a partir de los factores que están implicados en el proceso de la Red Neuronal y éstos son: Datos de Entrada, Datos Esperados, Parámetros Inciertos (Capa de Entrada, Capa Oculta, Capa de Salida, Taza de Aprendizaje y Error Cuadrático Medio).

En la Figura 7.6, se puede apreciar la opción del menú “ANN”, y al hacer clic en ésta, se puede ver una función llamada “Iteraciones”, que al pinchar en esta, se puede observar el funcionamiento interno de la Red Neuronal. Observando los Datos de Entrada, los valores obtenidos en cada Capa Oculta de la Red Neuronal, y también el número de iteraciones para llegar a la mejor solución.

En la opción del menú llamada “ANN” de la Figura 7.7, al hacer clic en ésta, se observa la opción “Valores Resultados” y se pincha en ésta para poder observar los resultados finales de la Red Neuronal para cada parámetro incierto (en este caso es el valor real de salida obtenido al ejecutar la Red Neuronal”).

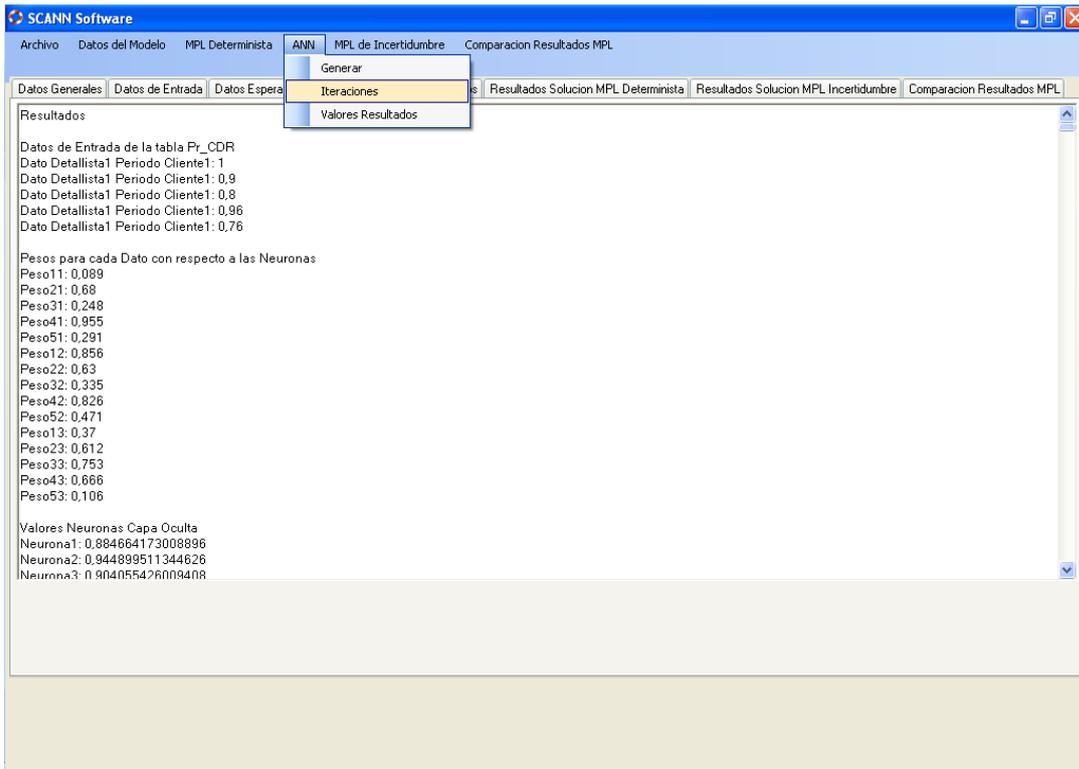


Figura 7.6.- Iteración de valores de salida de la Red Neuronal

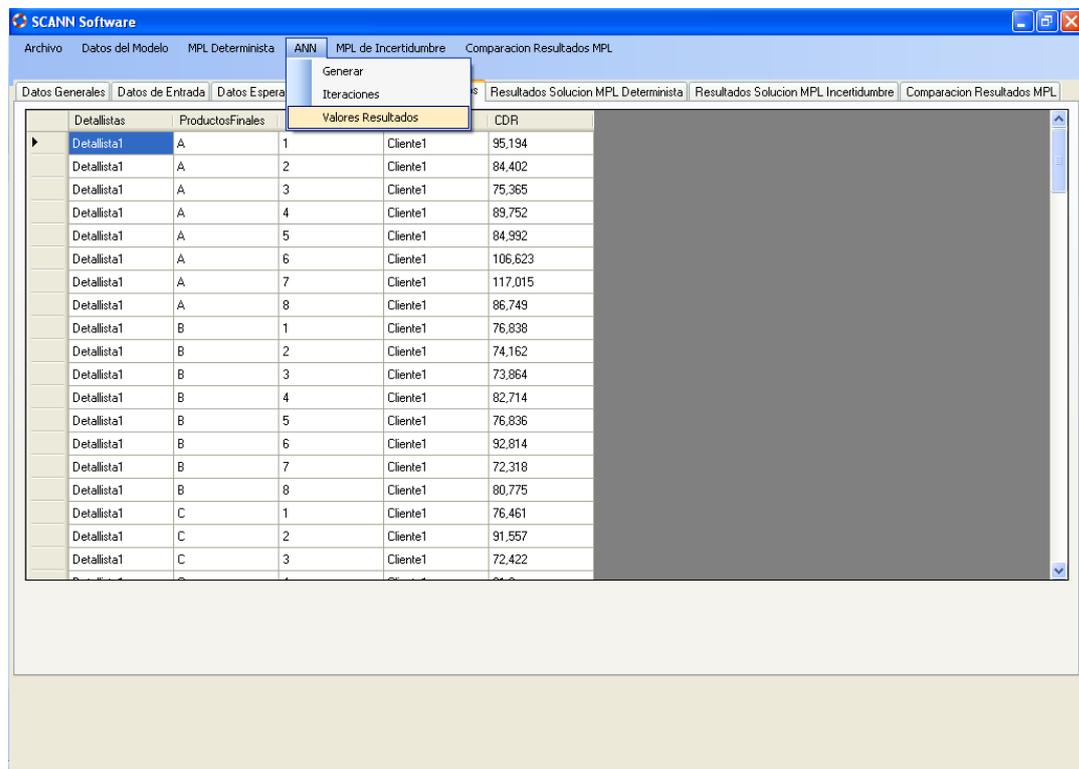
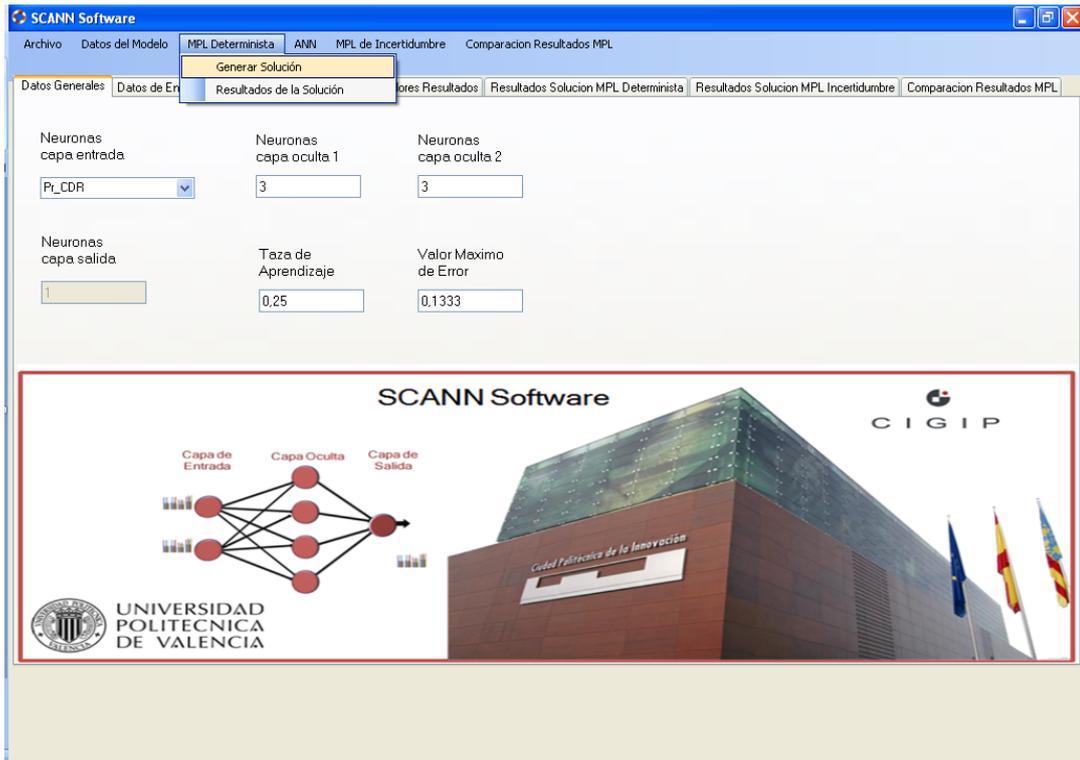
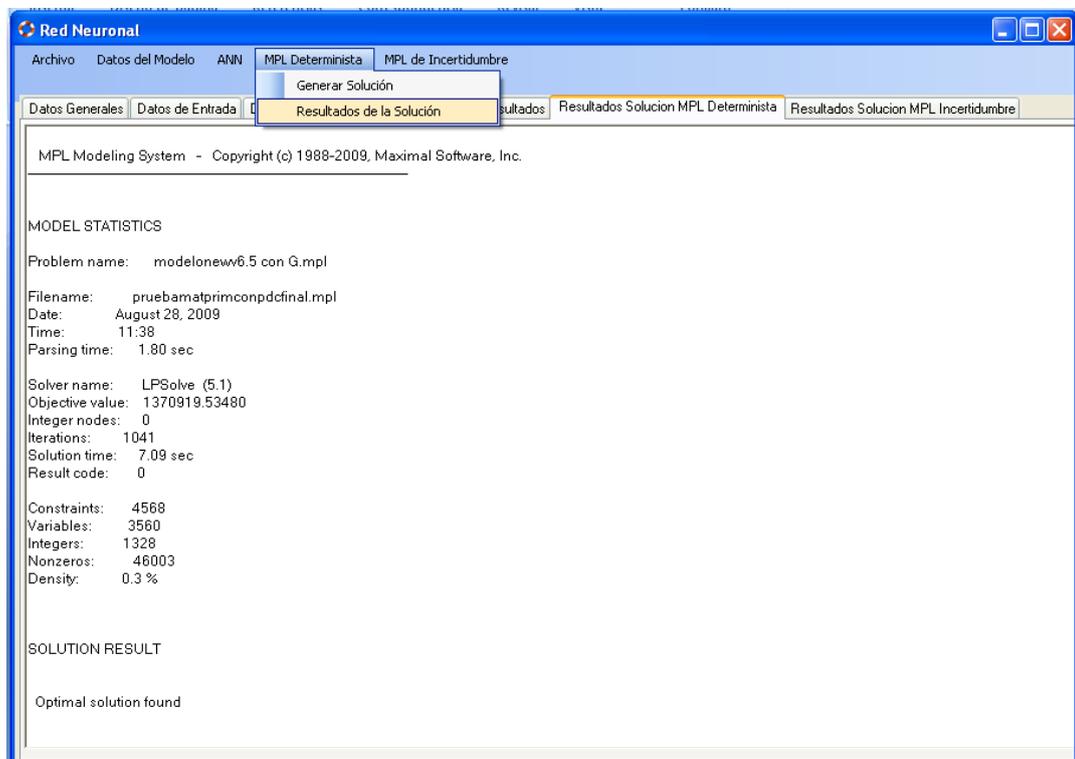


Figura 7.7.-Resultado de salida de la Red Neuronal

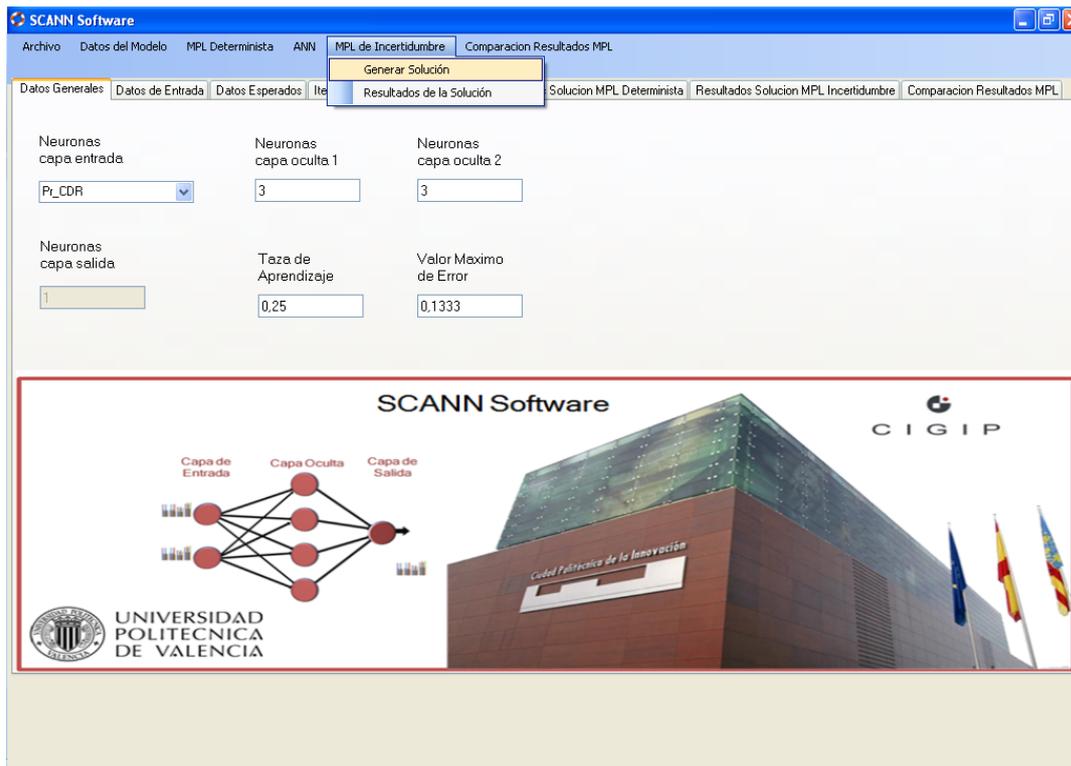


**Figura 7.8.- Solución del Modelo Matemático Determinista**

Esta opción del menú de la plataforma (Figura 7.8), es la que genera la solución del Modelo Determinista, que al hacer clic en “Generar Solución”, se tiene la posibilidad de analizar la solución del Modelo Determinista (Ver Figura 7.9).

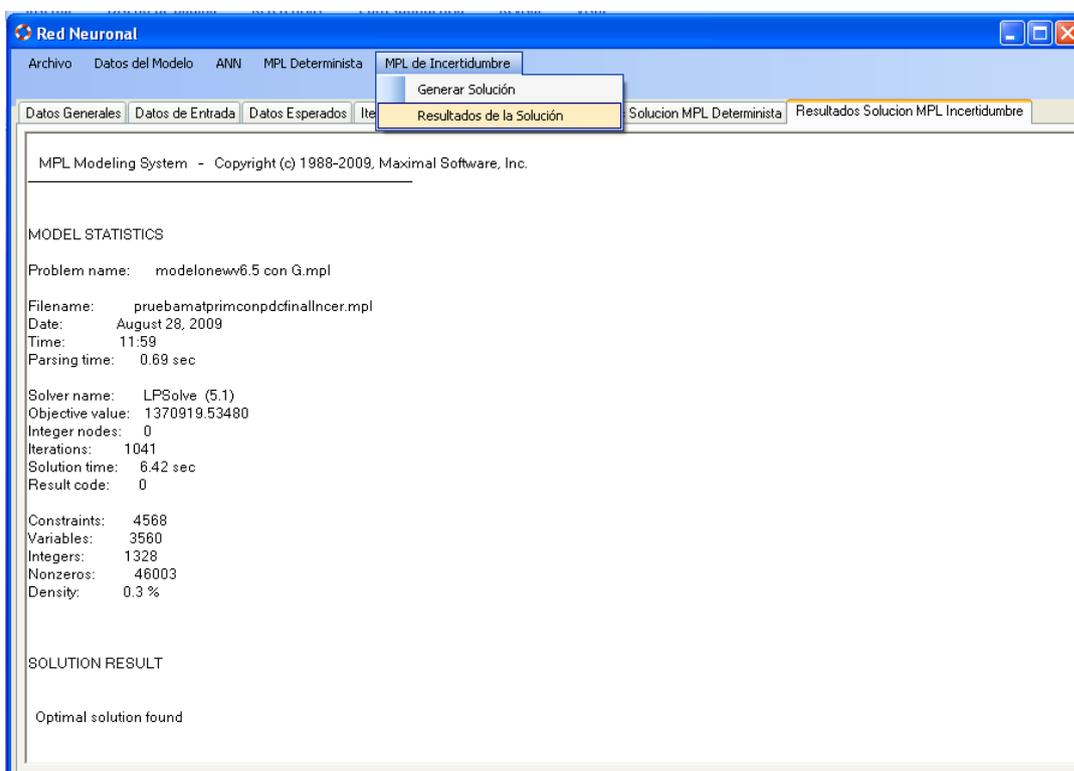


**Figura 7.9.- Resultados del Modelo Matemático Determinista**



**Figura 7.10.- Solución del Modelo Matemático con Incertidumbre**

En la Figura 7.10, se observa la opción del menú llamada “MPL con Incertidumbre” que al hacer clic en esta, se observa otra opción “Generar solución” y que al pinchar en ésta, se puede analizar la solución del Modelo con Incertidumbre (Ver Figura 7.11)



**Figura 7.11.- Resultados del Modelo Matemático con Incertidumbre**

La comparación de los resultados del MMD y del MMI de la Plataforma SCANN se puede observar en la opción del menú “Comparación Resultados MPL”, que al ejecutar ésta, se pueden observar los resultados en una nueva ventana.

Y por último en la Figura 7.13 se puede observar la opción del menú “Salir” de la Plataforma SCANN.

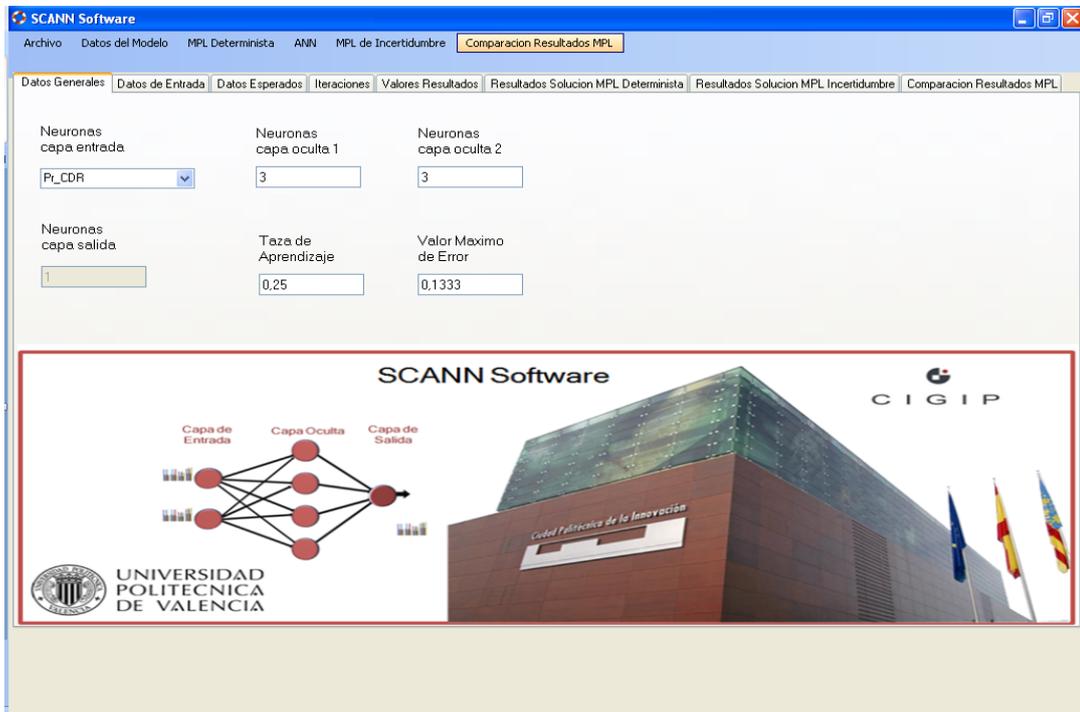


Figura 7.12.- Comparación de resultados del MMD y MMD

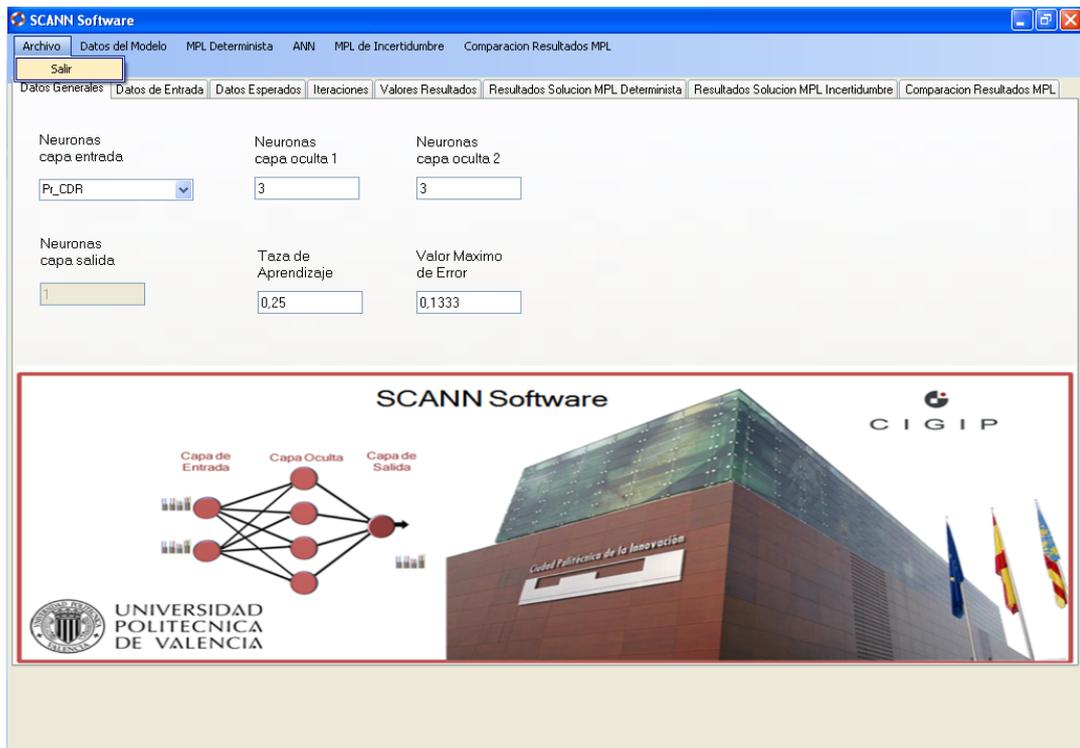


Figura 7.13.- Ventana de cómo salir de la Plataforma SCANN

## F. Resultados y Análisis

### Modelo Determinista.

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	1497,516
Planta1	Distribuidor1	A	2	3653,9
Planta1	Distribuidor1	A	7	3936,805
Planta1	Distribuidor1	B	1	2400
Planta1	Distribuidor1	B	2	7998,399
Planta1	Distribuidor1	B	7	4323,006
Planta1	Distribuidor1	C	1	1279,817
Planta1	Distribuidor1	C	2	3002,244
Planta1	Distribuidor1	C	7	583,506
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	2	62,444
Planta1	Distribuidor1	D	7	743,675
Planta1	Distribuidor2	A	7	3033,84
Planta1	Distribuidor2	B	7	3926,145
Planta1	Distribuidor2	C	7	2621,66
Planta1	Distribuidor2	D	7	1218,443
Planta2	Distribuidor1	A	2	4391,748
Planta2	Distribuidor1	A	3	5424,998
Planta2	Distribuidor1	A	5	3807,729
Planta2	Distribuidor1	B	2	9515,475
Planta2	Distribuidor1	B	3	12421,983
Planta2	Distribuidor1	B	5	5405,387
Planta2	Distribuidor1	C	2	3631,356
Planta2	Distribuidor1	C	3	4408,332
Planta2	Distribuidor1	C	5	2978,441
Planta2	Distribuidor1	D	2	1184,425
Planta2	Distribuidor1	D	3	1470,152
Planta2	Distribuidor1	D	5	512,372
Planta2	Distribuidor2	A	1	1585,971
Planta2	Distribuidor2	B	1	4207,106
Planta2	Distribuidor2	C	1	1227,554
Planta2	Distribuidor2	D	1	1733,051

**Tabla 7.1.-Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	1	1397,516
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1852,702
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2156,471
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1817,807
Distribuidor1	Detallista1	A	5	885,916
Distribuidor1	Detallista1	A	6	1886,484
Distribuidor1	Detallista1	A	7	1955,47
Distribuidor1	Detallista1	B	1	2300
Distribuidor1	Detallista1	B	2	3997,673
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4734,579
Distribuidor1	Detallista1	B	4	3903,488
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2219,811
Distribuidor1	Detallista1	B	6	2749,214
Distribuidor1	Detallista1	B	7	2184,588
Distribuidor1	Detallista1	C	1	1179,817
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1486,156
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1820,254
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1472,191
Distribuidor1	Detallista1	C	5	847,101
Distribuidor1	Detallista1	C	6	1453,918
Distribuidor1	Detallista1	C	7	307,653
Distribuidor1	Detallista1	D	3	584,435
Distribuidor1	Detallista1	D	4	687,546
Distribuidor1	Detallista1	D	6	246,662
Distribuidor1	Detallista1	D	7	372,235
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1801,198
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2235,277
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1826,176
Distribuidor1	Detallista2	A	5	895,099
Distribuidor1	Detallista2	A	6	1921,245
Distribuidor1	Detallista2	A	7	1981,335
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4000,726
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4780,896
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4099,063
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2199,621
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2656,173
Distribuidor1	Detallista2	B	7	2138,418
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1516,088
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1811,102
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1454,649
Distribuidor1	Detallista2	C	5	634,391
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1524,523

Distribuidor1	Detallista2	C	7	275,853
Distribuidor1	Detallista2	D	2	62,444
Distribuidor1	Detallista2	D	3	599,99
Distribuidor1	Detallista2	D	4	782,606
Distribuidor1	Detallista2	D	6	265,71
Distribuidor1	Detallista2	D	7	371,44
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1522,737
Distribuidor2	Detallista1	B	1	900,535
Distribuidor2	Detallista1	B	8	1991,386
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1268,13
Distribuidor2	Detallista1	D	1	832,538
Distribuidor2	Detallista1	D	8	629,088
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1485,971
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1511,103
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3206,571
Distribuidor2	Detallista2	B	8	1934,759
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1127,554
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1353,53
Distribuidor2	Detallista2	D	1	800,513
Distribuidor2	Detallista2	D	8	589,355

**Tabla 7.2.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	933,176
Detallista1	Ciente1	A	2	1200,644
Detallista1	Ciente1	A	3	1420,721
Detallista1	Ciente1	A	4	1173,331
Detallista1	Ciente1	A	5	571,279
Detallista1	Ciente1	A	6	739,318
Detallista1	Ciente1	A	7	930,121
Detallista1	Ciente1	A	8	834,236
Detallista1	Ciente1	B	1	1476,795
Detallista1	Ciente1	B	2	1804,69
Detallista1	Ciente1	B	3	2124,818
Detallista1	Ciente1	B	4	1723,487
Detallista1	Ciente1	B	5	1038,777
Detallista1	Ciente1	B	6	1215,91
Detallista1	Ciente1	B	7	1075,743
Detallista1	Ciente1	B	8	676,683
Detallista1	Ciente1	C	1	419,254
Detallista1	Ciente1	C	2	535,721
Detallista1	Ciente1	C	3	629,318
Detallista1	Ciente1	C	4	513,295

Detallista1	Ciente1	C	5	232,81
Detallista1	Ciente1	C	6	291,454
Detallista1	Ciente1	C	7	201,501
Detallista1	Ciente1	C	8	462,373
Detallista1	Ciente1	D	1	209,644
Detallista1	Ciente1	D	2	260,511
Detallista1	Ciente1	D	3	313,468
Detallista1	Ciente1	D	4	253,184
Detallista1	Ciente1	D	5	126,3
Detallista1	Ciente1	D	6	131,109
Detallista1	Ciente1	D	7	78,971
Detallista1	Ciente1	D	8	153,485
Detallista1	Ciente2	A	1	488,34
Detallista1	Ciente2	A	2	652,058
Detallista1	Ciente2	A	3	735,75
Detallista1	Ciente2	A	4	644,476
Detallista1	Ciente2	A	5	314,637
Detallista1	Ciente2	A	6	1147,166
Detallista1	Ciente2	A	7	1025,349
Detallista1	Ciente2	A	8	688,501
Detallista1	Ciente2	B	1	1747,74
Detallista1	Ciente2	B	2	2192,983
Detallista1	Ciente2	B	3	2609,761
Detallista1	Ciente2	B	4	2180,001
Detallista1	Ciente2	B	5	1181,034
Detallista1	Ciente2	B	6	1533,304
Detallista1	Ciente2	B	7	1108,845
Detallista1	Ciente2	B	8	1314,703
Detallista1	Ciente2	C	1	784,563
Detallista1	Ciente2	C	2	950,435
Detallista1	Ciente2	C	3	1190,936
Detallista1	Ciente2	C	4	958,896
Detallista1	Ciente2	C	5	614,291
Detallista1	Ciente2	C	6	1162,464
Detallista1	Ciente2	C	7	106,152
Detallista1	Ciente2	C	8	805,757
Detallista1	Ciente2	D	1	172,48
Detallista1	Ciente2	D	2	213,903
Detallista1	Ciente2	D	3	270,967
Detallista1	Ciente2	D	4	212,937
Detallista1	Ciente2	D	5	95,125
Detallista1	Ciente2	D	6	115,553
Detallista1	Ciente2	D	7	293,264
Detallista1	Ciente2	D	8	475,603
Detallista2	Ciente1	A	1	986,088

Detallista2	Ciente1	A	2	1140,605
Detallista2	Ciente1	A	3	1454,13
Detallista2	Ciente1	A	4	1182,938
Detallista2	Ciente1	A	5	588,772
Detallista2	Ciente1	A	6	745,611
Detallista2	Ciente1	A	7	964,922
Detallista2	Ciente1	A	8	869,737
Detallista2	Ciente1	B	1	1476,938
Detallista2	Ciente1	B	2	1781,66
Detallista2	Ciente1	B	3	2173,77
Detallista2	Ciente1	B	4	1811,642
Detallista2	Ciente1	B	5	998,089
Detallista2	Ciente1	B	6	1173,143
Detallista2	Ciente1	B	7	1050,307
Detallista2	Ciente1	B	8	646,925
Detallista2	Ciente1	C	1	419,971
Detallista2	Ciente1	C	2	511,637
Detallista2	Ciente1	C	3	638,568
Detallista2	Ciente1	C	4	488,439
Detallista2	Ciente1	C	5	230,974
Detallista2	Ciente1	C	6	284,83
Detallista2	Ciente1	C	7	185,423
Detallista2	Ciente1	C	8	487,633
Detallista2	Ciente1	D	1	203,737
Detallista2	Ciente1	D	2	278,04
Detallista2	Ciente1	D	3	328,219
Detallista2	Ciente1	D	4	276,887
Detallista2	Ciente1	D	5	107,051
Detallista2	Ciente1	D	6	149,289
Detallista2	Ciente1	D	7	88,97
Detallista2	Ciente1	D	8	124,592
Detallista2	Ciente2	A	1	523,883
Detallista2	Ciente2	A	2	660,593
Detallista2	Ciente2	A	3	781,147
Detallista2	Ciente2	A	4	643,238
Detallista2	Ciente2	A	5	306,327
Detallista2	Ciente2	A	6	1175,634
Detallista2	Ciente2	A	7	1016,413
Detallista2	Ciente2	A	8	641,366
Detallista2	Ciente2	B	1	1753,633
Detallista2	Ciente2	B	2	2219,066
Detallista2	Ciente2	B	3	2607,126
Detallista2	Ciente2	B	4	2287,421
Detallista2	Ciente2	B	5	1201,532
Detallista2	Ciente2	B	6	1483,03

Detallista2	Ciente2	B	7	1088,111
Detallista2	Ciente2	B	8	1287,834
Detallista2	Ciente2	C	1	731,583
Detallista2	Ciente2	C	2	1004,451
Detallista2	Ciente2	C	3	1172,534
Detallista2	Ciente2	C	4	966,21
Detallista2	Ciente2	C	5	403,417
Detallista2	Ciente2	C	6	1239,693
Detallista2	Ciente2	C	7	90,43
Detallista2	Ciente2	C	8	865,897
Detallista2	Ciente2	D	1	181,964
Detallista2	Ciente2	D	2	223,216
Detallista2	Ciente2	D	3	271,771
Detallista2	Ciente2	D	4	217,277
Detallista2	Ciente2	D	5	181,391
Detallista2	Ciente2	D	6	116,421
Detallista2	Ciente2	D	7	282,47
Detallista2	Ciente2	D	8	464,763

**Tabla 7.3.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente.**

### Tasa de Aprendizaje

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	1548,906
Planta1	Distribuidor1	B	1	3352,501
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta2	Distribuidor1	A	1	3667,164
Planta2	Distribuidor1	A	2	4384,669
Planta2	Distribuidor1	A	3	3608,172
Planta2	Distribuidor1	A	4	1806,865
Planta2	Distribuidor1	A	5	7807,902
Planta2	Distribuidor1	A	7	3025,009
Planta2	Distribuidor1	B	1	8083,324
Planta2	Distribuidor1	B	2	9672,19
Planta2	Distribuidor1	B	3	8177,034
Planta2	Distribuidor1	B	4	4341,626
Planta2	Distribuidor1	B	5	9713,509
Planta2	Distribuidor1	B	7	4028,185
Planta2	Distribuidor1	C	1	2981,707
Planta2	Distribuidor1	C	2	3565,849
Planta2	Distribuidor1	C	3	2929,259
Planta2	Distribuidor1	C	4	1502,46

Planta2	Distribuidor1	C	5	3475,149
Planta2	Distribuidor1	C	7	2666,952
Planta2	Distribuidor1	D	1	951,414
Planta2	Distribuidor1	D	2	1173,88
Planta2	Distribuidor1	D	3	941,703
Planta2	Distribuidor1	D	4	504,255
Planta2	Distribuidor1	D	5	1238,056
Planta2	Distribuidor1	D	7	1208,335
Planta2	Distribuidor2	A	1	1447,545
Planta2	Distribuidor2	B	1	3280,62
Planta2	Distribuidor2	C	1	2434,255
Planta2	Distribuidor2	D	1	822,173

**Tabla 7.4.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1829,584
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2151,756
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1775,857
Distribuidor1	Detallista1	A	5	897,855
Distribuidor1	Detallista1	A	6	3879,513
Distribuidor1	Detallista1	A	8	1540,098
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4012,462
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4901,509
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4079,141
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2171,471
Distribuidor1	Detallista1	B	6	4750,917
Distribuidor1	Detallista1	B	8	1991,093
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1513,041
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1789,185
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1478,454
Distribuidor1	Detallista1	C	5	862,081
Distribuidor1	Detallista1	C	6	1695,606
Distribuidor1	Detallista1	C	8	1308,522
Distribuidor1	Detallista1	D	2	467,265
Distribuidor1	Detallista1	D	3	586,892
Distribuidor1	Detallista1	D	4	471,453
Distribuidor1	Detallista1	D	5	215,423
Distribuidor1	Detallista1	D	6	623,53
Distribuidor1	Detallista1	D	8	619,207
Distribuidor1	Detallista2	A	1	1448,906
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1837,58
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2232,913
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1832,315

Distribuidor1	Detallista2	A	5	909,01
Distribuidor1	Detallista2	A	6	3928,389
Distribuidor1	Detallista2	A	8	1484,911
Distribuidor1	Detallista2	B	1	3252,501
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4070,862
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4770,681
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4097,893
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2170,155
Distribuidor1	Detallista2	B	6	4962,592
Distribuidor1	Detallista2	B	8	2037,092
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1468,666
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1776,664
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1450,805
Distribuidor1	Detallista2	C	5	640,379
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1779,543
Distribuidor1	Detallista2	C	8	1358,43
Distribuidor1	Detallista2	D	2	484,149
Distribuidor1	Detallista2	D	3	586,988
Distribuidor1	Detallista2	D	4	470,25
Distribuidor1	Detallista2	D	5	288,832
Distribuidor1	Detallista2	D	6	614,526
Distribuidor1	Detallista2	D	8	589,128
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1347,545
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3180,62
Distribuidor2	Detallista1	C	1	1164,401
Distribuidor2	Detallista1	D	1	362,354
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1169,854
Distribuidor2	Detallista2	D	1	359,819

**Tabla 7.5.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	896,211
Detallista1	Ciente1	A	2	1185,071
Detallista1	Ciente1	A	3	1368,866
Detallista1	Ciente1	A	4	1127,699
Detallista1	Ciente1	A	5	593,798
Detallista1	Ciente1	A	6	746,204
Detallista1	Ciente1	A	7	950,71
Detallista1	Ciente1	A	8	856,36
Detallista1	Ciente1	B	1	1474,902
Detallista1	Ciente1	B	2	1813,242
Detallista1	Ciente1	B	3	2244,291
Detallista1	Ciente1	B	4	1855,704

Detallista1	Ciente1	B	5	1005,751
Detallista1	Ciente1	B	6	1202,27
Detallista1	Ciente1	B	7	1013,856
Detallista1	Ciente1	B	8	632,445
Detallista1	Ciente1	C	1	410,963
Detallista1	Ciente1	C	2	531,028
Detallista1	Ciente1	C	3	639,612
Detallista1	Ciente1	C	4	518,1
Detallista1	Ciente1	C	5	237,085
Detallista1	Ciente1	C	6	272,533
Detallista1	Ciente1	C	7	198,253
Detallista1	Ciente1	C	8	461,466
Detallista1	Ciente1	D	1	206,977
Detallista1	Ciente1	D	2	254,525
Detallista1	Ciente1	D	3	315,676
Detallista1	Ciente1	D	4	259,072
Detallista1	Ciente1	D	5	125,373
Detallista1	Ciente1	D	6	130,423
Detallista1	Ciente1	D	7	81,184
Detallista1	Ciente1	D	8	152,092
Detallista1	Ciente2	A	1	475,334
Detallista1	Ciente2	A	2	644,513
Detallista1	Ciente2	A	3	782,89
Detallista1	Ciente2	A	4	648,158
Detallista1	Ciente2	A	5	304,057
Detallista1	Ciente2	A	6	1166,841
Detallista1	Ciente2	A	7	1015,758
Detallista1	Ciente2	A	8	683,738
Detallista1	Ciente2	B	1	1729,718
Detallista1	Ciente2	B	2	2199,22
Detallista1	Ciente2	B	3	2657,218
Detallista1	Ciente2	B	4	2223,437
Detallista1	Ciente2	B	5	1165,72
Detallista1	Ciente2	B	6	1412,899
Detallista1	Ciente2	B	7	1121,892
Detallista1	Ciente2	B	8	1358,648
Detallista1	Ciente2	C	1	777,438
Detallista1	Ciente2	C	2	982,013
Detallista1	Ciente2	C	3	1149,573
Detallista1	Ciente2	C	4	960,354
Detallista1	Ciente2	C	5	624,996
Detallista1	Ciente2	C	6	1113,81
Detallista1	Ciente2	C	7	111,01
Detallista1	Ciente2	C	8	847,056
Detallista1	Ciente2	D	1	179,377

Detallista1	Ciente2	D	2	212,74
Detallista1	Ciente2	D	3	271,216
Detallista1	Ciente2	D	4	212,381
Detallista1	Ciente2	D	5	90,05
Detallista1	Ciente2	D	6	114,609
Detallista1	Ciente2	D	7	297,314
Detallista1	Ciente2	D	8	467,115
Detallista2	Ciente1	A	1	962,019
Detallista2	Ciente1	A	2	1197,209
Detallista2	Ciente1	A	3	1476,632
Detallista2	Ciente1	A	4	1189,092
Detallista2	Ciente1	A	5	596,723
Detallista2	Ciente1	A	6	739,387
Detallista2	Ciente1	A	7	966,174
Detallista2	Ciente1	A	8	832,269
Detallista2	Ciente1	B	1	1477,421
Detallista2	Ciente1	B	2	1844,518
Detallista2	Ciente1	B	3	2138,081
Detallista2	Ciente1	B	4	1833,324
Detallista2	Ciente1	B	5	961,554
Detallista2	Ciente1	B	6	1221,962
Detallista2	Ciente1	B	7	1074,55
Detallista2	Ciente1	B	8	673,15
Detallista2	Ciente1	C	1	424,781
Detallista2	Ciente1	C	2	519,455
Detallista2	Ciente1	C	3	650,912
Detallista2	Ciente1	C	4	522
Detallista2	Ciente1	C	5	227,35
Detallista2	Ciente1	C	6	287,402
Detallista2	Ciente1	C	7	186,463
Detallista2	Ciente1	C	8	489,705
Detallista2	Ciente1	D	1	200,956
Detallista2	Ciente1	D	2	264,869
Detallista2	Ciente1	D	3	317,545
Detallista2	Ciente1	D	4	255,742
Detallista2	Ciente1	D	5	100,795
Detallista2	Ciente1	D	6	148,384
Detallista2	Ciente1	D	7	87,818
Detallista2	Ciente1	D	8	126,831
Detallista2	Ciente2	A	1	510,887
Detallista2	Ciente2	A	2	640,371
Detallista2	Ciente2	A	3	756,281
Detallista2	Ciente2	A	4	643,223
Detallista2	Ciente2	A	5	312,287
Detallista2	Ciente2	A	6	1212,17

Detallista2	Ciente2	A	7	1010,658
Detallista2	Ciente2	A	8	652,642
Detallista2	Ciente2	B	1	1799,08
Detallista2	Ciente2	B	2	2226,344
Detallista2	Ciente2	B	3	2632,6
Detallista2	Ciente2	B	4	2264,569
Detallista2	Ciente2	B	5	1208,601
Detallista2	Ciente2	B	6	1556,301
Detallista2	Ciente2	B	7	1109,779
Detallista2	Ciente2	B	8	1363,942
Detallista2	Ciente2	C	1	769,073
Detallista2	Ciente2	C	2	949,211
Detallista2	Ciente2	C	3	1125,752
Detallista2	Ciente2	C	4	928,805
Detallista2	Ciente2	C	5	413,029
Detallista2	Ciente2	C	6	1217,565
Detallista2	Ciente2	C	7	88,113
Detallista2	Ciente2	C	8	868,725
Detallista2	Ciente2	D	1	182,863
Detallista2	Ciente2	D	2	219,28
Detallista2	Ciente2	D	3	269,443
Detallista2	Ciente2	D	4	214,508
Detallista2	Ciente2	D	5	188,037
Detallista2	Ciente2	D	6	108,841
Detallista2	Ciente2	D	7	269,483
Detallista2	Ciente2	D	8	462,297

**Tabla 7.6.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

### **Error Cuadrático Medio (MSE)**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	1537,129
Planta1	Distribuidor1	A	5	1844,535
Planta1	Distribuidor1	B	1	2400
Planta1	Distribuidor1	B	5	4387,061
Planta1	Distribuidor1	C	1	900
Planta1	Distribuidor1	C	5	1510,508
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	5	518,698
Planta2	Distribuidor1	A	1	3720,545
Planta2	Distribuidor1	A	2	4486,117
Planta2	Distribuidor1	A	3	3717,348
Planta2	Distribuidor1	A	5	3868,391

Planta2	Distribuidor1	A	6	3980,872
Planta2	Distribuidor1	B	1	8192,454
Planta2	Distribuidor1	B	2	9869,042
Planta2	Distribuidor1	B	3	8194,367
Planta2	Distribuidor1	B	5	5521,29
Planta2	Distribuidor1	B	6	4386,048
Planta2	Distribuidor1	C	1	3024,799
Planta2	Distribuidor1	C	2	3675,133
Planta2	Distribuidor1	C	3	3037,665
Planta2	Distribuidor1	C	5	2969,182
Planta2	Distribuidor1	C	6	594,614
Planta2	Distribuidor1	D	1	978,449
Planta2	Distribuidor1	D	2	1181,525
Planta2	Distribuidor1	D	3	981,111
Planta2	Distribuidor1	D	5	514,648
Planta2	Distribuidor1	D	6	749,355
Planta2	Distribuidor2	A	1	1572,01
Planta2	Distribuidor2	A	8	3099,595
Planta2	Distribuidor2	B	1	4291,223
Planta2	Distribuidor2	B	8	4053,938
Planta2	Distribuidor2	C	1	1686,041
Planta2	Distribuidor2	C	8	2663,287
Planta2	Distribuidor2	D	1	836,091
Planta2	Distribuidor2	D	8	1235,93

**Tabla 7.7.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	1	1437,129
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1864,938
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2240,254
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1872,993
Distribuidor1	Detallista1	A	5	921,311
Distribuidor1	Detallista1	A	6	1913,106
Distribuidor1	Detallista1	A	7	2013,388
Distribuidor1	Detallista1	B	1	2300
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4100,015
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4940,747
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4104,707
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2221,067
Distribuidor1	Detallista1	B	6	2737,92
Distribuidor1	Detallista1	B	7	2222,603
Distribuidor1	Detallista1	C	1	800
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1502,137

Distribuidor1	Detallista1	C	3	1850,978
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1503,264
Distribuidor1	Detallista1	C	5	856,017
Distribuidor1	Detallista1	C	6	1435,247
Distribuidor1	Detallista1	C	7	313,081
Distribuidor1	Detallista1	D	2	480,322
Distribuidor1	Detallista1	D	3	587,632
Distribuidor1	Detallista1	D	4	482,615
Distribuidor1	Detallista1	D	5	221,249
Distribuidor1	Detallista1	D	6	249,517
Distribuidor1	Detallista1	D	7	380,931
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1855,607
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2245,863
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1844,355
Distribuidor1	Detallista2	A	5	923,224
Distribuidor1	Detallista2	A	6	1955,285
Distribuidor1	Detallista2	A	7	1967,484
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4092,439
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4928,295
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4089,66
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2165,994
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2783,37
Distribuidor1	Detallista2	B	7	2163,445
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1522,662
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1824,155
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1534,401
Distribuidor1	Detallista2	C	5	654,491
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1533,935
Distribuidor1	Detallista2	C	7	281,533
Distribuidor1	Detallista2	D	2	498,127
Distribuidor1	Detallista2	D	3	593,893
Distribuidor1	Detallista2	D	4	498,496
Distribuidor1	Detallista2	D	5	297,449
Distribuidor1	Detallista2	D	6	265,131
Distribuidor1	Detallista2	D	7	368,424
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1551,875
Distribuidor2	Detallista1	B	1	958,41
Distribuidor2	Detallista1	B	8	2026,186
Distribuidor2	Detallista1	C	1	405,897
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1309,1
Distribuidor2	Detallista1	D	1	369,085
Distribuidor2	Detallista1	D	8	627,824
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1472,01
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1547,72
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3232,813

Distribuidor2	Detallista2	B	8	2027,752
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1180,144
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1354,187
Distribuidor2	Detallista2	D	1	367,006
Distribuidor2	Detallista2	D	8	608,106

**Tabla 7.8.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor el Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	968,051
Detallista1	Ciente1	A	2	1221,359
Detallista1	Ciente1	A	3	1452,709
Detallista1	Ciente1	A	4	1212,898
Detallista1	Ciente1	A	5	607,894
Detallista1	Ciente1	A	6	743,033
Detallista1	Ciente1	A	7	966,965
Detallista1	Ciente1	A	8	869,123
Detallista1	Ciente1	B	1	1482,711
Detallista1	Ciente1	B	2	1849,995
Detallista1	Ciente1	B	3	2212,162
Detallista1	Ciente1	B	4	1856,232
Detallista1	Ciente1	B	5	1042,258
Detallista1	Ciente1	B	6	1225,845
Detallista1	Ciente1	B	7	1080,385
Detallista1	Ciente1	B	8	666,253
Detallista1	Ciente1	C	1	428,55
Detallista1	Ciente1	C	2	525,893
Detallista1	Ciente1	C	3	653,145
Detallista1	Ciente1	C	4	525,397
Detallista1	Ciente1	C	5	234,149
Detallista1	Ciente1	C	6	287,633
Detallista1	Ciente1	C	7	200,184
Detallista1	Ciente1	C	8	464,645
Detallista1	Ciente1	D	1	211,176
Detallista1	Ciente1	D	2	261,584
Detallista1	Ciente1	D	3	318,138
Detallista1	Ciente1	D	4	264,955
Detallista1	Ciente1	D	5	125,477
Detallista1	Ciente1	D	6	134,714
Detallista1	Ciente1	D	7	81,208
Detallista1	Ciente1	D	8	154,884
Detallista1	Ciente2	A	1	493,078
Detallista1	Ciente2	A	2	643,579
Detallista1	Ciente2	A	3	787,545
Detallista1	Ciente2	A	4	660,095

Detallista1	Ciente2	A	5	313,417
Detallista1	Ciente2	A	6	1170,073
Detallista1	Ciente2	A	7	1046,423
Detallista1	Ciente2	A	8	682,752
Detallista1	Ciente2	B	1	1799,699
Detallista1	Ciente2	B	2	2250,02
Detallista1	Ciente2	B	3	2728,585
Detallista1	Ciente2	B	4	2248,475
Detallista1	Ciente2	B	5	1178,809
Detallista1	Ciente2	B	6	1512,075
Detallista1	Ciente2	B	7	1142,218
Detallista1	Ciente2	B	8	1359,933
Detallista1	Ciente2	C	1	801,347
Detallista1	Ciente2	C	2	976,244
Detallista1	Ciente2	C	3	1197,833
Detallista1	Ciente2	C	4	977,867
Detallista1	Ciente2	C	5	621,868
Detallista1	Ciente2	C	6	1147,614
Detallista1	Ciente2	C	7	112,897
Detallista1	Ciente2	C	8	844,455
Detallista1	Ciente2	D	1	181,909
Detallista1	Ciente2	D	2	218,738
Detallista1	Ciente2	D	3	269,494
Detallista1	Ciente2	D	4	217,66
Detallista1	Ciente2	D	5	95,772
Detallista1	Ciente2	D	6	114,803
Detallista1	Ciente2	D	7	299,723
Detallista1	Ciente2	D	8	472,94
Detallista2	Ciente1	A	1	979,7
Detallista2	Ciente1	A	2	1202,142
Detallista2	Ciente1	A	3	1467,425
Detallista2	Ciente1	A	4	1193,31
Detallista2	Ciente1	A	5	606,136
Detallista2	Ciente1	A	6	744,342
Detallista2	Ciente1	A	7	955,951
Detallista2	Ciente1	A	8	867,327
Detallista2	Ciente1	B	1	1454,987
Detallista2	Ciente1	B	2	1813,708
Detallista2	Ciente1	B	3	2233,764
Detallista2	Ciente1	B	4	1828,143
Detallista2	Ciente1	B	5	977,715
Detallista2	Ciente1	B	6	1226,222
Detallista2	Ciente1	B	7	1058,389
Detallista2	Ciente1	B	8	684,697
Detallista2	Ciente1	C	1	423,198

Detallista2	Ciente1	C	2	525,211
Detallista2	Ciente1	C	3	641,518
Detallista2	Ciente1	C	4	535,589
Detallista2	Ciente1	C	5	233,006
Detallista2	Ciente1	C	6	287,691
Detallista2	Ciente1	C	7	189,223
Detallista2	Ciente1	C	8	485,928
Detallista2	Ciente1	D	1	209,377
Detallista2	Ciente1	D	2	277,946
Detallista2	Ciente1	D	3	322,729
Detallista2	Ciente1	D	4	280,149
Detallista2	Ciente1	D	5	108,478
Detallista2	Ciente1	D	6	149,436
Detallista2	Ciente1	D	7	89,821
Detallista2	Ciente1	D	8	129,419
Detallista2	Ciente2	A	1	516,31
Detallista2	Ciente2	A	2	653,465
Detallista2	Ciente2	A	3	778,438
Detallista2	Ciente2	A	4	651,045
Detallista2	Ciente2	A	5	317,088
Detallista2	Ciente2	A	6	1210,943
Detallista2	Ciente2	A	7	1011,533
Detallista2	Ciente2	A	8	680,393
Detallista2	Ciente2	B	1	1801,826
Detallista2	Ciente2	B	2	2278,731
Detallista2	Ciente2	B	3	2694,531
Detallista2	Ciente2	B	4	2261,517
Detallista2	Ciente2	B	5	1188,279
Detallista2	Ciente2	B	6	1557,148
Detallista2	Ciente2	B	7	1105,056
Detallista2	Ciente2	B	8	1343,055
Detallista2	Ciente2	C	1	780,946
Detallista2	Ciente2	C	2	997,451
Detallista2	Ciente2	C	3	1182,637
Detallista2	Ciente2	C	4	998,812
Detallista2	Ciente2	C	5	421,485
Detallista2	Ciente2	C	6	1246,244
Detallista2	Ciente2	C	7	92,31
Detallista2	Ciente2	C	8	868,259
Detallista2	Ciente2	D	1	181,629
Detallista2	Ciente2	D	2	220,181
Detallista2	Ciente2	D	3	271,164
Detallista2	Ciente2	D	4	218,347
Detallista2	Ciente2	D	5	188,971
Detallista2	Ciente2	D	6	115,695

Detallista2	Cliente2	D	7	278,603
Detallista2	Cliente2	D	8	478,687

**Tabla 7.9.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

**Parámetro CDR**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	A	2	3730,603
Planta1	Distribuidor1	A	7	3952,783
Planta1	Distribuidor1	B	1	100
Planta1	Distribuidor1	B	2	8126,166
Planta1	Distribuidor1	B	7	4364,993
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	C	2	3026,746
Planta1	Distribuidor1	C	7	594,604
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	2	123,796
Planta1	Distribuidor1	D	7	746,075
Planta2	Distribuidor1	A	2	4479,652
Planta2	Distribuidor1	A	3	3712,295
Planta2	Distribuidor1	A	4	1840,084
Planta2	Distribuidor1	A	5	3838,689
Planta2	Distribuidor1	B	2	9712,049
Planta2	Distribuidor1	B	3	8131,628
Planta2	Distribuidor1	B	4	4394,979
Planta2	Distribuidor1	B	5	5492,264
Planta2	Distribuidor1	C	2	3651,98
Planta2	Distribuidor1	C	3	3006,586
Planta2	Distribuidor1	C	4	1507,869
Planta2	Distribuidor1	C	5	2982,444
Planta2	Distribuidor1	D	2	1194,061
Planta2	Distribuidor1	D	3	982,629
Planta2	Distribuidor1	D	4	515,64
Planta2	Distribuidor1	D	5	511,805
Planta2	Distribuidor2	A	1	3007,34
Planta2	Distribuidor2	A	8	3087,153
Planta2	Distribuidor2	B	1	6624,117
Planta2	Distribuidor2	B	8	4011,803
Planta2	Distribuidor2	C	1	2486,229
Planta2	Distribuidor2	C	8	2664,729
Planta2	Distribuidor2	D	1	1695,865
Planta2	Distribuidor2	D	8	1245,374

**Tabla 7.10.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1862,081
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2231,947
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1863,506
Distribuidor1	Detallista1	A	5	914,598
Distribuidor1	Detallista1	A	6	1902,583
Distribuidor1	Detallista1	A	7	1993,276
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4044,383
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4833,83
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4064,17
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2230,621
Distribuidor1	Detallista1	B	6	2714,378
Distribuidor1	Detallista1	B	7	2213,702
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1510,324
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1832,604
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1494,555
Distribuidor1	Detallista1	C	5	856,148
Distribuidor1	Detallista1	C	6	1429,866
Distribuidor1	Detallista1	C	7	312,398
Distribuidor1	Detallista1	D	3	591,426
Distribuidor1	Detallista1	D	4	480,049
Distribuidor1	Detallista1	D	5	219,683
Distribuidor1	Detallista1	D	6	247,857
Distribuidor1	Detallista1	D	7	377,284
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1868,522
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2247,705
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1848,789
Distribuidor1	Detallista2	A	5	925,486
Distribuidor1	Detallista2	A	6	1936,106
Distribuidor1	Detallista2	A	7	1959,507
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4081,783
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4878,219
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4067,458
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2164,358
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2777,886
Distribuidor1	Detallista2	B	7	2151,291
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1516,422
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1819,376
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1512,031
Distribuidor1	Detallista2	C	5	651,721
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1552,578
Distribuidor1	Detallista2	C	7	282,206

Distribuidor1	Detallista2	D	2	123,796
Distribuidor1	Detallista2	D	3	602,635
Distribuidor1	Detallista2	D	4	502,58
Distribuidor1	Detallista2	D	5	295,957
Distribuidor1	Detallista2	D	6	263,948
Distribuidor1	Detallista2	D	7	368,791
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1441,932
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1561,581
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3267,613
Distribuidor2	Detallista1	B	8	1995,263
Distribuidor2	Detallista1	C	1	1199,18
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1302,061
Distribuidor2	Detallista1	D	1	853,749
Distribuidor2	Detallista1	D	8	631,842
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1465,408
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1525,572
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3256,504
Distribuidor2	Detallista2	B	8	2016,54
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1187,049
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1362,668
Distribuidor2	Detallista2	D	1	742,116
Distribuidor2	Detallista2	D	8	613,532

**Tabla 7.11.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Clientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	970,182
Detallista1	Ciente1	A	2	1217,097
Detallista1	Ciente1	A	3	1462,098
Detallista1	Ciente1	A	4	1202,739
Detallista1	Ciente1	A	5	601,101
Detallista1	Ciente1	A	6	744,621
Detallista1	Ciente1	A	7	954,609
Detallista1	Ciente1	A	8	868,277
Detallista1	Ciente1	B	1	1503,324
Detallista1	Ciente1	B	2	1816,438
Detallista1	Ciente1	B	3	2185,778
Detallista1	Ciente1	B	4	1806,809
Detallista1	Ciente1	B	5	1038,591
Detallista1	Ciente1	B	6	1216,803
Detallista1	Ciente1	B	7	1053,5
Detallista1	Ciente1	B	8	652,502
Detallista1	Ciente1	C	1	428,465
Detallista1	Ciente1	C	2	531,306

Detallista1	Ciente1	C	3	642,139
Detallista1	Ciente1	C	4	527,064
Detallista1	Ciente1	C	5	235,937
Detallista1	Ciente1	C	6	287,02
Detallista1	Ciente1	C	7	198,916
Detallista1	Ciente1	C	8	465,45
Detallista1	Ciente1	D	1	212,619
Detallista1	Ciente1	D	2	265,03
Detallista1	Ciente1	D	3	320,759
Detallista1	Ciente1	D	4	261,966
Detallista1	Ciente1	D	5	124,418
Detallista1	Ciente1	D	6	133,839
Detallista1	Ciente1	D	7	81,6
Detallista1	Ciente1	D	8	156,326
Detallista1	Ciente2	A	1	495,75
Detallista1	Ciente2	A	2	644,984
Detallista1	Ciente2	A	3	769,849
Detallista1	Ciente2	A	4	660,767
Detallista1	Ciente2	A	5	313,497
Detallista1	Ciente2	A	6	1157,962
Detallista1	Ciente2	A	7	1038,667
Detallista1	Ciente2	A	8	693,304
Detallista1	Ciente2	B	1	1788,289
Detallista1	Ciente2	B	2	2227,945
Detallista1	Ciente2	B	3	2648,052
Detallista1	Ciente2	B	4	2257,361
Detallista1	Ciente2	B	5	1192,03
Detallista1	Ciente2	B	6	1497,575
Detallista1	Ciente2	B	7	1160,202
Detallista1	Ciente2	B	8	1342,761
Detallista1	Ciente2	C	1	794,715
Detallista1	Ciente2	C	2	979,018
Detallista1	Ciente2	C	3	1190,465
Detallista1	Ciente2	C	4	967,491
Detallista1	Ciente2	C	5	620,211
Detallista1	Ciente2	C	6	1142,846
Detallista1	Ciente2	C	7	113,482
Detallista1	Ciente2	C	8	836,611
Detallista1	Ciente2	D	1	182,175
Detallista1	Ciente2	D	2	217,925
Detallista1	Ciente2	D	3	270,667
Detallista1	Ciente2	D	4	218,083
Detallista1	Ciente2	D	5	95,265
Detallista1	Ciente2	D	6	114,018
Detallista1	Ciente2	D	7	295,684

Detallista1	Ciente2	D	8	475,516
Detallista2	Ciente1	A	1	972,665
Detallista2	Ciente1	A	2	1200,678
Detallista2	Ciente1	A	3	1467,915
Detallista2	Ciente1	A	4	1198,113
Detallista2	Ciente1	A	5	607,995
Detallista2	Ciente1	A	6	740,931
Detallista2	Ciente1	A	7	952,502
Detallista2	Ciente1	A	8	857,355
Detallista2	Ciente1	B	1	1476,784
Detallista2	Ciente1	B	2	1835,817
Detallista2	Ciente1	B	3	2193,314
Detallista2	Ciente1	B	4	1812,916
Detallista2	Ciente1	B	5	973,522
Detallista2	Ciente1	B	6	1215,007
Detallista2	Ciente1	B	7	1051,141
Detallista2	Ciente1	B	8	673,32
Detallista2	Ciente1	C	1	428,36
Detallista2	Ciente1	C	2	525,357
Detallista2	Ciente1	C	3	635,128
Detallista2	Ciente1	C	4	527,132
Detallista2	Ciente1	C	5	232,075
Detallista2	Ciente1	C	6	285,028
Detallista2	Ciente1	C	7	190,704
Detallista2	Ciente1	C	8	483,461
Detallista2	Ciente1	D	1	210,423
Detallista2	Ciente1	D	2	275,028
Detallista2	Ciente1	D	3	328,004
Detallista2	Ciente1	D	4	283,481
Detallista2	Ciente1	D	5	108,04
Detallista2	Ciente1	D	6	148,3
Detallista2	Ciente1	D	7	90,965
Detallista2	Ciente1	D	8	129,768
Detallista2	Ciente2	A	1	516,743
Detallista2	Ciente2	A	2	667,844
Detallista2	Ciente2	A	3	779,79
Detallista2	Ciente2	A	4	650,676
Detallista2	Ciente2	A	5	317,491
Detallista2	Ciente2	A	6	1195,175
Detallista2	Ciente2	A	7	1007,005
Detallista2	Ciente2	A	8	668,217
Detallista2	Ciente2	B	1	1803,72
Detallista2	Ciente2	B	2	2245,966
Detallista2	Ciente2	B	3	2684,905
Detallista2	Ciente2	B	4	2254,542

Detallista2	Ciente2	B	5	1190,836
Detallista2	Ciente2	B	6	1562,879
Detallista2	Ciente2	B	7	1100,15
Detallista2	Ciente2	B	8	1343,22
Detallista2	Ciente2	C	1	782,689
Detallista2	Ciente2	C	2	991,065
Detallista2	Ciente2	C	3	1184,248
Detallista2	Ciente2	C	4	984,899
Detallista2	Ciente2	C	5	419,646
Detallista2	Ciente2	C	6	1267,55
Detallista2	Ciente2	C	7	91,502
Detallista2	Ciente2	C	8	879,207
Detallista2	Ciente2	D	1	181,226
Detallista2	Ciente2	D	2	223,235
Detallista2	Ciente2	D	3	274,631
Detallista2	Ciente2	D	4	219,099
Detallista2	Ciente2	D	5	187,917
Detallista2	Ciente2	D	6	115,648
Detallista2	Ciente2	D	7	277,826
Detallista2	Ciente2	D	8	483,764

**Tabla 7.12.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

### Parámetro CUPP

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	A	2	3730,603
Planta1	Distribuidor1	A	7	3952,783
Planta1	Distribuidor1	B	1	2400
Planta1	Distribuidor1	B	2	8126,166
Planta1	Distribuidor1	B	7	4364,993
Planta1	Distribuidor1	C	1	900
Planta1	Distribuidor1	C	2	3026,746
Planta1	Distribuidor1	C	7	594,604
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	7	746,075
Planta1	Distribuidor2	A	5	3838,689
Planta1	Distribuidor2	B	5	5492,264
Planta1	Distribuidor2	C	5	2982,444
Planta1	Distribuidor2	D	5	511,805
Planta2	Distribuidor1	A	2	4479,652
Planta2	Distribuidor1	A	3	5552,379

Planta2	Distribuidor1	B	2	9712,049
Planta2	Distribuidor1	B	3	12526,607
Planta2	Distribuidor1	C	2	3651,98
Planta2	Distribuidor1	C	3	4514,455
Planta2	Distribuidor1	D	2	1194,061
Planta2	Distribuidor1	D	3	1498,269
Planta2	Distribuidor2	A	1	3007,34
Planta2	Distribuidor2	A	8	3087,153
Planta2	Distribuidor2	B	1	4324,117
Planta2	Distribuidor2	B	8	4011,803
Planta2	Distribuidor2	C	1	1686,229
Planta2	Distribuidor2	C	8	2664,729
Planta2	Distribuidor2	D	1	1819,661
Planta2	Distribuidor2	D	8	1245,374

**Tabla 7.13.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1862,081
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2231,947
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1863,506
Distribuidor1	Detallista1	A	5	914,598
Distribuidor1	Detallista1	A	7	1993,276
Distribuidor1	Detallista1	B	1	2300
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4044,383
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4833,83
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4064,17
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2230,621
Distribuidor1	Detallista1	B	7	2213,702
Distribuidor1	Detallista1	C	1	800
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1510,324
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1832,604
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1494,555
Distribuidor1	Detallista1	C	5	856,148
Distribuidor1	Detallista1	C	7	312,398
Distribuidor1	Detallista1	D	3	591,426
Distribuidor1	Detallista1	D	4	699,732
Distribuidor1	Detallista1	D	7	377,284
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1868,522
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2247,705
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1848,789
Distribuidor1	Detallista2	A	5	925,486
Distribuidor1	Detallista2	A	7	1959,507

Distribuidor1	Detallista2	B	2	4081,783
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4878,219
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4067,458
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2164,358
Distribuidor1	Detallista2	B	7	2151,291
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1516,422
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1819,376
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1512,031
Distribuidor1	Detallista2	C	5	651,721
Distribuidor1	Detallista2	C	7	282,206
Distribuidor1	Detallista2	D	3	602,635
Distribuidor1	Detallista2	D	4	798,537
Distribuidor1	Detallista2	D	7	368,791
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1441,932
Distribuidor2	Detallista1	A	6	1902,583
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1561,581
Distribuidor2	Detallista1	B	1	967,613
Distribuidor2	Detallista1	B	6	2714,378
Distribuidor2	Detallista1	B	8	1995,263
Distribuidor2	Detallista1	C	1	399,18
Distribuidor2	Detallista1	C	6	1429,866
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1302,061
Distribuidor2	Detallista1	D	1	853,749
Distribuidor2	Detallista1	D	6	247,857
Distribuidor2	Detallista1	D	8	631,842
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1465,408
Distribuidor2	Detallista2	A	6	1936,106
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1525,572
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3256,504
Distribuidor2	Detallista2	B	6	2777,886
Distribuidor2	Detallista2	B	8	2016,54
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1187,049
Distribuidor2	Detallista2	C	6	1552,578
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1362,668
Distribuidor2	Detallista2	D	1	865,912
Distribuidor2	Detallista2	D	6	263,948
Distribuidor2	Detallista2	D	8	613,532

**Tabla 7.14.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Clientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	970,182
Detallista1	Ciente1	A	2	1217,097
Detallista1	Ciente1	A	3	1462,098
Detallista1	Ciente1	A	4	1202,739
Detallista1	Ciente1	A	5	601,101
Detallista1	Ciente1	A	6	744,621
Detallista1	Ciente1	A	7	954,609
Detallista1	Ciente1	A	8	868,277
Detallista1	Ciente1	B	1	1503,324
Detallista1	Ciente1	B	2	1816,438
Detallista1	Ciente1	B	3	2185,778
Detallista1	Ciente1	B	4	1806,809
Detallista1	Ciente1	B	5	1038,591
Detallista1	Ciente1	B	6	1216,803
Detallista1	Ciente1	B	7	1053,5
Detallista1	Ciente1	B	8	652,502
Detallista1	Ciente1	C	1	428,465
Detallista1	Ciente1	C	2	531,306
Detallista1	Ciente1	C	3	642,139
Detallista1	Ciente1	C	4	527,064
Detallista1	Ciente1	C	5	235,937
Detallista1	Ciente1	C	6	287,02
Detallista1	Ciente1	C	7	198,916
Detallista1	Ciente1	C	8	465,45
Detallista1	Ciente1	D	1	212,619
Detallista1	Ciente1	D	2	265,03
Detallista1	Ciente1	D	3	320,759
Detallista1	Ciente1	D	4	261,966
Detallista1	Ciente1	D	5	124,418
Detallista1	Ciente1	D	6	133,839
Detallista1	Ciente1	D	7	81,6
Detallista1	Ciente1	D	8	156,326
Detallista1	Ciente2	A	1	495,75
Detallista1	Ciente2	A	2	644,984
Detallista1	Ciente2	A	3	769,849
Detallista1	Ciente2	A	4	660,767
Detallista1	Ciente2	A	5	313,497
Detallista1	Ciente2	A	6	1157,962
Detallista1	Ciente2	A	7	1038,667
Detallista1	Ciente2	A	8	693,304
Detallista1	Ciente2	B	1	1788,289
Detallista1	Ciente2	B	2	2227,945

Detallista1	Ciente2	B	3	2648,052
Detallista1	Ciente2	B	4	2257,361
Detallista1	Ciente2	B	5	1192,03
Detallista1	Ciente2	B	6	1497,575
Detallista1	Ciente2	B	7	1160,202
Detallista1	Ciente2	B	8	1342,761
Detallista1	Ciente2	C	1	794,715
Detallista1	Ciente2	C	2	979,018
Detallista1	Ciente2	C	3	1190,465
Detallista1	Ciente2	C	4	967,491
Detallista1	Ciente2	C	5	620,211
Detallista1	Ciente2	C	6	1142,846
Detallista1	Ciente2	C	7	113,482
Detallista1	Ciente2	C	8	836,611
Detallista1	Ciente2	D	1	182,175
Detallista1	Ciente2	D	2	217,925
Detallista1	Ciente2	D	3	270,667
Detallista1	Ciente2	D	4	218,083
Detallista1	Ciente2	D	5	95,265
Detallista1	Ciente2	D	6	114,018
Detallista1	Ciente2	D	7	295,684
Detallista1	Ciente2	D	8	475,516
Detallista2	Ciente1	A	1	972,665
Detallista2	Ciente1	A	2	1200,678
Detallista2	Ciente1	A	3	1467,915
Detallista2	Ciente1	A	4	1198,113
Detallista2	Ciente1	A	5	607,995
Detallista2	Ciente1	A	6	740,931
Detallista2	Ciente1	A	7	952,502
Detallista2	Ciente1	A	8	857,355
Detallista2	Ciente1	B	1	1476,784
Detallista2	Ciente1	B	2	1835,817
Detallista2	Ciente1	B	3	2193,314
Detallista2	Ciente1	B	4	1812,916
Detallista2	Ciente1	B	5	973,522
Detallista2	Ciente1	B	6	1215,007
Detallista2	Ciente1	B	7	1051,141
Detallista2	Ciente1	B	8	673,32
Detallista2	Ciente1	C	1	428,36
Detallista2	Ciente1	C	2	525,357
Detallista2	Ciente1	C	3	635,128
Detallista2	Ciente1	C	4	527,132
Detallista2	Ciente1	C	5	232,075
Detallista2	Ciente1	C	6	285,028
Detallista2	Ciente1	C	7	190,704

Detallista2	Ciente1	C	8	483,461
Detallista2	Ciente1	D	1	210,423
Detallista2	Ciente1	D	2	275,028
Detallista2	Ciente1	D	3	328,004
Detallista2	Ciente1	D	4	283,481
Detallista2	Ciente1	D	5	108,04
Detallista2	Ciente1	D	6	148,3
Detallista2	Ciente1	D	7	90,965
Detallista2	Ciente1	D	8	129,768
Detallista2	Ciente2	A	1	516,743
Detallista2	Ciente2	A	2	667,844
Detallista2	Ciente2	A	3	779,79
Detallista2	Ciente2	A	4	650,676
Detallista2	Ciente2	A	5	317,491
Detallista2	Ciente2	A	6	1195,175
Detallista2	Ciente2	A	7	1007,005
Detallista2	Ciente2	A	8	668,217
Detallista2	Ciente2	B	1	1803,72
Detallista2	Ciente2	B	2	2245,966
Detallista2	Ciente2	B	3	2684,905
Detallista2	Ciente2	B	4	2254,542
Detallista2	Ciente2	B	5	1190,836
Detallista2	Ciente2	B	6	1562,879
Detallista2	Ciente2	B	7	1100,15
Detallista2	Ciente2	B	8	1343,22
Detallista2	Ciente2	C	1	782,689
Detallista2	Ciente2	C	2	991,065
Detallista2	Ciente2	C	3	1184,248
Detallista2	Ciente2	C	4	984,899
Detallista2	Ciente2	C	5	419,646
Detallista2	Ciente2	C	6	1267,55
Detallista2	Ciente2	C	7	91,502
Detallista2	Ciente2	C	8	879,207
Detallista2	Ciente2	D	1	181,226
Detallista2	Ciente2	D	2	223,235
Detallista2	Ciente2	D	3	274,631
Detallista2	Ciente2	D	4	219,099
Detallista2	Ciente2	D	5	187,917
Detallista2	Ciente2	D	6	115,648
Detallista2	Ciente2	D	7	277,826
Detallista2	Ciente2	D	8	483,764

**Tabla 7.15.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

## Parámetro CUFEP

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	A	7	3952,783
Planta1	Distribuidor1	B	1	100
Planta1	Distribuidor1	B	7	4364,993
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	C	7	594,604
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	7	746,075
Planta1	Distribuidor2	A	7	3087,153
Planta1	Distribuidor2	B	7	4011,803
Planta1	Distribuidor2	C	7	2664,729
Planta1	Distribuidor2	D	7	1245,374
Planta2	Distribuidor1	A	1	3730,603
Planta2	Distribuidor1	A	2	4479,652
Planta2	Distribuidor1	A	3	3712,295
Planta2	Distribuidor1	A	4	1840,084
Planta2	Distribuidor1	A	5	3838,689
Planta2	Distribuidor1	B	1	8126,166
Planta2	Distribuidor1	B	2	9712,049
Planta2	Distribuidor1	B	3	8131,628
Planta2	Distribuidor1	B	4	4394,979
Planta2	Distribuidor1	B	5	5492,264
Planta2	Distribuidor1	C	1	3026,746
Planta2	Distribuidor1	C	2	3651,98
Planta2	Distribuidor1	C	3	3006,586
Planta2	Distribuidor1	C	4	1507,869
Planta2	Distribuidor1	C	5	2982,444
Planta2	Distribuidor1	D	1	981,218
Planta2	Distribuidor1	D	2	1194,061
Planta2	Distribuidor1	D	3	982,629
Planta2	Distribuidor1	D	4	515,64
Planta2	Distribuidor1	D	5	511,805
Planta2	Distribuidor2	A	1	3007,34
Planta2	Distribuidor2	B	1	6624,117
Planta2	Distribuidor2	C	1	2486,229
Planta2	Distribuidor2	D	1	838,443

Tabla 7.16.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1862,081
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2231,947
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1863,506
Distribuidor1	Detallista1	A	5	914,598
Distribuidor1	Detallista1	A	6	1902,583
Distribuidor1	Detallista1	A	7	1993,276
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4044,383
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4833,83
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4064,17
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2230,621
Distribuidor1	Detallista1	B	6	2714,378
Distribuidor1	Detallista1	B	7	2213,702
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1510,324
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1832,604
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1494,555
Distribuidor1	Detallista1	C	5	856,148
Distribuidor1	Detallista1	C	6	1429,866
Distribuidor1	Detallista1	C	7	312,398
Distribuidor1	Detallista1	D	2	482,955
Distribuidor1	Detallista1	D	3	591,426
Distribuidor1	Detallista1	D	4	480,049
Distribuidor1	Detallista1	D	5	219,683
Distribuidor1	Detallista1	D	6	247,857
Distribuidor1	Detallista1	D	7	377,284
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1868,522
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2247,705
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1848,789
Distribuidor1	Detallista2	A	5	925,486
Distribuidor1	Detallista2	A	6	1936,106
Distribuidor1	Detallista2	A	7	1959,507
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4081,783
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4878,219
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4067,458
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2164,358
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2777,886
Distribuidor1	Detallista2	B	7	2151,291
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1516,422
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1819,376
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1512,031
Distribuidor1	Detallista2	C	5	651,721
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1552,578
Distribuidor1	Detallista2	C	7	282,206
Distribuidor1	Detallista2	D	2	498,263

Distribuidor1	Detallista2	D	3	602,635
Distribuidor1	Detallista2	D	4	502,58
Distribuidor1	Detallista2	D	5	295,957
Distribuidor1	Detallista2	D	6	263,948
Distribuidor1	Detallista2	D	7	368,791
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1441,932
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1561,581
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3267,613
Distribuidor2	Detallista1	B	8	1995,263
Distribuidor2	Detallista1	C	1	1199,18
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1302,061
Distribuidor2	Detallista1	D	1	370,794
Distribuidor2	Detallista1	D	8	631,842
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1465,408
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1525,572
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3256,504
Distribuidor2	Detallista2	B	8	2016,54
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1187,049
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1362,668
Distribuidor2	Detallista2	D	1	367,649
Distribuidor2	Detallista2	D	8	613,532

**Tabla 7.17.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Cliente1	A	1	970,182
Detallista1	Cliente1	A	2	1217,097
Detallista1	Cliente1	A	3	1462,098
Detallista1	Cliente1	A	4	1202,739
Detallista1	Cliente1	A	5	601,101
Detallista1	Cliente1	A	6	744,621
Detallista1	Cliente1	A	7	954,609
Detallista1	Cliente1	A	8	868,277
Detallista1	Cliente1	B	1	1503,324
Detallista1	Cliente1	B	2	1816,438
Detallista1	Cliente1	B	3	2185,778
Detallista1	Cliente1	B	4	1806,809
Detallista1	Cliente1	B	5	1038,591
Detallista1	Cliente1	B	6	1216,803
Detallista1	Cliente1	B	7	1053,5
Detallista1	Cliente1	B	8	652,502
Detallista1	Cliente1	C	1	428,465
Detallista1	Cliente1	C	2	531,306

Detallista1	Ciente1	C	3	642,139
Detallista1	Ciente1	C	4	527,064
Detallista1	Ciente1	C	5	235,937
Detallista1	Ciente1	C	6	287,02
Detallista1	Ciente1	C	7	198,916
Detallista1	Ciente1	C	8	465,45
Detallista1	Ciente1	D	1	212,619
Detallista1	Ciente1	D	2	265,03
Detallista1	Ciente1	D	3	320,759
Detallista1	Ciente1	D	4	261,966
Detallista1	Ciente1	D	5	124,418
Detallista1	Ciente1	D	6	133,839
Detallista1	Ciente1	D	7	81,6
Detallista1	Ciente1	D	8	156,326
Detallista1	Ciente2	A	1	495,75
Detallista1	Ciente2	A	2	644,984
Detallista1	Ciente2	A	3	769,849
Detallista1	Ciente2	A	4	660,767
Detallista1	Ciente2	A	5	313,497
Detallista1	Ciente2	A	6	1157,962
Detallista1	Ciente2	A	7	1038,667
Detallista1	Ciente2	A	8	693,304
Detallista1	Ciente2	B	1	1788,289
Detallista1	Ciente2	B	2	2227,945
Detallista1	Ciente2	B	3	2648,052
Detallista1	Ciente2	B	4	2257,361
Detallista1	Ciente2	B	5	1192,03
Detallista1	Ciente2	B	6	1497,575
Detallista1	Ciente2	B	7	1160,202
Detallista1	Ciente2	B	8	1342,761
Detallista1	Ciente2	C	1	794,715
Detallista1	Ciente2	C	2	979,018
Detallista1	Ciente2	C	3	1190,465
Detallista1	Ciente2	C	4	967,491
Detallista1	Ciente2	C	5	620,211
Detallista1	Ciente2	C	6	1142,846
Detallista1	Ciente2	C	7	113,482
Detallista1	Ciente2	C	8	836,611
Detallista1	Ciente2	D	1	182,175
Detallista1	Ciente2	D	2	217,925
Detallista1	Ciente2	D	3	270,667
Detallista1	Ciente2	D	4	218,083
Detallista1	Ciente2	D	5	95,265
Detallista1	Ciente2	D	6	114,018
Detallista1	Ciente2	D	7	295,684

Detallista1	Ciente2	D	8	475,516
Detallista2	Ciente1	A	1	972,665
Detallista2	Ciente1	A	2	1200,678
Detallista2	Ciente1	A	3	1467,915
Detallista2	Ciente1	A	4	1198,113
Detallista2	Ciente1	A	5	607,995
Detallista2	Ciente1	A	6	740,931
Detallista2	Ciente1	A	7	952,502
Detallista2	Ciente1	A	8	857,355
Detallista2	Ciente1	B	1	1476,784
Detallista2	Ciente1	B	2	1835,817
Detallista2	Ciente1	B	3	2193,314
Detallista2	Ciente1	B	4	1812,916
Detallista2	Ciente1	B	5	973,522
Detallista2	Ciente1	B	6	1215,007
Detallista2	Ciente1	B	7	1051,141
Detallista2	Ciente1	B	8	673,32
Detallista2	Ciente1	C	1	428,36
Detallista2	Ciente1	C	2	525,357
Detallista2	Ciente1	C	3	635,128
Detallista2	Ciente1	C	4	527,132
Detallista2	Ciente1	C	5	232,075
Detallista2	Ciente1	C	6	285,028
Detallista2	Ciente1	C	7	190,704
Detallista2	Ciente1	C	8	483,461
Detallista2	Ciente1	D	1	210,423
Detallista2	Ciente1	D	2	275,028
Detallista2	Ciente1	D	3	328,004
Detallista2	Ciente1	D	4	283,481
Detallista2	Ciente1	D	5	108,04
Detallista2	Ciente1	D	6	148,3
Detallista2	Ciente1	D	7	90,965
Detallista2	Ciente1	D	8	129,768
Detallista2	Ciente2	A	1	516,743
Detallista2	Ciente2	A	2	667,844
Detallista2	Ciente2	A	3	779,79
Detallista2	Ciente2	A	4	650,676
Detallista2	Ciente2	A	5	317,491
Detallista2	Ciente2	A	6	1195,175
Detallista2	Ciente2	A	7	1007,005
Detallista2	Ciente2	A	8	668,217
Detallista2	Ciente2	B	1	1803,72
Detallista2	Ciente2	B	2	2245,966
Detallista2	Ciente2	B	3	2684,905
Detallista2	Ciente2	B	4	2254,542

Detallista2	Ciente2	B	5	1190,836
Detallista2	Ciente2	B	6	1562,879
Detallista2	Ciente2	B	7	1100,15
Detallista2	Ciente2	B	8	1343,22
Detallista2	Ciente2	C	1	782,689
Detallista2	Ciente2	C	2	991,065
Detallista2	Ciente2	C	3	1184,248
Detallista2	Ciente2	C	4	984,899
Detallista2	Ciente2	C	5	419,646
Detallista2	Ciente2	C	6	1267,55
Detallista2	Ciente2	C	7	91,502
Detallista2	Ciente2	C	8	879,207
Detallista2	Ciente2	D	1	181,226
Detallista2	Ciente2	D	2	223,235
Detallista2	Ciente2	D	3	274,631
Detallista2	Ciente2	D	4	219,099
Detallista2	Ciente2	D	5	187,917
Detallista2	Ciente2	D	6	115,648
Detallista2	Ciente2	D	7	277,826
Detallista2	Ciente2	D	8	483,764

**Tabla 7.18.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

### Parámetros CUIG, CUIP, CUID y CUIR

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	A	6	1936,106
Planta1	Distribuidor1	B	1	100
Planta1	Distribuidor1	B	6	2777,886
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	C	6	1552,578
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	6	263,948
Planta1	Distribuidor2	A	5	1902,583
Planta1	Distribuidor2	A	6	3952,783
Planta1	Distribuidor2	B	5	2714,378
Planta1	Distribuidor2	B	6	4364,993
Planta1	Distribuidor2	C	5	1429,866
Planta1	Distribuidor2	C	6	594,604
Planta1	Distribuidor2	D	5	247,857
Planta1	Distribuidor2	D	6	746,075
Planta2	Distribuidor1	A	1	3730,603
Planta2	Distribuidor1	A	2	4479,652

Planta2	Distribuidor1	A	3	3712,295
Planta2	Distribuidor1	A	4	1840,084
Planta2	Distribuidor1	A	7	1525,572
Planta2	Distribuidor1	B	1	8126,166
Planta2	Distribuidor1	B	2	9712,049
Planta2	Distribuidor1	B	3	8131,628
Planta2	Distribuidor1	B	4	4394,979
Planta2	Distribuidor1	B	7	2016,54
Planta2	Distribuidor1	C	1	3026,746
Planta2	Distribuidor1	C	2	3651,98
Planta2	Distribuidor1	C	3	3006,586
Planta2	Distribuidor1	C	4	1507,869
Planta2	Distribuidor1	C	7	1362,668
Planta2	Distribuidor1	D	1	981,218
Planta2	Distribuidor1	D	2	1194,061
Planta2	Distribuidor1	D	3	982,629
Planta2	Distribuidor1	D	4	515,64
Planta2	Distribuidor1	D	7	613,532
Planta2	Distribuidor2	A	1	3007,34
Planta2	Distribuidor2	A	8	1561,581
Planta2	Distribuidor2	B	1	6624,117
Planta2	Distribuidor2	B	8	1995,263
Planta2	Distribuidor2	C	1	2486,229
Planta2	Distribuidor2	C	8	1302,061
Planta2	Distribuidor2	D	1	838,443
Planta2	Distribuidor2	D	8	631,842

**Tabla 7.19.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1862,081
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2231,947
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1863,506
Distribuidor1	Detallista1	A	5	914,598
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4044,383
Distribuidor1	Detallista1	B	3	4833,83
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4064,17
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2230,621
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1510,324
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1832,604
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1494,555
Distribuidor1	Detallista1	C	5	856,148
Distribuidor1	Detallista1	D	2	482,955

Distribuidor1	Detallista1	D	3	591,426
Distribuidor1	Detallista1	D	4	480,049
Distribuidor1	Detallista1	D	5	219,683
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1868,522
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2247,705
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1848,789
Distribuidor1	Detallista2	A	5	925,486
Distribuidor1	Detallista2	A	6	1936,106
Distribuidor1	Detallista2	A	8	1525,572
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4081,783
Distribuidor1	Detallista2	B	3	4878,219
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4067,458
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2164,358
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2777,886
Distribuidor1	Detallista2	B	8	2016,54
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1516,422
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1819,376
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1512,031
Distribuidor1	Detallista2	C	5	651,721
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1552,578
Distribuidor1	Detallista2	C	8	1362,668
Distribuidor1	Detallista2	D	2	498,263
Distribuidor1	Detallista2	D	3	602,635
Distribuidor1	Detallista2	D	4	502,58
Distribuidor1	Detallista2	D	5	295,957
Distribuidor1	Detallista2	D	6	263,948
Distribuidor1	Detallista2	D	8	613,532
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1441,932
Distribuidor2	Detallista1	A	6	1902,583
Distribuidor2	Detallista1	A	7	1993,276
Distribuidor2	7Detallista1	A	8	1561,581
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3267,613
Distribuidor2	Detallista1	B	6	2714,378
Distribuidor2	Detallista1	B	7	2213,702
Distribuidor2	Detallista1	B	8	1995,263
Distribuidor2	Detallista1	C	1	1199,18
Distribuidor2	Detallista1	C	6	1429,866
Distribuidor2	Detallista1	C	7	312,398
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1302,061
Distribuidor2	Detallista1	D	1	370,794
Distribuidor2	Detallista1	D	6	247,857
Distribuidor2	Detallista1	D	7	377,284
Distribuidor2	Detallista1	D	8	631,842
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1465,408
Distribuidor2	Detallista2	A	7	1959,507

Distribuidor2	Detallista2	B	1	3256,504
Distribuidor2	Detallista2	B	7	2151,291
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1187,049
Distribuidor2	Detallista2	C	7	282,206
Distribuidor2	Detallista2	D	1	367,649
Distribuidor2	Detallista2	D	7	368,791

**Tabla 7.20.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Cliente1	A	1	970,182
Detallista1	Cliente1	A	2	1217,097
Detallista1	Cliente1	A	3	1462,098
Detallista1	Cliente1	A	4	1202,739
Detallista1	Cliente1	A	5	601,101
Detallista1	Cliente1	A	6	744,621
Detallista1	Cliente1	A	7	954,609
Detallista1	Cliente1	A	8	868,277
Detallista1	Cliente1	B	1	1503,324
Detallista1	Cliente1	B	2	1816,438
Detallista1	Cliente1	B	3	2185,778
Detallista1	Cliente1	B	4	1806,809
Detallista1	Cliente1	B	5	1038,591
Detallista1	Cliente1	B	6	1216,803
Detallista1	Cliente1	B	7	1053,5
Detallista1	Cliente1	B	8	652,502
Detallista1	Cliente1	C	1	428,465
Detallista1	Cliente1	C	2	531,306
Detallista1	Cliente1	C	3	642,139
Detallista1	Cliente1	C	4	527,064
Detallista1	Cliente1	C	5	235,937
Detallista1	Cliente1	C	6	287,02
Detallista1	Cliente1	C	7	198,916
Detallista1	Cliente1	C	8	465,45
Detallista1	Cliente1	D	1	212,619
Detallista1	Cliente1	D	2	265,03
Detallista1	Cliente1	D	3	320,759
Detallista1	Cliente1	D	4	261,966
Detallista1	Cliente1	D	5	124,418
Detallista1	Cliente1	D	6	133,839
Detallista1	Cliente1	D	7	81,6
Detallista1	Cliente1	D	8	156,326
Detallista1	Cliente2	A	1	495,75
Detallista1	Cliente2	A	2	644,984

Detallista1	Ciente2	A	3	769,849
Detallista1	Ciente2	A	4	660,767
Detallista1	Ciente2	A	5	313,497
Detallista1	Ciente2	A	6	1157,962
Detallista1	Ciente2	A	7	1038,667
Detallista1	Ciente2	A	8	693,304
Detallista1	Ciente2	B	1	1788,289
Detallista1	Ciente2	B	2	2227,945
Detallista1	Ciente2	B	3	2648,052
Detallista1	Ciente2	B	4	2257,361
Detallista1	Ciente2	B	5	1192,03
Detallista1	Ciente2	B	6	1497,575
Detallista1	Ciente2	B	7	1160,202
Detallista1	Ciente2	B	8	1342,761
Detallista1	Ciente2	C	1	794,715
Detallista1	Ciente2	C	2	979,018
Detallista1	Ciente2	C	3	1190,465
Detallista1	Ciente2	C	4	967,491
Detallista1	Ciente2	C	5	620,211
Detallista1	Ciente2	C	6	1142,846
Detallista1	Ciente2	C	7	113,482
Detallista1	Ciente2	C	8	836,611
Detallista1	Ciente2	D	1	182,175
Detallista1	Ciente2	D	2	217,925
Detallista1	Ciente2	D	3	270,667
Detallista1	Ciente2	D	4	218,083
Detallista1	Ciente2	D	5	95,265
Detallista1	Ciente2	D	6	114,018
Detallista1	Ciente2	D	7	295,684
Detallista1	Ciente2	D	8	475,516
Detallista2	Ciente1	A	1	972,665
Detallista2	Ciente1	A	2	1200,678
Detallista2	Ciente1	A	3	1467,915
Detallista2	Ciente1	A	4	1198,113
Detallista2	Ciente1	A	5	607,995
Detallista2	Ciente1	A	6	740,931
Detallista2	Ciente1	A	7	952,502
Detallista2	Ciente1	A	8	857,355
Detallista2	Ciente1	B	1	1476,784
Detallista2	Ciente1	B	2	1835,817
Detallista2	Ciente1	B	3	2193,314
Detallista2	Ciente1	B	4	1812,916
Detallista2	Ciente1	B	5	973,522
Detallista2	Ciente1	B	6	1215,007
Detallista2	Ciente1	B	7	1051,141

Detallista2	Ciente1	B	8	673,32
Detallista2	Ciente1	C	1	428,36
Detallista2	Ciente1	C	2	525,357
Detallista2	Ciente1	C	3	635,128
Detallista2	Ciente1	C	4	527,132
Detallista2	Ciente1	C	5	232,075
Detallista2	Ciente1	C	6	285,028
Detallista2	Ciente1	C	7	190,704
Detallista2	Ciente1	C	8	483,461
Detallista2	Ciente1	D	1	210,423
Detallista2	Ciente1	D	2	275,028
Detallista2	Ciente1	D	3	328,004
Detallista2	Ciente1	D	4	283,481
Detallista2	Ciente1	D	5	108,04
Detallista2	Ciente1	D	6	148,3
Detallista2	Ciente1	D	7	90,965
Detallista2	Ciente1	D	8	129,768
Detallista2	Ciente2	A	1	516,743
Detallista2	Ciente2	A	2	667,844
Detallista2	Ciente2	A	3	779,79
Detallista2	Ciente2	A	4	650,676
Detallista2	Ciente2	A	5	317,491
Detallista2	Ciente2	A	6	1195,175
Detallista2	Ciente2	A	7	1007,005
Detallista2	Ciente2	A	8	668,217
Detallista2	Ciente2	B	1	1803,72
Detallista2	Ciente2	B	2	2245,966
Detallista2	Ciente2	B	3	2684,905
Detallista2	Ciente2	B	4	2254,542
Detallista2	Ciente2	B	5	1190,836
Detallista2	Ciente2	B	6	1562,879
Detallista2	Ciente2	B	7	1100,15
Detallista2	Ciente2	B	8	1343,22
Detallista2	Ciente2	C	1	782,689
Detallista2	Ciente2	C	2	991,065
Detallista2	Ciente2	C	3	1184,248
Detallista2	Ciente2	C	4	984,899
Detallista2	Ciente2	C	5	419,646
Detallista2	Ciente2	C	6	1267,55
Detallista2	Ciente2	C	7	91,502
Detallista2	Ciente2	C	8	879,207
Detallista2	Ciente2	D	1	181,226
Detallista2	Ciente2	D	2	223,235
Detallista2	Ciente2	D	3	274,631
Detallista2	Ciente2	D	4	219,099

Detallista2	Cliente2	D	5	187,917
Detallista2	Cliente2	D	6	115,648
Detallista2	Cliente2	D	7	277,826
Detallista2	Cliente2	D	8	483,764

**Tabla 7.21.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

**Parámetro PDCR**

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	A	2	3860,749
Planta1	Distribuidor1	A	8	3208,864
Planta1	Distribuidor1	B	1	100
Planta1	Distribuidor1	B	2	8466,084
Planta1	Distribuidor1	B	8	4192,917
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	C	2	3143,916
Planta1	Distribuidor1	C	8	2773,736
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	8	1278,94
Planta1	Distribuidor2	A	5	4004,805
Planta1	Distribuidor2	A	6	4137,459
Planta1	Distribuidor2	B	5	5706,772
Planta1	Distribuidor2	B	6	4540,641
Planta1	Distribuidor2	C	5	3093,891
Planta1	Distribuidor2	C	6	618,92
Planta1	Distribuidor2	D	5	533,957
Planta1	Distribuidor2	D	6	775,941
Planta2	Distribuidor1	A	2	4652,674
Planta2	Distribuidor1	A	3	5795,852
Planta2	Distribuidor1	B	2	10147,736
Planta2	Distribuidor1	B	3	13043,409
Planta2	Distribuidor1	C	2	3803,428
Planta2	Distribuidor1	C	3	4719,692
Planta2	Distribuidor1	D	2	1233,82
Planta2	Distribuidor1	D	3	1558,883
Planta2	Distribuidor2	A	1	3135,616
Planta2	Distribuidor2	B	1	6804,613
Planta2	Distribuidor2	C	1	2582,768
Planta2	Distribuidor2	D	1	1885,871

**Tabla 7.22.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1927,766
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2324,894
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1949,071
Distribuidor1	Detallista1	A	5	953,893
Distribuidor1	Detallista1	A	8	1608,914
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4234,264
Distribuidor1	Detallista1	B	3	5069,944
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4229,645
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2319,956
Distribuidor1	Detallista1	B	8	2092,95
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1566,953
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1909,867
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1564,895
Distribuidor1	Detallista1	C	5	893,911
Distribuidor1	Detallista1	C	8	1362,98
Distribuidor1	Detallista1	D	3	612,911
Distribuidor1	Detallista1	D	4	730,945
Distribuidor1	Detallista1	D	8	648,97
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1932,983
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2327,78
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1928,902
Distribuidor1	Detallista2	A	5	963,986
Distribuidor1	Detallista2	A	8	1599,95
Distribuidor1	Detallista2	B	2	4231,82
Distribuidor1	Detallista2	B	3	5077,792
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4235,883
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2257,925
Distribuidor1	Detallista2	B	8	2099,967
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1576,963
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1893,561
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1577,963
Distribuidor1	Detallista2	C	5	682,923
Distribuidor1	Detallista2	C	8	1410,756
Distribuidor1	Detallista2	D	3	620,909
Distribuidor1	Detallista2	D	4	827,938
Distribuidor1	Detallista2	D	8	629,97
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1501,645
Distribuidor2	Detallista1	A	6	1985,917
Distribuidor2	Detallista1	A	7	2088,761
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3352,766
Distribuidor2	Detallista1	B	6	2828,96
Distribuidor2	Detallista1	B	7	2292,691

Distribuidor2	Detallista1	C	1	1249,929
Distribuidor2	Detallista1	C	6	1495,954
Distribuidor2	Detallista1	C	7	325,992
Distribuidor2	Detallista1	D	1	884,919
Distribuidor2	Detallista1	D	6	258,982
Distribuidor2	Detallista1	D	7	393,962
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1533,971
Distribuidor2	Detallista2	A	6	2018,888
Distribuidor2	Detallista2	A	7	2048,698
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3351,847
Distribuidor2	Detallista2	B	6	2877,812
Distribuidor2	Detallista2	B	7	2247,95
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1232,839
Distribuidor2	Detallista2	C	6	1597,937
Distribuidor2	Detallista2	C	7	292,928
Distribuidor2	Detallista2	D	1	900,952
Distribuidor2	Detallista2	D	6	274,975
Distribuidor2	Detallista2	D	7	381,979

**Tabla 7.23.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	1012,652
Detallista1	Ciente1	A	2	1257,791
Detallista1	Ciente1	A	3	1519,955
Detallista1	Ciente1	A	4	1259,976
Detallista1	Ciente1	A	5	628,982
Detallista1	Ciente1	A	6	776,979
Detallista1	Ciente1	A	7	999,845
Detallista1	Ciente1	A	8	899,958
Detallista1	Ciente1	B	1	1526,988
Detallista1	Ciente1	B	2	1899,968
Detallista1	Ciente1	B	3	2289,951
Detallista1	Ciente1	B	4	1894,954
Detallista1	Ciente1	B	5	1086,964
Detallista1	Ciente1	B	6	1260,988
Detallista1	Ciente1	B	7	1104,972
Detallista1	Ciente1	B	8	684,993
Detallista1	Ciente1	C	1	441,997
Detallista1	Ciente1	C	2	549,989
Detallista1	Ciente1	C	3	667,943
Detallista1	Ciente1	C	4	549,968
Detallista1	Ciente1	C	5	244,998
Detallista1	Ciente1	C	6	297,995

Detallista1	Ciente1	C	7	207,998
Detallista1	Ciente1	C	8	484,994
Detallista1	Ciente1	D	1	216,996
Detallista1	Ciente1	D	2	273,998
Detallista1	Ciente1	D	3	330,934
Detallista1	Ciente1	D	4	274,998
Detallista1	Ciente1	D	5	129,998
Detallista1	Ciente1	D	6	139,993
Detallista1	Ciente1	D	7	84,998
Detallista1	Ciente1	D	8	159,99
Detallista1	Ciente2	A	1	512,993
Detallista1	Ciente2	A	2	669,975
Detallista1	Ciente2	A	3	804,939
Detallista1	Ciente2	A	4	689,095
Detallista1	Ciente2	A	5	324,911
Detallista1	Ciente2	A	6	1208,938
Detallista1	Ciente2	A	7	1088,916
Detallista1	Ciente2	A	8	708,956
Detallista1	Ciente2	B	1	1849,778
Detallista1	Ciente2	B	2	2334,296
Detallista1	Ciente2	B	3	2779,993
Detallista1	Ciente2	B	4	2334,691
Detallista1	Ciente2	B	5	1232,992
Detallista1	Ciente2	B	6	1567,972
Detallista1	Ciente2	B	7	1187,719
Detallista1	Ciente2	B	8	1407,957
Detallista1	Ciente2	C	1	831,932
Detallista1	Ciente2	C	2	1016,964
Detallista1	Ciente2	C	3	1241,924
Detallista1	Ciente2	C	4	1014,927
Detallista1	Ciente2	C	5	648,913
Detallista1	Ciente2	C	6	1197,959
Detallista1	Ciente2	C	7	117,994
Detallista1	Ciente2	C	8	877,986
Detallista1	Ciente2	D	1	189,934
Detallista1	Ciente2	D	2	227,991
Detallista1	Ciente2	D	3	281,977
Detallista1	Ciente2	D	4	225,957
Detallista1	Ciente2	D	5	99,992
Detallista1	Ciente2	D	6	118,989
Detallista1	Ciente2	D	7	308,964
Detallista1	Ciente2	D	8	488,98
Detallista2	Ciente1	A	1	1019,985
Detallista2	Ciente1	A	2	1248,995

Detallista2	Ciente1	A	3	1519,795
Detallista2	Ciente1	A	4	1249,909
Detallista2	Ciente1	A	5	634,994
Detallista2	Ciente1	A	6	769,993
Detallista2	Ciente1	A	7	999,987
Detallista2	Ciente1	A	8	899,972
Detallista2	Ciente1	B	1	1517,858
Detallista2	Ciente1	B	2	1899,913
Detallista2	Ciente1	B	3	2289,953
Detallista2	Ciente1	B	4	1899,915
Detallista2	Ciente1	B	5	1019,934
Detallista2	Ciente1	B	6	1269,897
Detallista2	Ciente1	B	7	1099,965
Detallista2	Ciente1	B	8	699,975
Detallista2	Ciente1	C	1	439,848
Detallista2	Ciente1	C	2	547,986
Detallista2	Ciente1	C	3	665,914
Detallista2	Ciente1	C	4	547,991
Detallista2	Ciente1	C	5	242,941
Detallista2	Ciente1	C	6	297,986
Detallista2	Ciente1	C	7	197,993
Detallista2	Ciente1	C	8	506,992
Detallista2	Ciente1	D	1	217,965
Detallista2	Ciente1	D	2	286,998
Detallista2	Ciente1	D	3	337,929
Detallista2	Ciente1	D	4	289,954
Detallista2	Ciente1	D	5	112,994
Detallista2	Ciente1	D	6	154,98
Detallista2	Ciente1	D	7	93,999
Detallista2	Ciente1	D	8	132,978
Detallista2	Ciente2	A	1	537,986
Detallista2	Ciente2	A	2	683,988
Detallista2	Ciente2	A	3	807,985
Detallista2	Ciente2	A	4	678,993
Detallista2	Ciente2	A	5	328,992
Detallista2	Ciente2	A	6	1248,895
Detallista2	Ciente2	A	7	1048,711
Detallista2	Ciente2	A	8	699,978
Detallista2	Ciente2	B	1	1857,989
Detallista2	Ciente2	B	2	2331,907
Detallista2	Ciente2	B	3	2787,839
Detallista2	Ciente2	B	4	2335,968
Detallista2	Ciente2	B	5	1237,991

Detallista2	Ciente2	B	6	1607,915
Detallista2	Ciente2	B	7	1147,985
Detallista2	Ciente2	B	8	1399,992
Detallista2	Ciente2	C	1	816,991
Detallista2	Ciente2	C	2	1028,977
Detallista2	Ciente2	C	3	1227,647
Detallista2	Ciente2	C	4	1029,972
Detallista2	Ciente2	C	5	439,982
Detallista2	Ciente2	C	6	1299,951
Detallista2	Ciente2	C	7	94,935
Detallista2	Ciente2	C	8	903,764
Detallista2	Ciente2	D	1	189,992
Detallista2	Ciente2	D	2	229,997
Detallista2	Ciente2	D	3	282,98
Detallista2	Ciente2	D	4	227,997
Detallista2	Ciente2	D	5	196,993
Detallista2	Ciente2	D	6	119,995
Detallista2	Ciente2	D	7	287,98
Detallista2	Ciente2	D	8	496,992

**Tabla 7.24.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

### Todos los parámetros con incertidumbre (TPI)

Plantas	Distribuidores	Productos Finales	Periodos	QTPK
Planta1	Distribuidor1	A	1	100
Planta1	Distribuidor1	B	1	100
Planta1	Distribuidor1	C	1	100
Planta1	Distribuidor1	D	1	100
Planta1	Distribuidor2	A	5	1985,94
Planta1	Distribuidor2	A	6	4137,944
Planta1	Distribuidor2	B	5	2828,866
Planta1	Distribuidor2	B	6	4540,871
Planta1	Distribuidor2	C	4	54
Planta1	Distribuidor2	C	5	1495,928
Planta1	Distribuidor2	C	6	618,971
Planta1	Distribuidor2	D	5	258,936
Planta1	Distribuidor2	D	6	775,489
Planta2	Distribuidor1	A	1	3860,697
Planta2	Distribuidor1	A	2	4651,925
Planta2	Distribuidor1	A	3	3878,709
Planta2	Distribuidor1	A	4	1917,924
Planta2	Distribuidor1	A	5	2018,948
Planta2	Distribuidor1	B	1	8465,817
Planta2	Distribuidor1	B	2	10147,645

Planta2	Distribuidor1	B	3	8465,704
Planta2	Distribuidor1	B	4	4577,771
Planta2	Distribuidor1	B	5	2877,69
Planta2	Distribuidor1	C	1	3143,801
Planta2	Distribuidor1	C	2	3803,911
Planta2	Distribuidor1	C	3	3142,918
Planta2	Distribuidor1	C	4	1522,929
Planta2	Distribuidor1	C	5	1597,88
Planta2	Distribuidor1	D	1	1018,976
Planta2	Distribuidor1	D	2	1233,918
Planta2	Distribuidor1	D	3	1018,941
Planta2	Distribuidor1	D	4	539,94
Planta2	Distribuidor1	D	5	274,991
Planta2	Distribuidor2	A	1	3135,27
Planta2	Distribuidor2	A	8	3208,829
Planta2	Distribuidor2	B	1	6804,549
Planta2	Distribuidor2	B	8	4192,895
Planta2	Distribuidor2	C	1	2582,702
Planta2	Distribuidor2	C	8	2773,852
Planta2	Distribuidor2	D	1	866,924
Planta2	Distribuidor2	D	8	1278,506

**Tabla 7.25.- Cantidades para transportar desde la Planta al Distribuidor**

Distribuidores	Detallistas	Productos Finales	Periodos	QTDK
Distribuidor1	Detallista1	A	2	1927,74
Distribuidor1	Detallista1	A	3	2324,388
Distribuidor1	Detallista1	A	4	1949,968
Distribuidor1	Detallista1	A	5	953,961
Distribuidor1	Detallista1	B	2	4234,915
Distribuidor1	Detallista1	B	3	5069,776
Distribuidor1	Detallista1	B	4	4229,78
Distribuidor1	Detallista1	B	5	2319,911
Distribuidor1	Detallista1	C	2	1566,88
Distribuidor1	Detallista1	C	3	1909,943
Distribuidor1	Detallista1	C	4	1564,966
Distribuidor1	Detallista1	C	5	893,96
Distribuidor1	Detallista1	D	2	501,99
Distribuidor1	Detallista1	D	3	612,958
Distribuidor1	Detallista1	D	4	500,948
Distribuidor1	Detallista1	D	5	229,986
Distribuidor1	Detallista2	A	2	1932,957
Distribuidor1	Detallista2	A	3	2327,537
Distribuidor1	Detallista2	A	4	1928,741
Distribuidor1	Detallista2	A	5	963,963
Distribuidor1	Detallista2	A	6	2018,948

Distribuidor1	Detallista2	B	2	4230,902
Distribuidor1	Detallista2	B	3	5077,869
Distribuidor1	Detallista2	B	4	4235,924
Distribuidor1	Detallista2	B	5	2257,86
Distribuidor1	Detallista2	B	6	2877,69
Distribuidor1	Detallista2	C	2	1576,921
Distribuidor1	Detallista2	C	3	1893,968
Distribuidor1	Detallista2	C	4	1577,952
Distribuidor1	Detallista2	C	5	628,969
Distribuidor1	Detallista2	C	6	1597,88
Distribuidor1	Detallista2	D	2	516,986
Distribuidor1	Detallista2	D	3	620,96
Distribuidor1	Detallista2	D	4	517,993
Distribuidor1	Detallista2	D	5	309,954
Distribuidor1	Detallista2	D	6	274,991
Distribuidor2	Detallista1	A	1	1501,58
Distribuidor2	Detallista1	A	6	1985,94
Distribuidor2	Detallista1	A	7	2088,976
Distribuidor2	Detallista1	A	8	1608,919
Distribuidor2	Detallista1	B	1	3352,934
Distribuidor2	Detallista1	B	6	2828,866
Distribuidor2	Detallista1	B	7	2292,916
Distribuidor2	Detallista1	B	8	2092,947
Distribuidor2	Detallista1	C	1	1249,94
Distribuidor2	Detallista1	C	6	1495,928
Distribuidor2	Detallista1	C	7	325,985
Distribuidor2	Detallista1	C	8	1362,97
Distribuidor2	Detallista1	D	1	382,978
Distribuidor2	Detallista1	D	6	258,936
Distribuidor2	Detallista1	D	7	393,598
Distribuidor2	Detallista1	D	8	648,773
Distribuidor2	Detallista2	A	1	1533,69
Distribuidor2	Detallista2	A	7	2048,968
Distribuidor2	Detallista2	A	8	1599,91
Distribuidor2	Detallista2	B	1	3351,615
Distribuidor2	Detallista2	B	7	2247,955
Distribuidor2	Detallista2	B	8	2099,948
Distribuidor2	Detallista2	C	1	1232,762
Distribuidor2	Detallista2	C	5	54
Distribuidor2	Detallista2	C	7	292,986
Distribuidor2	Detallista2	C	8	1410,882
Distribuidor2	Detallista2	D	1	383,946
Distribuidor2	Detallista2	D	7	381,891
Distribuidor2	Detallista2	D	8	629,733

**Tabla 7.26.- Cantidades para transportar desde el Distribuidor al Detallista**

Detallistas	Cientes	Productos Finales	Periodos	QTRK
Detallista1	Ciente1	A	1	1012,598
Detallista1	Ciente1	A	2	1257,872
Detallista1	Ciente1	A	3	1519,935
Detallista1	Ciente1	A	4	1259,995
Detallista1	Ciente1	A	5	628,977
Detallista1	Ciente1	A	6	776,944
Detallista1	Ciente1	A	7	999,983
Detallista1	Ciente1	A	8	899,978
Detallista1	Ciente1	B	1	1526,979
Detallista1	Ciente1	B	2	1899,987
Detallista1	Ciente1	B	3	2289,953
Detallista1	Ciente1	B	4	1894,835
Detallista1	Ciente1	B	5	1086,976
Detallista1	Ciente1	B	6	1260,984
Detallista1	Ciente1	B	7	1104,977
Detallista1	Ciente1	B	8	684,982
Detallista1	Ciente1	C	1	441,957
Detallista1	Ciente1	C	2	549,994
Detallista1	Ciente1	C	3	667,973
Detallista1	Ciente1	C	4	549,99
Detallista1	Ciente1	C	5	244,982
Detallista1	Ciente1	C	6	297,988
Detallista1	Ciente1	C	7	207,995
Detallista1	Ciente1	C	8	484,996
Detallista1	Ciente1	D	1	216,986
Detallista1	Ciente1	D	2	273,992
Detallista1	Ciente1	D	3	330,987
Detallista1	Ciente1	D	4	274,994
Detallista1	Ciente1	D	5	129,987
Detallista1	Ciente1	D	6	139,94
Detallista1	Ciente1	D	7	84,993
Detallista1	Ciente1	D	8	159,996
Detallista1	Ciente2	A	1	512,982
Detallista1	Ciente2	A	2	669,868
Detallista1	Ciente2	A	3	804,453
Detallista1	Ciente2	A	4	689,973
Detallista1	Ciente2	A	5	324,984
Detallista1	Ciente2	A	6	1208,996
Detallista1	Ciente2	A	7	1088,993
Detallista1	Ciente2	A	8	708,941
Detallista1	Ciente2	B	1	1849,955
Detallista1	Ciente2	B	2	2334,928

Detallista1	Cliente2	B	3	2779,823
Detallista1	Cliente2	B	4	2334,945
Detallista1	Cliente2	B	5	1232,935
Detallista1	Cliente2	B	6	1567,882
Detallista1	Cliente2	B	7	1187,939
Detallista1	Cliente2	B	8	1407,965
Detallista1	Cliente2	C	1	831,983
Detallista1	Cliente2	C	2	1016,886
Detallista1	Cliente2	C	3	1241,97
Detallista1	Cliente2	C	4	1014,976
Detallista1	Cliente2	C	5	648,978
Detallista1	Cliente2	C	6	1197,94
Detallista1	Cliente2	C	7	117,99
Detallista1	Cliente2	C	8	877,974
Detallista1	Cliente2	D	1	189,992
Detallista1	Cliente2	D	2	227,998
Detallista1	Cliente2	D	3	281,971
Detallista1	Cliente2	D	4	225,954
Detallista1	Cliente2	D	5	99,999
Detallista1	Cliente2	D	6	118,996
Detallista1	Cliente2	D	7	308,605
Detallista1	Cliente2	D	8	488,777
Detallista2	Cliente1	A	1	1019,752
Detallista2	Cliente1	A	2	1248,993
Detallista2	Cliente1	A	3	1519,558
Detallista2	Cliente1	A	4	1249,758
Detallista2	Cliente1	A	5	634,974
Detallista2	Cliente1	A	6	769,96
Detallista2	Cliente1	A	7	999,977
Detallista2	Cliente1	A	8	899,931
Detallista2	Cliente1	B	1	1517,723
Detallista2	Cliente1	B	2	1899,928
Detallista2	Cliente1	B	3	2289,943
Detallista2	Cliente1	B	4	1899,962
Detallista2	Cliente1	B	5	1019,951
Detallista2	Cliente1	B	6	1269,927
Detallista2	Cliente1	B	7	1099,987
Detallista2	Cliente1	B	8	699,988
Detallista2	Cliente1	C	1	439,974
Detallista2	Cliente1	C	2	547,976
Detallista2	Cliente1	C	3	665,997
Detallista2	Cliente1	C	4	547,995
Detallista2	Cliente1	C	5	242,99
Detallista2	Cliente1	C	6	297,983
Detallista2	Cliente1	C	7	197,989

Detallista2	Ciente1	C	8	506,993
Detallista2	Ciente1	D	1	217,972
Detallista2	Ciente1	D	2	286,992
Detallista2	Ciente1	D	3	337,976
Detallista2	Ciente1	D	4	289,995
Detallista2	Ciente1	D	5	112,956
Detallista2	Ciente1	D	6	154,991
Detallista2	Ciente1	D	7	93,997
Detallista2	Ciente1	D	8	132,976
Detallista2	Ciente2	A	1	537,938
Detallista2	Ciente2	A	2	683,964
Detallista2	Ciente2	A	3	807,979
Detallista2	Ciente2	A	4	678,983
Detallista2	Ciente2	A	5	328,989
Detallista2	Ciente2	A	6	1248,988
Detallista2	Ciente2	A	7	1048,991
Detallista2	Ciente2	A	8	699,979
Detallista2	Ciente2	B	1	1857,892
Detallista2	Ciente2	B	2	2330,974
Detallista2	Ciente2	B	3	2787,926
Detallista2	Ciente2	B	4	2335,962
Detallista2	Ciente2	B	5	1237,909
Detallista2	Ciente2	B	6	1607,763
Detallista2	Ciente2	B	7	1147,968
Detallista2	Ciente2	B	8	1399,96
Detallista2	Ciente2	C	1	816,788
Detallista2	Ciente2	C	2	1028,945
Detallista2	Ciente2	C	3	1227,971
Detallista2	Ciente2	C	4	1029,957
Detallista2	Ciente2	C	5	439,979
Detallista2	Ciente2	C	6	1299,897
Detallista2	Ciente2	C	7	94,997
Detallista2	Ciente2	C	8	903,889
Detallista2	Ciente2	D	1	189,974
Detallista2	Ciente2	D	2	229,994
Detallista2	Ciente2	D	3	282,984
Detallista2	Ciente2	D	4	227,998
Detallista2	Ciente2	D	5	196,998
Detallista2	Ciente2	D	6	120
Detallista2	Ciente2	D	7	287,894
Detallista2	Ciente2	D	8	496,757

**Tabla 7.27.- Cantidades para transportar desde el Detallista al Cliente**

## Siglas y Abreviaturas

ADCM	Mecanismo de Coordinación Distribuida basada en Agentes
AEC	Construcción de Ingeniería y Arquitectura
ANN	Redes Neuronales Artificiales
APS	Sistema de Planificación Avanzada
BD	Base de Datos
CD	Centros de Distribución
CDR	Coste de Diferir Demanda del Detallista
CFCP	Coste Fijo de Cambio de Partida de la Planta
CFMP	Coste Fijo de Manejo de Materiales Planta
CFTG	Coste Fijo de Transporte Proveedor-Planta
CFTD	Coste Fijo de Transporte Distribuidor-Detallista
CFTP	Coste Fijo de Transporte Planta-Distribuidor
CMETP	Capacidad Máxima de Entrada de Transporte en la Planta
CMSTD	Capacidad Máxima de salida Transporte del Distribuidor
CMSTP	Capacidad Máxima de salida de Transporte de la Planta
CMSTR	Capacidad Máxima de salida de Transporte del Detallista
CPFR	Reaprovisionamiento, Previsión y Planificación Colaborativa
C/RS	Cadena/Red de Suministro
CS	Cadena de Suministro
CUFEP	Coste por Unidad de Fabricación en Tiempo Extra
CUFP	Coste por Unidad de Fabricación
CUID	Coste Unitario de Inventario del Distribuidor
CUIG	Coste Unitario de Inventario del Proveedor
CUIP	Coste Unitario de Inventario de la Planta
CUIR	Coste Unitario de Inventario del Detallista
CUMD	Coste Unitario del Manejo de Materiales del Distribuidor
CUMG	Coste Unitario del Manejo de Materiales del Proveedor
CUMP	Coste Unitario del Manejo de Materiales de la Planta

CUMR	Coste Unitario del Manejo de Materiales del Detallista
CUPG	Coste Unidad de de Materia Prima Proveedor-Planta
CUSP	Coste por Unidad Subcontratada
CUTD	Coste por Unidad de Transporte Distribuidor-Detallista
CUTG	Coste por Unidad de Transporte Proveedor-Planta
CUTP	Coste por Unidad de Transporte Planta-Distribuidor
ECR	Respuesta Eficiente del Consumidor
EDE	Estructura de Datos de Entrada
EPD	Estructura de Procesamiento de Datos
ERP	Planificación de los Recursos de la Empresa
FO	Función Objetivo
GA	Algoritmos Genéticos
GAA	Algoritmo Genético Dirigido
GC/RS	Gestión de la Cadena/Red de Suministro
GCS	Gestión de la Cadena de Suministro
GIS	Sistemas de Información Geográfico
JADE	Marco Desarrollado en Agentes en Java
IA	Inteligencia Artificial
IT	Tecnologías de la Información
KPI	Indicador Clave de Rendimiento
LCM	Maquina de Computación Lógica
LISP	Lista de Procesamiento de Lenguaje
MA	Unidades de Materia Prima
MAS	Sistemas Multi-Agentes
MASCS	Análisis y Diseño de Sistemas de la CS Multi-Agente
MCID	Máxima Capacidad de Inventario Distribuidor
MCIG	Máxima Capacidad de Inventario Proveedor
MCIP	Máxima Capacidad de Inventario Planta
MCIR	Máxima Capacidad de Inventario Detallista
MIA	Metodologías de Inteligencia Artificial
MLP	Redes del Perceptron Multi-Capa
MMD	Modelo Matemático Determinista

---

MMI	Modelo Matemático con Incertidumbre
MOMPA	Multi-Objective Master Planning Algorithm
MP	Materia Prima
MPL	Lenguaje de Programación Matemático
MQFE	Máxima cantidad de Fabricación en Tiempo Extra
MQFN	Máxima cantidad de Fabricación en Tiempo Regular
MRP	Planificación de los Requerimientos de Material
MSE	Error Cuadrático Medio
NCO	Número de Capas Ocultas
NCTD	Nivel de Capacidad del Transporte Distribuidor-Detallista
NCTG	Nivel de Capacidad del Transporte Proveedor-Planta
NCTP	Nivel de Capacidad del Transporte Planta-Distribuidor
NIDO	Nivel de inventario Inicial Distribuidor
NIPO	Nivel de inventario Inicial Planta
NIRO	Nivel de inventario Inicial Detallista
NN	Neuronal Network
PA	Agente Principal
PAP	Plan Agregado de Producción
PC	Planificación Colaborativa
PCA	Planificación de la Capacidad Aproximada
PDCR	Pronostico de la Demanda del Cliente para el Detallista
PDI	Índice de Diversidad de Población
PE	Elemento de Procesamiento
PF	Producto Final
PLP	Programación Lineal Posibilista
PLMOF	Modelo de Programación Lineal Multi-Objetivo
PMP	Plan Maestro de Producción
PQSP	Porcentaje de Cantidad a Subcontratar
PROLOG	Programador Lógico
PSS	Sistema de Símbolo Físico
PUPDV	Precio Unitario del Producto de Venta Distribuidor
PUPPV	Precio Unitario del Producto de Venta Planta

PUPRV	Precio Unitario del Producto de Venta Detallista
PUPVG	Precio Unitario Materias Primas de Venta Proveedor
RN	Red Neuronal
SCANN	Supply Chain Artificial Neuronal Networks
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Modelo de Referencia de la Cadena de Suministro
SQL	Lenguage Query Estructurado
SSD	Stock de Seguridad Distribuidor
SSP	Stock de Seguridad Planta
SSR	Stock de Seguridad Detallista
VMI	Gestión de Inventario por el Vendedor
TA	Taza de Aprendizaje
TD	Toma de Decisiones
TDD	Toma de Decisiones Distribuida
TETD	Tiempo de Transporte Distribuidor-Detallista
TETG	Tiempo de Transporte Proveedor-Planta
TETP	Tiempo de Transporte Planta-Distribuidor
WMS	Sistemas de Gestión de Almacenamiento
ZD	Función Objetivo del Distribuidor
ZG	Función Objetivo del Proveedor
ZP	Función Objetivo de la Planta
ZR	Función Objetivo del Detallista



