



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA BASADA EN MODELOS CAUSALES PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR DE DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS

AUTOR: FUENTES PINEL, ANDRÉS

TUTOR: ALEMANY DÍAZ, MARÍA DEL MAR

COTUTOR: POLER ESCOTO, RAÚL

Curso Académico: 2015-16



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Máster en Ingeniería Industrial

(Acceso desde Grado en Ingeniería Mecánica)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño de una herramienta para la
previsión de la demanda basada en
modelos causales para una empresa del
sector de distribución de alimentos

Estudiante	Andrés Fuentes Pinel
Tutor	María del Mar Alemany Díaz
Cotutor	Raúl Poler Escoto
Curso académico	2015/16
Entrega y defensa	Septiembre, 2016



AGRADECIMIENTOS

“Lo que importa es lo que se pretende.”

José Enrique Mata Bago,
Profesor Titular de la Escuela Politécnica Superior de Jaén

Este trabajo culmina otra etapa de mi vida, esta vez en Valencia. Quizás, lejos de todos los conocimientos académicos que nos puedan transmitir, lo verdaderamente importante sean esos pequeños detalles que suelen pasar desapercibidos pero forjan la esencia de la vida. Es por ello que rescato de la memoria el grato recuerdo de cómo nos transmitía nuestro profesor, José E. Mata Bago, su afán por hacernos entender que lo verdaderamente importante en cualquier problema que se te presente, no es el resultado final en sí mismo, sino el camino recorrido hasta conseguirlo. Y recalaba que, un buen Ingeniero, era capaz de ver la solución sin necesidad de realizar ningún cálculo... Si tenemos bien claro lo que pretendemos conseguir, por muchas trabas que nos encontremos en el camino, sin duda alguna, lo conseguiremos.

Sirva esta pequeña reflexión para agradecer a todos aquellos que se esfuerzan cada día en transmitir lo mejor de sí mismos a los demás. Se esfuerzan en enseñar, en educar, en regalar sonrisas, en confiar, en ayudar, en aportar soluciones..., pero también, en decir la verdad aunque a veces no nos guste, en hacer críticas constructivas... En definitiva, gracias a todos aquellos que han formado parte de mi vida en cualquier momento a lo largo de esta. Sois los responsables de que hoy esté escribiendo estas letras que ponen broche a otra estupenda aventura.

Y como no podría ser de otra manera, especial atención merecen mis tutores, Mareva Alemany y Raúl Poler, por su inestimable ayuda y apoyo que han conseguido dar vida a este proyecto en un tiempo récord. Tened claro que, por encima de cualquier calificación que este TFM reciba, mi único objetivo era que quien ha seguido mi dedicación codo con codo valorase todo el trabajo realizado. No dudéis que sois mucho más que unos buenos profesores, unas magníficas personas.

A mi familia -que por cierto, se merecen un monumento por aguantarme- más que agradecerles, les debería pedir perdón... Perdón por ser tan cabezón, por hacer todo lo que se me mete en la cabeza, por no hacerlos caso... Pero es que, como bien dices, mamá, “todo lo que me propongo, lo consigo”. Y quizás no me entiendas. Es normal, ¡a veces no me entiendo ni yo mismo! Lo que tampoco entiendo es que me sigáis queriendo como lo hacéis después de todo el tormento que os doy. Me faltarían hojas en el mundo para describir todo lo que os debo por hacerme llegar hasta aquí. No os lo imagináis, de verdad. ¡¡¡OS QUIERO MUCHO!!!

Y al que más echo de menos, el que más me ha enseñado, con el que he descubierto desde que era un crío las cosas más importantes de la vida... A él, a ti, ABUELO, te dedico todo el empeño que pongo por sonreír cada día y poner mi granito de arena para hacer de este, un mundo mejor. Como tú me enseñaste, con humildad, con fuerza y, sobre todo, con sabiduría. Gracias, Abuelo. No te olvido.

RESUMEN

La previsión de la demanda constituye una de las entradas fundamentales a diversos procesos clave de las empresas. Es por ello que una previsión precisa contribuirá, sin duda, a aumentar la eficiencia global de la empresa. En el sector de distribución de alimentos, alcanzar el anterior objetivo resulta más complicado que en otros sectores por las propias características de los productos y otros factores que, como las promociones, pueden tener sobre la demanda.

Para dar respuesta a esta situación, el presente TFM tiene como objetivo el diseño de una herramienta de previsión de demanda basada en modelos de programación matemática que incorporan factores causales en empresas de distribución del sector de la alimentación. Posteriormente, se procederá a la validación de los modelos a través de su aplicación a una importante empresa del sector.

Palabras clave: Previsión de Demanda, Modelos Causales, Programación Matemática, Sector alimentación

ABSTRACT

Demand forecasting forms a fundamental input for different key processes of companies. Because of this, an accurate forecast contribute, for sure, to increase the global efficiency of the company. On retail sector of food, to achieve before objective becomes more complicated than other sectors because of own characteristics of products and other factors, like promotions, that could affect to demand.

In order to give an answer to this situation, this Final Master Thesis has as aim to design a demand-forecasting tool that is based on mathematical programing models that adds causal factors in distribution sector of food retail. Later on, this method will be tested through its application to an important company of the sector.

Keywords: demand forecasting, causal model, mathematical programming, retail food sector.

Índice general

MEMORIA.....	1
PRESUPUESTO.....	91
ANEXOS	103



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Máster en Ingeniería Industrial

(Acceso desde Grado en Ingeniería Mecánica)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MEMORIA

Diseño de una herramienta para la
previsión de la demanda basada en
modelos causales para una empresa del
sector de distribución de alimentos

Estudiante	Andrés Fuentes Pinel
Tutor	María del Mar Alemany Díaz
Cotutor	Raúl Poler Escoto
Curso académico	2015/16
Entrega y defensa	Septiembre, 2016



Índice de la Memoria

1	OBJETO Y JUSTIFICACIÓN	7
1.1	INTRODUCCIÓN	7
1.2	OBJETO	7
1.3	JUSTIFICACIÓN	8
1.3.1	<i>Justificación profesional</i>	8
1.3.2	<i>Justificación académica</i>	9
1.4	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO Y COMPETENCIAS TRANSVERSALES UPV	10
2	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	13
2.1	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	13
2.2	DATOS GENERALES	13
2.3	CONFIGURACIÓN FÍSICA Y PROCESOS	13
2.4	PRINCIPALES PROVEEDORES Y CLIENTES	15
2.5	CONSIDERACIONES FINALES	15
3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
3.1	INTRODUCCIÓN	16
3.2	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL E IDENTIFICACIÓN DE INEFICIENCIAS	16
3.2.1	<i>Flujo tenso</i>	17
3.2.2	<i>Gestión de la información</i>	17
3.2.3	<i>Previsión de demanda</i>	18
3.2.3.1	Descripción de las herramientas de previsión actuales en la empresa	18
3.2.3.2	Proceso de previsión actual en la empresa	18
3.2.3.3	Identificación de las ineficiencias	20
3.3	POSIBLES LÍNEAS DE ACTUACIÓN	21
3.3.1	<i>Flujo tenso</i>	22
3.3.2	<i>Gestión de la información</i>	22
3.3.3	<i>Herramientas de previsión</i>	22
3.4	ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA VÍA DE ACTUACIÓN	23
3.5	CONSIDERACIONES FINALES	25
4	ESTADO DEL ARTE: ANTECEDENTES TEÓRICOS	26
4.1	LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA EN LA CADENA DE SUMINISTRO	26
4.2	BREVE REVISIÓN DE LOS MODELOS DE PREVISIÓN	28
4.2.1	<i>Modelos de previsión basados en series temporales</i>	28

4.2.2	<i>Modelos causales</i>	29
4.2.3	<i>Ajustes de expertos</i>	29
4.3	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MODELOS DE PREVISIÓN CAUSALES	30
4.3.1	<i>Factores causales</i>	30
4.3.1.1	Importancia de las promociones.....	31
4.3.1.2	Métodos de selección de variables causales.....	32
4.3.2	<i>Aportaciones recientes sobre Modelos causales</i>	32
5	PROPUESTA DEL MODELO DE PREVISIÓN CAUSAL	34
5.1	INTRODUCCIÓN.....	34
5.2	METODOLOGÍA PARA LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA BASADA EN UN MODELO CAUSAL	34
5.3	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE VARIABLES CAUSALES.....	37
5.3.1	<i>Identificación de variables</i>	37
5.3.2	<i>Selección de variables causales</i>	41
5.3.2.1	Objetivo perseguido con la selección de variables.....	41
5.3.2.2	Métodos de selección empleados.....	42
5.3.2.2.1	Método sin eliminar ninguna variable.....	42
5.3.2.2.2	Método experto	42
5.3.2.2.3	Método heurístico	45
5.4	DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA PREVISIÓN CAUSAL	48
5.4.1	<i>Definición del modelo: Índices, Datos y Variables de decisión</i>	48
5.4.2	<i>Modelado: Función objetivo y Restricciones</i>	51
5.5	CONSIDERACIONES FINALES	53
6	DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN CAUSAL	54
6.1	INTRODUCCIÓN.....	54
6.2	ARQUITECTURA DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN Y RELACIÓN ENTRE SUS COMPONENTES.....	54
6.2.1	<i>Componente para generar el histórico con variables causales: Aplicación "HISTORICO.mdb"</i>	57
6.2.1.1	Archivos secundarios.....	57
6.2.1.1.1	Archivo "histórico_empresa.csv"	57
6.2.1.1.2	Archivo "CALENDARIO.xls"	57
6.2.1.1.3	Archivo "OFERTAS.xls".....	58
6.2.1.1.4	Archivo "MAESTRO.xls"	59
6.2.1.2	Archivo "HISTORICO.mdb"	59
6.2.2	<i>Componente para el cálculo de previsiones: Aplicación "00_archivo_base.mdb"</i>	62
6.2.2.1	Detalle de interconexión entre "00_archivo_base.mdb" y "modelo.mpl"	66

6.3	FUNCIONALIDADES	68
6.3.1	<i>Aplicación para importar y generar el histórico ("HISTORICO.mdb")</i>	68
6.3.2	<i>Aplicación para el cálculo de previsiones ("00_archivo_base.mdb")</i>	70
6.4	CONSIDERACIONES FINALES	72
7	APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN A UN CASO REAL	73
7.1	INTRODUCCIÓN.....	73
7.2	IDENTIFICACIÓN DE LA FAMILIA OBJETO DE ANÁLISIS	73
7.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	74
7.3.1	<i>Comparación de los diferentes métodos de selección de variables</i>	74
7.3.1.1	Análisis de las previsiones	75
7.3.1.2	Análisis de las variables utilizadas con el método heurístico	76
7.3.2	<i>Comparación de las previsiones calculadas en el TFM con las calculadas por la empresa</i>	<i>78</i>
7.4	EFICIENCIA COMPUTACIONAL: ANÁLISIS DE VIABILIDAD.....	79
7.4.1	<i>Tiempos de cálculo para la previsión con la herramienta</i>	<i>79</i>
7.4.2	<i>Comparación con el método actual de previsión de la empresa</i>	<i>82</i>
7.5	CONSIDERACIONES FINALES	84
8	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	86
8.1	INTRODUCCIÓN.....	86
8.2	CONCLUSIONES.....	86
8.3	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	88
9	BIBLIOGRAFÍA.....	89

Índice de Tablas

<i>Tabla 3-1: Identificación de las oportunidades de mejora detectadas: ineficiencias y problemas que generan. .</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3-2: Resumen de las líneas de actuación propuestas para cada ineficiencia identificada.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5-1: Variables utilizadas en el modelo, descripción y valores que toman.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5-2: Parte de definición del modelo: Índices, datos y variables de decisión.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5-3: Función objetivo y restricciones del modelo de previsión causal.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 7-1: Comparativa del error en la previsión (MAPE) de los diferentes métodos de previsión (filas) para cada agrupación de referencias dependiendo de su histórico (columnas).</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 7-2: Porcentaje de utilización de cada variable. Se calcula como el número de veces que la variable se ha utilizado en el método heurístico dividido entre el número de veces total que podría haberse considerado, que corresponde con el número de veces que se ha utilizado en el método experto. Dependiendo del tipo de histórico las variables marcadas como “NO” son las que no se utilizan para esos casos.</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 7-3: Comparativa del error en la previsión (MAPE) de la empresa con los diferentes métodos de previsión (filas) para cada agrupación de referencias dependiendo de su histórico (columnas).</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 7-4: Tiempos de cálculo para las previsiones obtenidas con la herramienta en la sección de charcutería libre servicio.</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 7-5: Detalle del tiempo de cálculo para el método heurístico de selección de variables en los diferentes casos de histórico.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 7-6: Estimación de los tiempos de cálculo para el total de artículos de la empresa con los diferentes métodos.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 7-7: Información aproximada del número de referencias y tiempo de cálculo de previsiones con los que trabaja la empresa objeto de estudio.</i>	<i>82</i>

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 2-1: Simplificación de la cadena de suministro en el sector de la distribución. En línea a trazos, el área de influencia de la empresa dentro de la cadena de suministro.</i>	14
<i>Ilustración 3-1: Perspectiva actual del cálculo de previsiones en la empresa a nivel semanal.</i>	19
<i>Ilustración 3-2: Visión actual del área de organización y aprovisionamiento de plataformas y servicio a tiendas. En línea a trazos, el área de influencia del departamento de organización y aprovisionamiento de plataformas.</i>	23
<i>Ilustración 3-3: Perspectiva que se propone en este proyecto para el cálculo de previsiones a nivel diario.</i>	24
<i>Ilustración 4-1: Ejemplo de una posible cadena de suministro en el sector de la alimentación.</i>	26
<i>Ilustración 5-1: Esquema general de la metodología propuesta para la previsión de la demanda basada en un modelo causal.</i>	35
<i>Ilustración 5-2: Resumen del método experto de selección de variables.</i>	43
<i>Ilustración 5-3: Esquema del método heurístico de selección de variables causales.</i>	46
<i>Ilustración 6-1: Esquema de la arquitectura de la herramienta y las principales relaciones entre elementos.</i>	55
<i>Ilustración 6-2: Extracto del resultado de la exportación del histórico de la empresa, archivo "histórico_empresa.csv"</i>	57
<i>Ilustración 6-3: Hoja principal del archivo "CALENDARIO.xls"</i>	58
<i>Ilustración 6-4: Extracto del archivo "OFERTAS.xls" con los campos relevantes para la generación del histórico.</i>	58
<i>Ilustración 6-5: Parte de la tabla "01_Ref_Activas"</i>	59
<i>Ilustración 6-6: Esquema de los objetos y las relaciones existentes en el archivo "HISTORICO.mdb".</i>	60
<i>Ilustración 6-7: Composición de la tabla "HISTORICO_ok"</i>	62
<i>Ilustración 6-8: Esquema de los objetos y las relaciones existentes en el archivo "00_archivo_base.mdb"</i>	63
<i>Ilustración 6-9: Composición de la tabla "05_FuncionesObjetivo". Ejemplo para una referencia con histórico inferior a 31 días.</i>	64
<i>Ilustración 6-10: Detalle de la relación entre el componente "00_archivo_base.mdb" que contiene las tablas, consultas y código programado en VBA para el funcionamiento principal de la herramienta y el componente "modelo.mpl" que contiene el modelo causal programado en lenguaje MPL (Anexo I)</i>	67
<i>Ilustración 6-11: Pantalla de la aplicación para generar el histórico "HISTORICO.mdb".</i>	68
<i>Ilustración 6-12: Pantalla de aplicación para el cálculo de previsiones.</i>	71
<i>Ilustración 6-13: Detalle del cuadro de texto inicial para indicar al usuario las características generales de lo que será el cálculo de previsiones.</i>	72

1 OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

1.1 Introducción

En este capítulo se pretende delimitar cuál es el objetivo y ámbito de aplicación del presente Trabajo Fin de Máster (TFM), así como la justificación del mismo tanto desde el punto de vista profesional como académico. En este último ámbito se mostrará cómo se han aplicado y ampliado diversas competencias tanto específicas como transversales adquiridas durante el Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Por último, se comentará brevemente cómo se estructura el documento.

1.2 Objeto

El presente TFM pretende **diseñar, implementar y validar una herramienta para la previsión de la demanda basada en modelos causales en una empresa del sector de distribución de alimentos**. La demanda en este sector se ve fuertemente influenciada por múltiples factores, destacando entre todos ellos las acciones promocionales. Por tanto, para llevar a cabo una previsión precisa, se propondrá una metodología basada en un modelo genérico de programación lineal que sea capaz de discriminar, por sí solo, aquellas variables causales que empeoren las previsiones y, por el contrario, que retenga en el modelo a las variables que las mejoren. En otras palabras, se formulará un modelo de programación lineal que minimice el error de previsión y, con la ayuda de la herramienta de previsión que se diseñará para implementar la metodología propuesta, que **seleccione**, de todas las **variables causales** disponibles, únicamente las **que mejor expliquen la variación de la demanda** en el horizonte considerado. La **validación** del modelo se llevará a cabo mediante su aplicación a una **importante empresa de distribución del sector alimentario** en la que el estudiante se encuentra en periodo de prácticas. La validación se limitará a la sección de charcutería libre servicio, aunque el modelo puede ser extrapolable al resto de secciones de la empresa.

Cabe destacar, que se pretende diseñar una metodología para después implementarla en una herramienta robusta y compacta que sea capaz, por sí sola, de alimentarse con datos disponibles en servidores de la propia empresa y que genere, diariamente (o semanalmente, dependiendo de los recursos puestos en juego y la disponibilidad computacional) las previsiones a nivel diario con la utilización de las variables disponibles que mejor describan las causas que afectan a la demanda.

Para conseguir este objetivo, **se partirá de los históricos de venta diaria en tiendas por referencia**, agrupados por plataforma. A continuación se **definirán todas aquellas variables causales** que puedan a priori influenciar a la demanda tales como el día de la semana, el mes del año, si la referencia se encuentra afectada por alguna oferta, si aparece en los folletos publicitarios, etc. Posteriormente, se **diseñará otra aplicación en Access para construir los históricos** de las referencias anexando en los registros de cantidad vendida, los datos referentes a las variables causales así como para generar los registros futuros para cada referencia con las variables causales. El siguiente paso, una vez construidos los históricos con las variables definidas, consistirá en **implementar el modelo** en una herramienta computacional a través del lenguaje de modelado **MPL Modeling System versión 5.0** que será resuelto a través del solver **GUROBI versión 6.5** que **se encargarán de la optimización** propiamente dicha. Los datos de entrada (históricos) y los de salida (previsiones) de cada referencia serán facilitados a través de la **aplicación genérica en Access** que irá proporcionando secuencialmente los históricos de las

diferentes referencias mediante una subrutina programada en Visual Basic y que se encargará, por sí sola, de **ejecutar las optimizaciones, controlar la selección de variables y calcular las previsiones, automática y secuencialmente, para todas las referencias.**

Por último, se verificará si se **mejora el nivel de acierto actual** en las previsiones de la empresa, se propondrá un plan de implantación y se estimará el presupuesto del proyecto con el fin de calcular el periodo de retorno de la inversión y analizar su viabilidad tanto técnica como económica.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación profesional

Como se ha indicado anteriormente, el estudiante se encuentra realizando prácticas, en convenio con la Universidad Politécnica de Valencia, en una importante cadena de supermercados del arco mediterráneo de España. En concreto, se trata de una empresa de distribución cuya función principal es cubrir las necesidades de las tiendas a través de sus plataformas logísticas. Previamente, las plataformas logísticas son abastecidas por los proveedores a partir de los pedidos realizados por los técnicos de aprovisionamiento según las estimaciones o previsiones que se le proporcionen y su propio conocimiento. Aunque la empresa trabaje con productos de todo tipo, que se pueden encontrar en cualquier supermercado, el estudiante se encuentra destinado en el área de frescos, refrigerados y congelados. Es de vital importancia, para los técnicos aprovisionadores de esta área, realizar bien su trabajo puesto que se trabaja con las limitaciones de vida del producto y la capacidad máxima del almacén.

Tras **varios meses** trabajando en el seno de la empresa y **observando los procesos habituales llevados a cabo por los técnicos de aprovisionamiento**, se han identificado diferentes ineficiencias que pueden ser mejoradas. Entre ellas destaca, sin lugar a dudas, la poca utilización por parte de los técnicos de aprovisionamiento de la herramienta que propone los pedidos automáticamente a partir de las previsiones (apenas un 15% de los pedidos se realizan con esta herramienta). Y el principal problema detectado por el que se produce este hecho es la desconfianza que generan las previsiones calculadas por la misma (los errores *MAPE* de acierto, tanto diario como semanal, rondan el 50%). Actualmente, se calculan las previsiones semanales de salidas desde plataforma a tiendas solamente mediante series temporales y se realizan una vez a la semana. Posteriormente, estas previsiones semanales se desagregan diariamente en previsiones diarias a partir de los pesos otorgados a cada día de la semana. Ese cálculo se hace internamente a partir de los pesos diarios de cada día de la semana de las salidas durante las últimas semanas, sin embargo, no se conoce con exactitud cómo se realiza. Este enfoque se ha comprobado ineficaz debido, principalmente, que los técnicos encargados del aprovisionamiento no confían demasiado en las previsiones que realiza la herramienta que posee la empresa. Es posible que esta falta de acierto se deba a la enorme variabilidad que tienen tanto la frecuencia como la cantidad de los pedidos recibidos desde tiendas a plataforma.

Así pues, de entre todas las oportunidades de mejora valoradas en la empresa objeto de estudio, se ha propuesto la **necesidad de mejora en los procesos de previsión**. La previsión de la demanda constituye una de las entradas fundamentales a diversos procesos clave de la empresa. Es por ello que una **previsión precisa contribuirá, sin duda, a aumentar la eficiencia global de la empresa en general y la calidad del trabajo realizado por los técnicos de aprovisionamiento, en particular**. Valorando lo

anterior, surge la necesidad de este proyecto, en el cual se propone una alternativa al cálculo de previsiones que actualmente se realiza, y se propone una herramienta de cálculo a partir de variables causales. Más si cabe, se pretende ofrecer una perspectiva general diferente y pasar al **cálculo de previsiones de cantidad vendida al cliente final** en lugar de hacer previsiones de salida de plataforma a tienda. Nótese que para conseguir los objetivos de los técnicos de aprovisionamiento, no basta con prever correctamente las ventas a nivel de tienda, se necesita además obtener la relación entre las salidas de tienda y las salidas de plataforma. Para que esto último surta efecto, es necesario realizar un **cambio en la política de la empresa y pasar a centralizar el pedido de tiendas a plataforma**. Se puede conseguir así evitar el factor de especulación en los pedidos de tienda, en ocasiones, para conseguir registrar un mayor margen (piénsese que antes del inicio de las ofertas las tiendas intentan agotar el stock remanente para evitar tener que venderlo a un PVP menor y, de la misma manera, antes del final de las ofertas intentan cargar las estanterías abundantemente aprovechando el precio de oferta para poder venderlo al finalizar la oferta a un PVP mayor). Además, este sistema centralizado podría permitir ajustar mucho mejor el stock necesario en tienda ya que actualmente este ajuste se realiza de manera manual bajo criterio de los encargados de las propias tiendas, sin tener en cuenta ningún tipo de previsión.

Los **objetivos** finales que se persiguen con la mejora de las previsiones son, por un lado, **minimizar la rotura de stock de plataforma a tienda** y, por otra parte, mantener al **mínimo los niveles de stock en almacén**. En definitiva, si las previsiones son lo más acertadas posibles, reducimos el factor humano del propio técnico de aprovisionamiento que debe intuir cuánto se demandará o, mejor dicho, cuánto le pedirán las tienda para con esa información ajustar el pedido jugando con el plazo de entrega y el periodo de reaprovisionamiento para mantener el mínimo stock en plataforma que le evite dar rotura a tiendas.

Valorando los beneficios que puede suponer la puesta en marcha de este proyecto, se pueden encontrar las siguientes. Como **ventajas** se tiene el **ahorro en tiempo** de trabajo del técnico encargado de realizar los pedidos a proveedor. Además, el **ahorro en costes** que supondría el evitar tener que desechar producto perecedero que muere en la plataforma o la inversión financiera que conlleva tener una cantidad elevada de stock sin movimiento en la plataforma. Por el contrario, como **desventajas** tenemos la **inversión inicial** de implantación del proyecto tanto en tiempo como en recursos informáticos y personales que podrían encontrarse tanto dentro como fuera de la propia empresa.

Este estudio, por tanto, es la base para el desarrollo de un proyecto a mayor escala dentro de la propia empresa ya que involucra a diferentes departamentos y supone un cambio en la política y el funcionamiento general de la misma. El citado proyecto pone en juego importantes factores que se tratarán en sucesivos apartados y que, por tanto, supera las expectativas de lo que se pretende en este texto.

1.3.2 Justificación académica

Desde el punto de vista de la justificación académica, el presente TFM ha permitido poner en práctica y ampliar conceptos, habilidades y competencias adquiridos en diferentes asignaturas del Máster en Ingeniería Industrial. Así pues, en la asignatura **Dirección de Operaciones** se ofrece una perspectiva básica de la **gestión de la demanda**, incluyendo estadísticos y políticas de aprovisionamiento, aunque esté más enfocada al sector de la producción. Asimismo, asignaturas como

Investigación Operativa, han ahondado en **modelos de programación lineal** y es uno de los pilares que sustentan la **base teórica de este proyecto**. Por su parte, el alumno se ha visto obligado a ampliar conocimientos relacionados con previsión de la demand, permitiéndole así reforzar la competencia transversal de aprendizaje permanente y de conocimiento de problemas contemporáneos.

Con todo lo anterior y gracias a los conocimientos generales sobre **proyectos y organización** aportados por asignaturas como **Dirección de Proyectos** y **Dirección de Empresas**, respectivamente, así como conocimientos informáticos, adquiridos en **Tecnología informática Industrial para nivelación**, han ayudado a complementar los conocimientos específicos. Más allá, estas asignaturas han permitido poner en práctica tanto en el puesto de trabajo como en la realización del Trabajo Fin de Máster, las competencias transversales por las que trabaja la Universidad Politécnica de Valencia para transmitir a sus alumnos. En la siguiente sección se establece la relación entre las Competencias Transversales UPV y la estructura en capítulos del TFM.

Finalmente, se debe comentar que el aprendizaje es un proceso constante y, por lo tanto, el esfuerzo dedicado al presente TFM lleva consigo la satisfacción de continuar aprendiendo, tanto en lo profesional y personal como en lo académico.

1.4 Estructura del documento y competencias transversales UPV

Siguiendo las recomendaciones propuestas en García-Sabater (2016) el presente TFM se estructura de la siguiente manera: En primer lugar, se realiza una breve introducción para acercar al lector al tema tratado desde una perspectiva general hasta el segmento objeto de estudio. Posteriormente, se detallan los hechos reales que justifican el proyecto que nos acontece en la descripción de la empresa y del problema. Una vez identificada la línea de actuación para mejorar las ineficiencias detectadas, se sigue con una breve revisión teórica sobre el tema que sirve de base para la propuesta de la metodología para la previsión con modelos causales, cuya implementación se realiza posteriormente en una herramienta informática. Finalmente, se valida el método propuesto con datos reales mediante la aplicación del modelo a un caso real y se propone un plan de implantación con su correspondiente presupuesto.

En este apartado, merece la pena comentar el importante proyecto que lanzó la UPV en julio de 2015 y que pretende conseguir para todos sus alumnos que adquieran las **competencias transversales** que les ayudarán el día de mañana a desenvolverse en el ambiente laboral. No sólo reside su importancia para el futuro sino también para el presente. Las competencias transversales tienen por objeto que cualquier titulado tenga un perfil competencial y se basan en trece áreas de conocimiento básico que va más allá de los conocimientos específicos de las propias materias de la titulación (Universidad Politécnica de Valencia, 2015).

Aplicado al proyecto que nos concierne, el alumno ha puesto en práctica, desde el principio, cada una de las competencias transversales. Se desglosan a continuación describiendo las acciones que ha realizado el alumno en relación a cada una de ellas.

- **CT-01. Comprensión e integración:** la base para resolver cualquier problema es su comprensión. Desde el inicio de las prácticas de empresa en un nuevo sector para el estudiante, ha intentado comprender el funcionamiento la empresa, las herramientas puestas en juego y su integración dentro de la cadena de suministro.

- **CT-02. Aplicación y pensamiento práctico:** tan importante como la comprensión es enfocar el problema desde una perspectiva práctica que permita su resolución mediante la aplicación del conocimiento adquirido durante la formación académica y profesional.
- **CT-03. Análisis y resolución de problemas:** estar inmerso en el trabajo diario ha permitido al alumno analizar los problemas y proponer soluciones viables. Más allá de los problemas del día a día, en este TFM queda de manifiesto esta competencia aplicada un problema de magnitud considerable.
- **CT-04. Innovación, creatividad y emprendimiento:** no basta solamente con llevar a cabo soluciones comunes. En la creatividad y la propuesta de nuevas ideas reside la clave del éxito profesional. Ofrecer un nuevo enfoque en la manera de trabajar que revoluciona la política actual de la empresa supone una iniciativa emprendedora que puede resultar exitosa. Además, diseñar desde cero una idea en la que se conjugan la identificación de variables causales para el cálculo de previsiones con la implementación del proceso de cálculo en sí mismo, exige un nivel de creatividad y emprendimiento considerable.
- **CT-05. Diseño y proyecto:** identificado el problema y propuesta una solución genérica, hay que darle forma para conformar el cuerpo del proyecto. En este TFM se ha partido de la idea de creación de una herramienta y se ha ido construyendo a partir de las necesidades identificadas por el autor durante su diseño.
- **CT-06. Trabajo en equipo y liderazgo:** cualquier proyecto profesional o académico no puede ser conseguido sin la colaboración interpersonal. Este proyecto se ha forjado gracias al trabajo en conjunto del alumno y los tutores así como los consejos que el alumno ha conseguido en su entorno laboral. Asimismo, la iniciativa del alumno ha permitido a este liderar el trabajo para cumplir los objetivos del presente texto.
- **CT-07. Responsabilidad ética, medioambiental y profesional:** la educación y los valores éticos son disciplinas que se trabajan en cualquier aspecto de la vida. Más aún, este proyecto ayuda a la responsabilidad medioambiental ya que intenta ajustar la cadena de suministro para evitar pérdidas de productos perecederos sobrantes. Por supuesto, se pretende que este proyecto ayude a la empresa a mejorar su proceso y conseguir aumentar los beneficios.
- **CT-08. Comunicación efectiva:** transmitir la información estrictamente necesaria de manera clara evita los malentendidos y las pérdidas de tiempo innecesarias que pueden provocar una mala comunicación. En este proyecto se ha encontrado en el correo electrónico un medio de comunicación efectivo para mantener el contacto con los tutores.
- **CT-09. Pensamiento crítico:** lo que caracteriza a cualquier ingeniero es, sin duda, el afán por cuestionar cada detalle, cada proceso o cada conocimiento puesto en juego. Por supuesto, el alumno ha puesto en práctica su pensamiento crítico, valorando y cuestionando en cada momento los avances que ha ido consiguiendo a lo largo del proyecto y, especialmente, cuestionando cómo se hacen las cosas en la empresa actualmente para poder mejorarlas.
- **CT-10. Conocimiento de problemas contemporáneos:** en la actualidad, tan importante es tener una buena base de conocimiento como estar al tanto de los últimos avances. Como ya se ha comentado, el alumno ha ampliado su conocimiento sobre el problema de la previsión de la demanda dentro de la cadena de suministro.

- **CT-11. Aprendizaje permanente:** el autoaprendizaje de un nuevo lenguaje de programación desconocido hasta ahora por el alumno o la familiarización con los métodos de previsión de la demanda, pone de manifiesto el alcance de esta competencia.
- **CT-12. Planificación y gestión del tiempo:** comenzando el proyecto en junio ha sido muy importante una buena planificación de calendario y priorización en el tiempo dedicado a cada actividad llevada a cabo en el presente proyecto.
- **CT-13. Instrumental específica:** ha sido necesario un profundo conocimiento del software empleado (MPL y Access) así como de los lenguajes de programación usados (MPL y Visual Basic). El alumno ha conseguido desenvolverse con soltura con el uso de estos programas.

Cabe señalar, en último lugar que, en estudios superiores de Máster, son los propios alumnos los que deben gestionar sus tareas, recursos y plazos así como proponer ideas y llevar a cabo la consecución de los objetivos por sí solos. Mientras que los tutores toman el papel de controlar y encauzar las decisiones del alumno, eso sí, ayudándolo con los posibles problemas que surgen durante el proyecto. Esta es la contraparte a lo que solía suceder en la antigua enseñanza donde era el profesor el que dictaba órdenes al alumno y este último las acataba sin tener a veces margen para aportar sus propias ideas. Entendemos que el primer enfoque es la dirección correcta, y es a lo que la UPV se dirige con el proyecto de competencias transversales.

2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1 Antecedentes de la empresa

Aunque en el apartado 1.3.1 se ha proporcionado una primera aproximación a la empresa (y, también, al problema que se abordará en el capítulo siguiente), en lo sucesivo se muestran más detalles sobre el entorno en el que se encaja este proyecto. Se prefiere preservar la identidad de la empresa. Sin embargo, esto no impide ofrecer una perspectiva histórica y aportar datos generales sobre la forma de trabajar de la empresa.

La empresa tiene más de 40 años de experiencia en el sector de la distribución y venta al por menor de alimentación a través de su red de supermercados, ofreciendo a sus clientes la llamada compra única. Nació en **Valencia** abriendo su primer centro a mediados de los 70 con varios centenares de socios y ha ido creciendo y consolidándose en el sector hasta contar, en la actualidad, con más de **600 supermercados** distribuidos a lo largo del arco mediterráneo español. Cuenta en sus filas con más de **10.000 trabajadores** y, además, tiene unos dos millones de socios clientes.

El buen hacer de esta empresa ha sido posible gracias, además del esfuerzo diario de sus trabajadores, al compromiso de los directivos por ofrecer un servicio de calidad y a la estrategia seguida con el paso de los años para alcanzar ese objetivo.

2.2 Datos generales

Actualmente, la empresa es una de las más importantes en el sector de la distribución. Trabaja todo tipo de productos que pueden encontrarse en cualquier supermercado, tanto de alimentación (carnicería, charcutería, panadería pescadería, fruta y verdura, congelados o alimentación general) como de no alimentación (perfumería, droguería y bazar).

La función principal que realiza es la **de abastecer a sus más de 600 tiendas a través de sus diferentes plataformas**. Estas plataformas están diferenciadas por la tipología de producto que en ellas se alberga y están distribuidas en tres zonas estratégicas para dar servicio a los supermercados asociados a estas. Además, la empresa se encarga de mantener un stock adecuado en sus plataformas para ofrecer un buen servicio, en última instancia, a sus clientes. Para ello, no cabe duda de que los acuerdos colaborativos con sus proveedores son clave para alcanzar este objetivo prioritario.

2.3 Configuración física y procesos

En el marco de la cadena de suministro, esta empresa ocupa los niveles más cercanos al cliente y se encarga desde el **aprovisionamiento de sus plataformas de distribución, pasando por el suministro a las tiendas desde las plataformas, hasta el servicio y venta al cliente final**.

Como cualquier cadena de supermercados, la mayor parte del proceso no conlleva una transformación en el producto sino que, básicamente, consiste en el lanzamiento de órdenes de pedido a proveedores, recepción en plataformas, preparación de pedidos (o *picking*) para tiendas, transporte de plataforma a tienda, relleno de lineales (o procesado previo en la propia tienda: horneadas de pan, charcutería al corte in situ en el momento de compra...) y venta a cliente final. En todos estos procesos, uno de los elementos más importantes para optimizar recursos, reducir costes y ofrecer un mejor servicio al cliente es, entre otros, tener las previsiones más acertadas posibles.

Se puede observar en la Ilustración 2-1 el área de influencia de la empresa dentro de la cadena de suministro en una simplificación gráfica de esta. Nótese que las fronteras respectivas a intercambios con proveedores son compartidas. Esto se debe, precisamente, a esa colaboración con algunos proveedores tal y como se comentaba anteriormente. En lo referente al transporte de stock desde la sede del proveedor hasta las plataformas de la empresa, hay proveedores que prefieren que sea la propia empresa de distribución la que recoja la mercancía y se encargue de llevársela a sus plataformas. Asimismo, otros proveedores se encargan por si solos de mantener las plataformas de la empresa de distribución con el nivel de stock adecuado para dar servicio a las tiendas. Para esto último, la empresa de distribución proporciona a los proveedores información sobre el nivel de stock de sus plataformas.

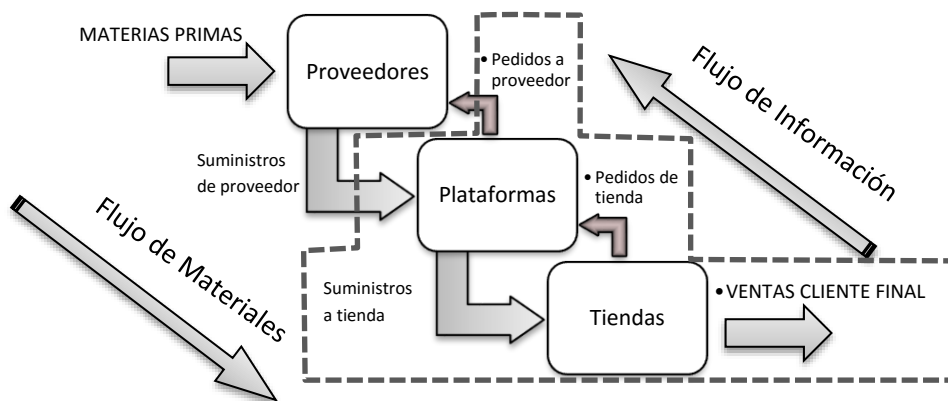


Ilustración 2-1: Simplificación de la cadena de suministro en el sector de la distribución. En línea a trazos, el área de influencia de la empresa dentro de la cadena de suministro.

A partir de este esquema básico, cabe destacar que todos estos procesos que se han comentado de manera general, toman mayor importancia si cabe en la empresa objeto de estudio debido al sector en el que ésta se sitúa. Así pues, el sector de la distribución y la venta al por menor de alimentación tiene como **complejidad añadida la tipología de productos** con los que debe trabajar. Se tienen, entre otras, las siguientes características asociadas a este sector y que merece la pena remarcar:

- **Elevada cantidad de referencias** a gestionar. Normalmente, una tienda de alimentación mediana cuenta en sus lineales con varios miles de referencias distintas que pueden llegar, incluso, a rebasar la decena de miles. Por supuesto, trabajar con tan elevado número de referencias hace más complicado tanto la planificación como la previsión.
- **Múltiples formatos con diferentes calidades.** A veces no es necesario solamente con disponer de una sola referencia de un producto sino que se hace necesario tener variedad en el lineal para darle opciones de elección al cliente. Piénsese, por ejemplo, los huevos se dividen en diferentes tallas dependiendo del tamaño de los mismos pero también se puede disponer de diferentes marcas en función de cómo se crían las gallinas en las granjas, pudiéndose marcar como ecológico si cumplen una serie de requisitos.
- Intrínseco a un alimento es su carácter **percedero** que merece especial importancia. Una mala gestión de stock en la cadena de suministro de productos frescos o refrigerados cuya vida útil es tan limitada hace que se deban extremar las precauciones para evitar, en la medida de lo posible, el desperdicio por un stock elevado o la rotura de stock por la carencia de éste. Un cambio brusco e inesperado en el comportamiento del consumidor

puede implicar serios problemas en la gestión de productos perecederos por el limitado tiempo de reacción del que se dispone.

- Asimismo, asociado al producto perecedero se tienen las **condiciones especiales de almacenamiento** tales como temperatura o humedad que deben respetarse y controlarse a lo largo de toda la cadena de suministro para asegurar que al cliente final le llega el producto con los estándares de calidad exigidos.
- Las **promociones** adquieren en este sector una pieza fundamental tanto para impulsar las ventas y “controlar” el comportamiento del consumidor como para ayudar a la gestión de stock. Así pues, se hace necesario buscar explicación a partir de diferentes variables asociadas a los periodos de oferta que ayuden a la previsión de la demanda. Otra forma de hacer uso de las promociones por parte de las empresas es para liquidar producto o impulsar la venta de productos con un stock demasiado elevado para intentar solventar el problema.

2.4 Principales proveedores y clientes

La empresa posee una amplia cartera de **proveedores** con los principales productores, fabricantes y empresas especializadas en productos tanto alimentarios como de uso doméstico diario. Así pues, apuesta por una extensa gama de productos con reconocidas marcas nacionales e internacionales. Además, esta empresa ofrece como alternativa su propia gama de marca de distribución para aquellos clientes menos exigentes con la calidad y más preocupados por la economía.

En cuanto a sus **clientes**, gran parte de ellos están adscritos como socios clientes de la empresa mediante la tarjeta de fidelización que ofrece a todos sus clientes. Con esta tarjeta, además de acumular un descuento porcentual de la compra total mensual, se benefician de otras ofertas de descuento exclusivas para estos usuarios. Todos esos descuentos se acumulan a final de mes y pueden ser canjeados en cualquier compra posterior.

Sin embargo, aunque el anterior grupo de clientes tenga un importante peso para esta empresa, el objetivo es atraer a cualquier tipología de cliente. Para ello, la empresa dedica una importante cantidad de recursos en estudiar el producto, conocer el mercado, analizar la competencia y el comportamiento del consumidor. Lo anterior unido al esfuerzo diario en ofrecer la mejor atención y escuchar lo que el cliente demanda, constituyen la base para satisfacer las necesidades que del cliente.

2.5 Consideraciones finales

Complementando todo lo descrito anteriormente en el presente capítulo sobre la empresa objeto de estudio en este proyecto, cabe destacar el **compromiso social así como el medioambiental**. Ambos conforman los valores de los que presume como la única manera de conseguir una cadena de suministro sostenible y responsable. Desde acciones como el ahorro energético, pasando por la donación del excedente de alimentos, o el compromiso por la conciliación de la vida laboral y familiar, hasta el apoyo a la economía local, contribuyen a alcanzar este objetivo y a convertirse en una empresa ejemplar en su sector.

3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Introducción

El presente TFM surge de la actividad desarrollada por el alumno en el marco de un convenio de prácticas con la empresa. En concreto, el alumno está desarrollando las prácticas en empresa en el **departamento de Frescos, Refrigerados y Congelados dentro del área de Organización y Aprovisionamiento**. La principal tarea que debe acometer el estudiante es **facilitar el trabajo de los Técnicos de Aprovisionamiento**. Estos últimos son las personas encargadas de realizar los pedidos a proveedores para mantener el stock necesario en plataformas que ofrezca un buen servicio a las tiendas que abastecen. Para facilitar esa tarea, el área de Organización da soporte a los técnicos de aprovisionamiento ayudando a resolver posibles problemas del día a día que suelen surgir con la incorporación de proyectos de mejora continua que se van implementando. Entre esos proyectos, continúa en fase de desarrollo el principal proyecto que moviliza al área de Organización para mejorar las previsiones que la empresa realiza con su herramienta de previsión.

Durante la realización de las prácticas en la empresa, el alumno ha podido entender el funcionamiento del departamento y ha sido capaz de identificar no sólo una serie de ineficiencias en diferentes áreas del departamento, incluida la de previsión de demanda, sino también los problemas derivados de las mismas, al tiempo que ha planteado posibles líneas de actuación. En los siguientes apartados se describe cada una de ellas para, finalmente centrar el ámbito de actuación del presente TFM en el área de **previsión de demanda por considerar que representa una de las líneas de mejora más potenciales y con mayor impacto para la empresa**, tal y como se justifica a continuación.

3.2 Análisis de la situación actual e identificación de ineficiencias

Tras varios meses de trabajo diario, observación y análisis de cada proceso en el que el alumno ha estado involucrado, ha sido capaz de identificar una serie de puntos que son susceptibles de ser mejorados. Se recogen esquemáticamente en la Tabla 3-1 y se analizan con detalle posteriormente.

Tabla 3-1: Identificación de las oportunidades de mejora detectadas: ineficiencias y problemas que generan.

Área	Ineficiencia	Problema que genera
Flujo tenso	Tardanza en la transmisión diaria de los pedidos de tienda a plataforma y	Rotura de stock a cliente final (consumidor).
Flujo tenso	Mala previsión de la tienda en la realización de los pedidos.	Rotura de stock a cliente final (consumidor) o desperdicio de producto en exceso por caducidad.
Gestión de la información	Actualización periódica de los cuadros de mando.	Pérdida de tiempo que podría ser empleado en otros asuntos con mayor valor añadido.
Gestión de la información	No se almacenan datos históricos que pueden ser muy útiles en un futuro.	Imposible recuperar datos pasados que no han sido guardados convenientemente.
Gestión de la información	Se utilizan diferentes códigos para una misma referencia o, al contrario, un código para diferentes referencias	Dificultad para el tratamiento de la información en la generación de cuadros de mando.
Previsión de la demanda	Elevado error de acierto en las previsiones. Proceso de cálculo deficiente.	Escasa utilización de la herramienta de previsión por parte de los técnicos de aprovisionamiento ya que les supone una pérdida de tiempo adicional.
Previsión de la demanda	No se muestran datos importantes sobre el cálculo de previsiones: error en la previsión, histórico de previsiones y comparación entre métodos.	Pérdida de datos para la valoración del funcionamiento de la herramienta.

3.2.1 Flujo tenso

Una de las áreas que pueden hacer mejorar el funcionamiento de la empresa en particular y, de la cadena de suministro en general es la estandarización del llamado flujo tenso. Aplicado al caso que nos concierne, consiste en, cada día, agrupar los pedidos de tiendas y lanzar a partir de ellos en ese mismo día, un pedido al proveedor. El proveedor se compromete a entregarlo a plataforma en el plazo máximo de 24 horas para poder ser entregado a tiendas en las 24 horas siguientes. Esta forma de aprovisionamiento tiene la **ventaja de trabajar con stock nulo en plataformas** que tienen la función únicamente de realizar el picking de cada ruta. Además, es una buena solución para trabajar con productos cuya vida útil es muy corta, como puede ser el caso del pescado ya que, al ser un producto con una vida tan corta y de un elevado precio, el flujo tenso evita tener stock sobrante en plataforma que deba ser desechado por exceder su vida útil. Se garantiza así la frescura del producto para el cliente final. Por el contrario, como **deficiencia, la tardanza** en muchas ocasiones en las **trasmisiones de los pedidos de tienda a plataforma**, hace que la falta de servicio se vea reflejada en la propia tienda y sea detectado por el cliente final. Este es el principal problema de esta área: la elevada rotura de stock debido a que los pedidos que la tienda transmite a plataforma demasiado tarde no se tienen en cuenta para agruparlos al pedido que desde plataforma se le realiza al proveedor diariamente. Esto conlleva, en muchas ocasiones a disponer de una cantidad de producto en plataforma menor de la necesaria para abastecer esos pedidos extra. Se suele solucionar reajustando otros pedidos con mayor volumen para no dejar ninguna tienda sin producto.

Por otra parte, la **mala previsión que las tiendas realizan en relación a estos pedidos** provoca tanto la rotura de stock a cliente final en un extremo como el desperdicio de producto en exceso por caducidad en el otro.

3.2.2 Gestión de la información

Existen diferentes **deficiencias menores** en lo que respecta a la gestión de la información. Entre las tareas de los técnicos de organización se encuentra la **actualización periódica de cuadros de mando**. Esta tarea repetitiva hace perder tiempo que se podría emplear en otros quehaceres en los que el trabajador aporte un valor añadido.

Asimismo, analizando otro punto relacionado con la gestión de información, sería interesante **almacenar cierto tipo de información** que está disponible para consultas en línea pero, sin embargo, **no se conserva como histórico**. Por ejemplo, actualmente no es posible conocer el número de tiendas en las que se ha trabajado un artículo concreto en una fecha pasada determinada. Otro ejemplo, en relación a la previsión, tampoco se almacena datos pasados de previsión. Ni tan siquiera la **herramienta de previsión** que posee la empresa ofrece el **error de ajuste del modelo** con el que se calculan las previsiones diarias o semanales.

Finalmente, un problema menor que no compromete a la gestión de stock pero sí a la gestión de la información, tiene que ver con la **utilización de diferentes codificaciones para denominar una misma referencia** cuando ésta sufre algún proceso de transformación desde que se recibe por el proveedor hasta que se vende al cliente final (piénsese, por ejemplo, las piezas de charcutería al corte que tendrán una referencia para la pieza (unidad) y otra para el producto cortado que se lleva el cliente final (peso en kg). Asimismo, **hay diferencias referencias a granel y que pueden venderse, todas ellas,**

con un mismo código. Esto hace que sea imposible determinar qué cantidad se ha vendido (o desechado) de cada una de ellas y sólo se puede estimar en su conjunto a partir de los propios pedidos de tienda a plataforma.

3.2.3 Previsión de demanda

Tal y como se ha comentado en la introducción uno de los principales proyectos de mejora continua en los que se encuentra inmersa actualmente la empresa es el proyecto de previsión. Este proyecto ha dado como resultado una herramienta desarrollada por una empresa externa que se utiliza para obtener la previsión principal que posteriormente será modificada considerando la información proporcionada por otra herramienta sobre las ofertas. En los siguientes apartados se detallan tanto las herramientas existentes actualmente en la empresa como el proceso actual de cálculo de previsiones.

3.2.3.1 Descripción de las herramientas de previsión actuales en la empresa

A continuación se describen las herramientas de previsión que la empresa utiliza y que son susceptibles de mejora. Se dispone de dos herramientas informáticas, ambas desarrolladas y mantenidas por consultoras externas diferentes.

- **Herramienta GPO** (del inglés, *Global Purchase Order*), aplicación multiusuario implantada en los sistemas informáticos globales de la empresa que realiza el **cálculo semanal de la previsión** (Forecast) y, además, realiza el **reparto diario de esa demanda y propone un plan de exigencias de distribución o DRP** (del inglés, *Distribution Requirement Planning*). GPO tan sólo realiza previsiones atendiendo a históricos de suministros a tienda mediante modelos basados en series temporales. Esta herramienta es la que utilizan los técnicos de aprovisionamiento para completar la propuesta de pedido a proveedores. que no es más que la agregación, por proveedor y plataforma, de las necesidades para un día determinado.
- **Herramienta para el cálculo de los incrementos de demanda durante los periodos de oferta.** Para tener en cuenta alguna de las variables causales y afinar más el proceso de previsión de la demanda, **se calculan separadamente los incrementos de previsión que tienen lugar debido a las ofertas.** Estos incrementos se deben calcular exteriormente a GPO, se realizan una vez al mes y se introducen manualmente a la herramienta GPO para que, en última instancia, los aprovisionadores tengan el dato más acertado posible cuando la referencia se encuentra afectada por una oferta.

El proyecto GPO nació a finales del año 2006 pero no comenzó a instaurarse hasta mediados de 2007. Sin embargo, no es hasta 2015 cuando queda implantado por completo en las secciones susceptibles de utilizar esta herramienta, esto es, aquellas que trabajan con stock en plataforma. Por su parte, la herramienta de previsión de las ofertas termina de desarrollarse a finales de 2015, pudiendo integrar así ambas previsiones.

3.2.3.2 Proceso de previsión actual en la empresa

El **proceso de previsión** que actualmente se lleva a cabo en la empresa es el que aparece en la **Ilustración 3-1**. Como puede observarse, el primer paso consiste en un **pretratamiento de los**

históricos de salidas de plataforma a tiendas, con objeto de **eliminar la influencia de las variaciones del histórico debidas a los incrementos producidos por ofertas**. Esto se hace así, porque tal y como se ha comentado anteriormente, la herramienta GPO se basa en previsiones de series temporales por lo que es necesario eliminar del histórico todos aquellos comportamientos que no sigan un patrón repetitivo en función de la variable tiempo. Los **datos históricos pretratados constituyen el input a la herramienta de previsión GPO que devolverá como salida la previsión para las próximas semanas**. Por otra parte, para complementar las previsiones por series temporales, a través de la segunda herramienta se calculan, mediante regresiones lineales, los **incrementales semanales en la demanda que se producen debido a las ofertas**. Estos incrementos se incorporan manualmente a las previsiones iniciales realizadas por series temporales. Se puede observar gráficamente este enfoque actual en la citada ilustración que se muestra seguidamente.

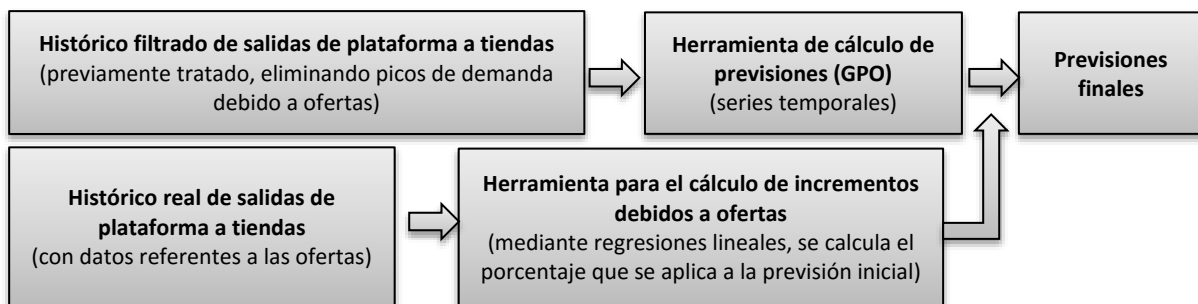


Ilustración 3-1: Perspectiva actual del cálculo de previsiones en la empresa a nivel semanal.

El primer paso para el cálculo de previsiones es el que realiza la herramienta GPO. GPO calcula previsiones a nivel semanal para cada referencia en cada plataforma y, posteriormente, las divide diariamente entre los diferentes días de la semana a partir de los porcentajes asociados a cada día. Básicamente, la herramienta toma los valores de histórico ya filtrado, compara internamente cual es el mejor método de previsión y ofrece como salida la previsión o Forecast semanal. Comentaremos estos tres conceptos a continuación:

- El **histórico** que utiliza la herramienta para el cálculo de las previsiones está **previamente filtrado**. Como ya hemos dicho, GPO tan sólo utiliza métodos basados en series temporales. Por este motivo, se intenta mediante este filtrado reducir la afectación de las ofertas al histórico. En otras palabras, el dato de histórico que se pretende introducir a GPO son las salidas que ha tenido un artículo si no hubiera estado de oferta. Se consigue así **eliminar el factor causal de oferta**.

Se debe comentar aquí que el proyecto de filtrado de datos se ha llevado a cabo con la ayuda de una consultora externa y se ha implantado recientemente en 2016.

- El cálculo se basa en **cinco métodos**:
 - Media móvil
 - Suavizado exponencial
 - Método de Holt
 - Método de Holt-Winters
 - Ajuste de tendencias (regresión simple)

El proceso de cálculo, que GPO realiza íntegramente de manera interna sin intervención del usuario, consiste en tomar el histórico de cada referencia, considerar inicialmente la primera mitad de periodos del histórico y realizar previsiones de la segunda mitad de periodos con cada método. A continuación, comparar cuál de los cinco métodos se ajusta mejor al histórico de la segunda mitad de periodos y elegir el de menor error de acierto. Por último, con el método elegido se calcularán previsiones a futuro pero considerando ya todos los periodos de histórico.

- La salida es el forecast con las **previsiones semanales calculadas para cada artículo y plataforma con el mejor método a partir de la fecha actual**. Es decir, lo único visible y exportable por el usuario son estas previsiones semanales. Sin embargo, si no se guardan estas previsiones, no se podrán consultar en el futuro ya que, en el siguiente recálculo, se sobrescribirán.
- A esas previsiones iniciales que realiza GPO se le **añaden los incrementos por oferta** calculados a través de la herramienta diseñada para tal fin. Esta última, debe ser controlada por el usuario quien es el encargado de realizar los pasos necesarios para la obtención de resultados:
 - Introducir en la herramienta el histórico real con datos sobre ofertas que hay disponible en la empresa para tal fin,
 - lanzar y esperar la finalización de los cálculos con su ordenador personal
 - y, finalmente, introducir a GPO los incrementos calculados para que muestre la previsión final y lanzar el recálculo de GPO.

Cabe recalcar que esta etapa **se realiza una vez al mes**, solo para las **ofertas de carácter mensual y debe ser realizada manualmente por el usuario**, externamente a GPO.

- Cada vez que se la herramienta GPO, se tendría que lanzar el recálculo (o esperar al día siguiente a que se recalcule automáticamente) para tener en cuenta estos incrementos debidos a ofertas.
- Finalmente, el último paso sería **dividir esas previsiones diariamente para generar el DRP** o plan de requerimientos de distribución diario. Este proceso lo realiza a partir de los pesos asociados a las salidas de cada día de la semana, estimados a partir de las últimas semanas (no se conoce con exactitud cómo se realiza este proceso).

3.2.3.3 Identificación de las ineficiencias

Se han encontrado significativas carencias en cuanto al cálculo de previsiones se refiere. Por una parte, aunque existe una herramienta centralizada que se alimenta por si sola de la información necesaria disponible en los sistemas de la empresa, las previsiones que calcula no tienen en cuenta ningún tipo de factores causales tales como las acciones comerciales. Se ha observado que las ofertas provocan un comportamiento incremental en la demanda del consumidor y, por supuesto, en los pedidos de tiendas a plataforma. Para solventar esa variación no contemplada en las previsiones iniciales que calcula la empresa, se estiman unos incrementos semanales producidos por la oferta y se añaden a las previsiones iniciales calculadas mediante series temporales (se observaba anteriormente en la Ilustración 3-1). Se utiliza para ello una herramienta Access similar a la que se propone en el presente proyecto pero que utiliza modelos de previsión basados en regresiones lineales. Sin embargo, el resultado que ofrece esta herramienta son las estimaciones de incrementos porcentuales de salidas

de plataformas respecto a una previsión normal que no tuviera en cuenta la oferta. Por todo lo anterior, es necesario alisar en el histórico los incrementos de salidas que protagoniza cada referencia durante los periodos de oferta para que la previsión base no se vea influenciada por esa variación.

Pese a lo racional del **planteamiento actual para el cálculo de previsiones, se ha probado poco fiable por parte de los técnicos de aprovisionamiento**. Prueba de ello es que el **uso que se hace de esas previsiones es poco frecuente** (según indicadores de control interno, en torno a un **15%**), debido a que el **error actual en las previsiones** que realiza la empresa se sitúa en un **51,07% (promedio de MAPE diario)**.

Además, unido a lo ya comentado en lo referente a la gestión de la información, existe una **necesidad importante para almacenar los históricos de previsión y así poder valorar el funcionamiento de la herramienta**. En ese sentido, sería conveniente también que la herramienta **mostrara el error de previsión** con el que trabaja cada referencia para que el usuario tenga más información de juicio a la hora de tomar la decisión final. Como última ineficiencia detectada en este sentido, una información adicional que sería interesante mostrar y almacenar sería la comparativa entre los diferentes métodos usados para el cálculo de previsiones para estudiar cómo está funcionando cada uno de ellos.

3.3 Posibles líneas de actuación

En la Tabla 3-2 se resumen las líneas de actuación que se proponen para los problemas descritos anteriormente. Posteriormente, se explican con detalle las diferentes acciones que podrían dar solución a las oportunidades de mejora descritas en el apartado anterior.

Tabla 3-2: Resumen de las líneas de actuación propuestas para cada ineficiencia identificada.

Área	Ineficiencia	Problema que genera	Línea de actuación propuesta
Flujo tenso	Tardanza en la transmisión diaria de los pedidos de tienda a plataforma y mala previsión de la tienda en la realización de los pedidos.	Rotura de stock a cliente final (consumidor).	Mejorar la transmisión de pedidos de tienda y la previsión de venta a nivel de cada tienda por parte del departamento de Gestión de Tiendas.
Flujo tenso	Mala previsión de la tienda en la realización de los pedidos.	Rotura de stock a cliente final (consumidor) o desperdicio de producto en exceso por caducidad.	Mejorar el cálculo de previsiones venta.
Gestión de la información	Actualización periódica de los cuadros de mando.	Pérdida de tiempo que podría ser empleado en otros asuntos con mayor valor añadido.	Programar la actualización automática de esos informes mediante la herramienta que posee la empresa por parte del departamento de Informática.
Gestión de la información	No se almacenan datos históricos que pueden ser muy útiles en un futuro.	Imposible recuperar datos pasados que no han sido guardados convenientemente.	Encargar el proyecto con los campos necesarios a guardar en la BBDD a la empresa externa que lo gestiona.
Gestión de la información	Se utilizan diferentes códigos para una misma referencia que sufre alguna transformación dentro de la empresa	Imposible recuperar datos pasados que no han sido guardados convenientemente.	Proyecto en marcha para la unificación de códigos.

Previsión de la demanda	Elevado error de acierto en las previsiones. Proceso de cálculo deficiente.	Poco uso de la herramienta de previsión por parte de los técnicos de aprovisionamiento ya que les supone una pérdida de tiempo adicional.	Cambio en la perspectiva actual de cálculo de previsiones.
Previsión de la demanda	No se muestran datos importantes sobre el cálculo de previsiones: error en la previsión, histórico de previsiones y comparación entre métodos.	Pérdida de datos para la valoración del funcionamiento de la herramienta.	Encargar el proyecto con los campos necesarios a mostrar y almacenar en los sistemas a la empresa externa que lo gestiona.

3.3.1 Flujo tenso

Analizando el problema del flujo tenso, se encuentra que el problema se escapa de los límites de influencia del departamento en el que se encuentra el alumno. En este caso, debería ser el **departamento de gestión de tiendas el encargado de mejorar la transmisión y previsión de venta de esa tipología de productos**. Aun así, en cuanto a lo que respecta a previsiones, se podría mejorar directamente a partir del presente proyecto. Sin embargo, dada la variabilidad de secciones como la de pescado que depende de otros factores como los climatológicos o factores de oferta y demanda según volumen de producto disponible en las lonjas, se hace muy complejo un cálculo de previsiones de venta en esta sección.

3.3.2 Gestión de la información

En lo referente a la **automatización en los informes** periódicos, la **empresa está en posesión de una potente herramienta de generación de cuadros de mando que se alimenta automáticamente de los datos del servidor interno**. Se podrían aprovechar esos recursos para incluir informes que hay que actualizar diaria, semanal o mensualmente. Con ello, podría haber más tiempo disponible para los compañeros de organización para realizar análisis o estudios específicos en aquellos aspectos estratégicos que soliciten los ejecutivos para su toma de decisiones.

Por su parte, **el almacenamiento de información monitorizada** que hoy en día no se almacena en las bases de datos de la empresa, sería más bien un **proyecto que se debería la empresa externa que gestiona los sistemas de BBDD**. Sin embargo, entendemos que la consecución de este proyecto, una vez definidos los registros que se quieren almacenar, no supondría grandes problemas.

En lo referente a las **diferentes codificaciones**, ya existe un **proyecto en marcha para la unificación de los códigos** para definirlos de tal manera que puedan utilizarse para la misma referencia aunque sufra algún tipo de transformación desde que se recibe del proveedor hasta que se vende al cliente final. También se está trabajando para **eliminar los códigos de “graneles”** que engloban en un solo código diferentes referencias y se hace imposible estimar la cantidad vendida de cada una de ellas.

3.3.3 Herramientas de previsión

Finalmente, en lo que concierne a la herramienta de previsión, se podría **proponer una visión totalmente diferente en el cálculo de previsiones** y, también, en la gestión de pedidos de tienda a plataforma para intentar reducir la incertidumbre que supone para los técnicos de aprovisionamiento el no saber cuál será el comportamiento de las tiendas. En la Ilustración 3-2 se muestra una perspectiva general sobre el cálculo de previsiones dentro del área de influencia del departamento de organización

y logística. Hasta ahora se realizan previsiones para suministros de plataforma a tiendas. En cambio, para mejorar el proceso en su conjunto, **se propone partir de las previsiones** en el eslabón más aguas abajo de la cadena, **en las tiendas**, junto con la estandarización de los pedidos de tienda a plataforma. La combinación de ambos factores supondría la clave del éxito para facilitar el trabajo a los técnicos aprovisionadores. En otras palabras, si se es capaz de realizar unas buenas previsiones de venta a cliente final y además se conoce de antemano cómo se va a comportar el pedido de las tiendas a partir de esas previsiones, las plataformas pueden realizar estimaciones de salidas a tienda mucho más precisas y cumplir así los objetivos de mantener el stock al mínimo y no dar rotura de stock a tiendas.

Por último, cabe destacar que cualquier mejora que se quiera implementar en lo referente a la herramienta GPO debe pasar por la aprobación directiva del presupuesto y el encargo del proyecto a la empresa externa que la mantiene. Hecho que dificulta y retrasa enormemente las tareas de mejora continua propuestas por parte del área de organización.

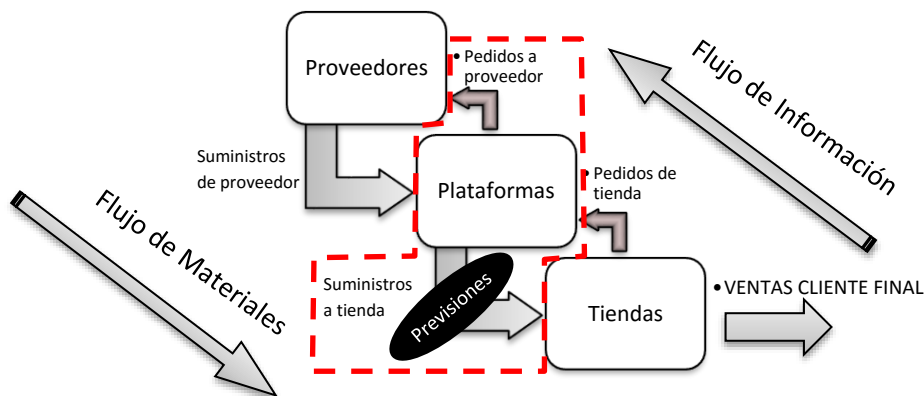


Ilustración 3-2: Visión actual del área de organización y aprovisionamiento de plataformas y servicio a tiendas. En línea a trazos, el área de influencia del departamento de organización y aprovisionamiento de plataformas.

3.4 Elección y justificación de la vía de actuación

Como ya se ha comentado, disponer de unas previsiones acertadas permite alcanzar los objetivos inherentes al trabajo diario de los técnicos de aprovisionamiento: minimizar la rotura de stock a tienda y minimizar los costes asociados al transporte (menor número de pedidos posible), almacenamiento (menor stock en plataforma posible) y pérdida de stock perecedero remanente (evitar que los productos frescos pasen más tiempo que la vida máxima de permanencia en almacén). Asimismo, el trabajo en conjunto de ambas áreas es el camino hacia la consecución de los mejores resultados para la empresa en general y para conseguir las mejores previsiones en particular.

Atendiendo a lo anterior, se apuesta en este proyecto por impulsar esa gestión colaborativa entre el área de logística y de gestión de tiendas, que se proponía en el apartado anterior, mediante el **diseño de una herramienta de previsión de ventas a cliente final**. Se testeará su funcionamiento aplicándola a una de las secciones de la empresa, se propondrá un plan de implantación y se estimarán los beneficios que podría reportar. Cabe destacar que se propone trabajar **mediante modelos causales para así poder integrar todos los factores que afectan a la variación de la demanda**. Se consigue con ello obtener la previsión final a partir del agregado de todas las variables en un solo paso. En otras palabras, se mejoraría el proceso actual de previsiones consistente en un primer paso de cálculo

automatizado mediante series temporales y un segundo paso manual de cálculo mensual de incrementales de oferta para anexar a esas previsiones base.

Con lo enunciado hasta ahora, cabe destacar que los procesos críticos implicados son, por un lado, los suministros a tienda y, por el otro, los pedidos de tienda a plataforma. Hasta ahora, los pedidos de tienda los realiza cada tienda mediante diferentes métodos (automáticamente a partir del stock en tienda y las ventas, manualmente o una combinación de ambos). Si se consiguiera un sistema integrado en el cual los suministros a tienda se realizaran a partir de previsiones de venta cliente final, se eliminaría de la ecuación las posibles especulaciones que puedan introducir las tiendas en sus pedidos y, por tanto, se reduciría la variación inexplicada con la que se juega en los históricos de suministros a tienda. Además, se reduciría considerablemente el problema de la baja rotación. Por ejemplo, un producto que se venda de media 1 o 2 unidades al día pero del cual la tienda no realice pedido hasta que no tenga el espacio suficiente en el lineal para rellenar una caja (imaginemos, 12 unidades por caja), realizará pedidos de una caja con una frecuencia de entre 6 y 12 días. Sin embargo, esa variabilidad que es tan difícil predecir trabajando solamente con suministros a tienda, sería mucho más fácil de prever trabajando con unidades de venta a cliente final.

Es por ello que este **proyecto pretende dar los primeros pasos en un cambio general en la gestión de la empresa desde la perspectiva de la estimación de previsiones**. Para ello, en lugar trabajar como se mostraba en la Ilustración 3-1, se propone un enfoque como en la Ilustración 3-3. En este caso, se realizaría la previsión de ventas de tienda a cliente final utilizando un modelo causal que englobe todas las variables posibles que expliquen la variación de la demanda (incluida la variación por oferta). Para ello, el histórico con el que se trabajaría ya no sería el de salidas de plataforma a tienda sino que se utilizaría el histórico de ventas a cliente final, agrupando las tiendas que son servidas desde cada plataforma de la empresa. Además, a este histórico habría que añadirle las variables causales propias de cada histórico a partir de eventos de calendario y eventos de oferta que serán las variables que se utilicen en el modelo para el cálculo de previsiones asociadas a cada una de ellas.

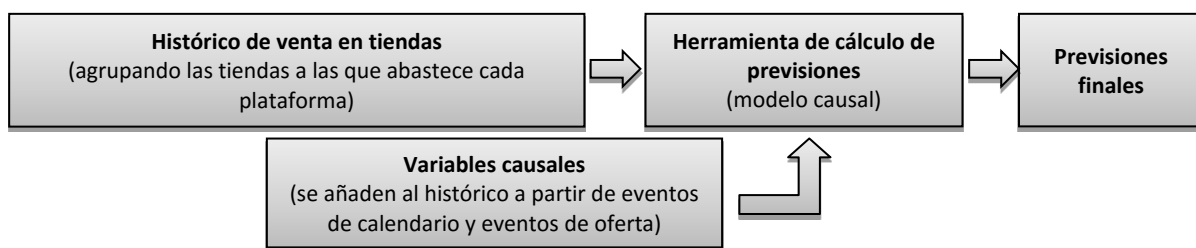


Ilustración 3-3: Perspectiva que se propone en este proyecto para el cálculo de previsiones a nivel diario.

Como objeción a lo propuesto en este proyecto, cabe destacar que las previsiones que se obtendrían son previsiones de venta a cliente final y, posteriormente, habría que tratarlas para estimar las previsiones de salida de plataforma que son las que interesan al departamento objeto de estudio. Para ello sería necesario controlar el método de pedidos de tienda a plataforma que traspasaría las fronteras del departamento de organización y logística de plataformas. Esta iniciativa simplemente se comenta como posibilidad y necesidad futura ya que un proyecto de tal envergadura rebasa el alcance de este TFM que se centrará exclusivamente en el diseño de la herramienta de cálculo de previsiones y su aplicación a un grupo de referencias para comprobar su funcionamiento.

3.5 Consideraciones finales

Aunque la propuesta inicial de este proyecto se presente como una herramienta manual en la que tiene que intervenir el usuario para lanzar el cálculo de las previsiones, tanto el modelo como las funcionalidades de la herramienta se describirán para que sean exportables a cualquier lenguaje de programación. Así pues, para llevar este proyecto a la realidad de la empresa sería necesario que el departamento de informática traduzca lo que aquí se propone para programarlo e implementarlo en los sistemas de la empresa. La herramienta de previsión se alimentaría de los datos necesarios que deberán estar disponibles en los sistemas de la empresa o ser mantenidos por los técnicos de organización y ofrecer las previsiones como salida sin que el usuario tenga que intervenir más de lo estrictamente necesario. De esta manera se expone y queda reflejado tanto en el presupuesto como en el plan de implantación propuesto.

4 ESTADO DEL ARTE: ANTECEDENTES TEÓRICOS

4.1 La previsión de la demanda en la cadena de suministro

La **previsión de la demanda** consiste, básicamente, en tratar de predecir el comportamiento futuro del consumidor tanto en el tiempo como en la cantidad. Esto es, tratar de pronosticar, para un determinado ítem o servicio, cuánto se requerirá por el usuario y en qué momento futuro. Este **proceso es crítico para la mayor parte de las empresas** puesto que de él dependen, de manera directa, los procesos previos de **aprovisionamiento** que permiten tener el producto terminado a disposición del cliente final cuando éste lo requiere y en la cantidad adecuada (evitar falta de servicio o niveles de stock elevado). En otras palabras, predecir, con tiempo suficiente y de manera más o menos acertada, el comportamiento del consumidor final es la base en la cadena de suministro para permitir al productor y al resto de la cadena de suministro adaptarse a las necesidades futuras que se le requerirán y ofrecer, por tanto, un mejor servicio al cliente. En sector de la venta al por menor, la previsión de la demanda futura es uno de los principales problemas para la estrategia y la planificación efectiva de decisiones (Ramos *et al.*, 2015). En concreto, **es importante en el sector de la alimentación ya que se trabaja con productos perecederos con una vida útil muy corta y, una previsión acertada reduce considerablemente la pérdida de ventas por falta de producto y el desperdicio por excesiva cantidad en el punto de venta** (Doganis *et al.*, 2006).

Obviamente, el concepto de previsión de la demanda puede aplicarse a cualquier sector que ofrezca un producto o un servicio a un tercero. Así pues, puede ser **aplicado a cualquier nivel de la cadena de suministro**. Siguiendo la Ilustración 4-1 e introduciendo como ejemplo, el sector en el que se centrará nuestro estudio, el de la alimentación, se puede analizar la cadena de suministro como sigue: una tienda debe estimar cuánto se venderá al cliente final (anónimo y con un determinado comportamiento); por su parte, el distribuidor que abastece a la tienda deberá estimar cuánto le requerirá esa tienda (y las demás a las que suministre) para dimensionar correctamente sus almacenes y demandar sus pedidos al fabricante; el fabricante que abastece al distribuidor deberá estimar los pedidos que le hará este último para optimizar sus recursos y capacidades y abastecerse de las materias primas necesarias para su producción; y, en el último eslabón de la cadena, el productor que abastece al fabricante, tiene que dimensionar sus campos de cultivo o producción primaria con el fin de ofrecer la materia prima que le requiere el anterior. **Cada una de las figuras implicadas en la cadena de suministro pueden realizar sus propias previsiones** teniendo en cuenta como demanda la de su predecesor en la cadena pero, en última instancia, **todas ellas se verán influenciadas por el comportamiento del consumidor final**.



Ilustración 4-1: Ejemplo de una posible cadena de suministro en el sector de la alimentación.

Desde la perspectiva de la cadena de suministro en su conjunto, las **necesidades de previsión difieren dependiendo del actor considerado** o, más bien, de su nivel dentro de la cadena. Las diferencias principales entre ellos se basan en dos motivos principales.

- En primer lugar, **la frecuencia de pedido y el plazo desde que se realiza el pedido hasta que se recibe es el periodo mínimo de previsión que se requiere**. Por ejemplo, empezando desde el escalón más bajo, si una tienda puede realizar el pedido diariamente, solamente será necesario que estime la demanda del mismo día que realiza el pedido y el siguiente. Sin embargo, si una plataforma distribuidora puede realizar un pedido semanal a uno de sus proveedores y ese pedido se realiza los lunes y se entrega los miércoles, la distribuidora debe ser capaz de predecir, como mínimo, la demanda que le requerirá la tienda desde el lunes que se realiza el pedido hasta el miércoles de la semana siguiente donde recibirá el siguiente pedido. Yendo más allá, el fabricante que suministra a la distribuidora una vez por semana, es a su vez suministrado por los productores que le proporcionan materias primas una vez al mes. En ese caso, el fabricante debe ajustar ese pedido mensual de materias primas según la demanda que le requiere el distribuidor y necesitará, como mínimo, predecir la demanda de un mes.
- En segundo lugar, **el nivel de agregación de la demanda puede aumentar notablemente cuanto más ascendemos en la cadena de suministro**. Siguiendo con el caso práctico anterior, una distribuidora aprovisionará a numerosas tiendas mientras que, por su parte, un fabricante puede aprovisionar a varias distribuidoras. Por último, un productor podría aprovisionar a varias factorías. Cabe decir en este punto que puede darse el caso y, de hecho, en la práctica ocurre en el que, para un mismo producto, un eslabón final o intermedio (p. ej., tienda o distribuidora) tengan el servicio simultáneo de diferentes eslabones superiores (varias distribuidoras o varias productoras/factorías, respectivamente).

Con lo descrito anteriormente, puede intuirse que uno de los **principales problemas de la cadena de suministro reside en la correcta previsión futura de la demanda**. Sin embargo, es frecuente que cada uno de los eslabones trabaje aisladamente y con la incertidumbre que conlleva la falta de información por parte del resto de los integrantes de la cadena de suministro. En los últimos años se ha investigado sobre este tema y se ha llegado a la conclusión de que la integración de los diferentes implicados en la cadena de suministro mediante el **intercambio de información** útil entre ellos es la **clave del éxito para una buena previsión colaborativa** de la demanda (Eksoz *et al.*, 2014; Syntetos *et al.*, 2016). Siguiendo el ejemplo práctico mostrado en la Ilustración 4-1, un fabricante trabajando aisladamente tan sólo sería capaz de observar la demanda agregada de cada distribuidora a la semana. Sin embargo, trabajando colaborativamente, la distribuidora podría proporcionarle información al fabricante sobre lo que le demandan las tiendas diariamente con el fin de que el fabricante se adelante a esa demanda y pueda prever con menor incertidumbre la demanda de la distribuidora. El principal objetivo perseguido con este enfoque va más allá y propone realizar una previsión consensuada entre todos los colaboradores en lugar de realizar diferentes previsiones para cada nivel de la cadena (Eksoz, Mansouri, & Bourlakis, 2014). Otros estudios como el de Poler *et al.* (2008) y el de Cheikhrouhou *et al.* (2011) alcanzan conclusiones similares. Así pues, para conseguirlo es necesario el intercambio de información entre las partes implicadas y la integración de acuerdos (contractuales o no) que definan

los parámetros en juego dentro del sistema. El objetivo último no es más que mejorar en todas las partes de la cadena.

En línea con lo anterior, el estudio de Vljic *et al.* (2012) propone el diseño de una cadena de suministro robusta en su conjunto en el caso de productos alimentarios. En este caso, en lugar de centrarse en la previsión de la demanda propiamente dicha, propone una perspectiva **para identificar y prevenir los principales eventos que perturban el habitual funcionamiento normal de la cadena de suministro**. Se trata de otro punto de vista para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro a través de la minimización de los riesgos a los que están expuestos todos los integrantes de la misma.

Para poder ser competitivas dentro del mercado, la mayoría de las empresas cuya actividad se base en producción, distribución o servicios dedica parte de sus recursos, directa o indirectamente, a la previsión de la demanda. Sin embargo, no todas las empresas utilizan herramientas específicas de previsión sino que algunas solamente se basan solamente en históricos o intuiciones sobre cómo se comportará la demanda futura para la toma de decisiones. Por su parte, existen diferentes herramientas que incorporan varios métodos o modelos matemáticos de previsión que ofrecen resultados relativamente buenos.

4.2 Breve revisión de los modelos de previsión

Los modelos de previsión más utilizados se pueden clasificar en tres grandes grupos: **modelos basados en series temporales, ajustes de expertos y modelos causales**. En los siguientes apartados se desarrolla brevemente cada uno de ellos aunque, cabe destacar que, como este TFM se centrará en modelos de previsión causal, se dedica un apartado para explicar los principales conceptos en los que se basan estos modelos y los avances que se han realizado en los últimos años.

4.2.1 Modelos de previsión basados en series temporales

Los modelos de previsión basados en series temporales son ampliamente conocidos en el mundo de la previsión de la demanda. Se fundamentan en intentar explicar la variación de la demanda a través de **patrones temporales**. Es decir, la única variable de la que depende la demanda es el tiempo. A su vez, estos patrones temporales pueden dividirse en tres grandes grupos: **patrones cíclicos, estacionales y de tendencia** (Sepúlveda-Rojas *et al.*, 2015). Estos modelos han sido los más usados tradicionalmente por su simplicidad y facilidad computacional. Se puede destacar, por ejemplo, que la empresa objeto de estudio basa su herramienta principal de cálculo de previsiones en series temporales.

Como recientes aportaciones sobre estos métodos en el sector que nos ocupa, encontramos estudios mediante complejos modelos basados en series temporales como el de Taylor (2007) que trataba de realizar pronósticos para las ventas diarias de un supermercado a través del modelo que propone, llamado en inglés *Exponentially Weighted Quantile Regression (EWQR)* que consiste, básicamente, en dividir la serie temporal mediante cuantiles y dar más peso a los segmentos de histórico más reciente.

Cabe destacar también el estudio de Veiga *et al.* (2012), aplicado al mismo sector en el que se centra el TFM, que realiza una comparación de dos métodos de previsión clásicos como son el de Holt-Winters y ARIMA (Autoregressive and Integrated Moving Average) con métodos novedosos basados

en lógica difusa y en inteligencia artificial. En esa comparación pone de manifiesto la mala efectividad de los dos primeros frente a la mejora sustancial de las previsiones con esos nuevos métodos que ya no utilizan el concepto de series temporales.

Por último, señalar el estudio de Tanaka (2010) para la previsión de productos de nuevo lanzamiento en sus primeros días de venta. Su modelo, llamado “*NM method*” se basa en el cálculo de la previsión para un periodo mucho más largo que la longitud del histórico para productos que tienen muy pocos registros históricos. Asimismo, compara este método con modelos de series temporales clásicos como el de la media móvil o el alisado exponencial y confirma su mayor eficacia frente a estos.

4.2.2 Modelos causales

La previsión mediante series temporales tiene su principal limitación en que, al trabajar únicamente con la variable tiempo, hay variaciones que no puede ajustar a ningún patrón y que, por tanto, son variaciones inexplicadas. Por su parte, los **modelos causales tratan de explicar ese comportamiento de la demanda** que los anteriores métodos no podían **explicar a través de variables que aporten información sobre la causa que provoca un determinado comportamiento**. Estos últimos han proliferado enormemente en los últimos años gracias al desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación que permiten el almacenamiento y el tratamiento de grandes cantidades de datos en reducidos tiempos de computación (Poler, 2015/16; Kolassa, 2016). Los métodos causales de previsión de la demanda poseen un enorme potencial y son susceptibles de ser ampliamente estudiados. Por tanto, el presente estudio se centrará en desarrollar métodos de previsión mediante el uso de modelos causales. Se desarrolla una breve revisión bibliográfica sobre estos modelos en el siguiente apartado.

4.2.3 Ajustes de expertos

La previsión de la demanda a través de los principales modelos de previsión no siempre ofrece los mejores resultados. En ocasiones, **algunos factores externos o internos que pueden ser bien conocidos y previstos, no son tenidos en cuenta por los modelos de previsión**. En este caso, se debe revisar esa previsión y una de las mejores formas de hacerlo es mediante los **reajustes que realiza gente experimentada** en el sector considerado sobre las previsiones iniciales que aportan los modelos matemáticos. Algunos estudios, como el de Fildes *et al.*, (2009) que los ajustes de expertos mejoran significativamente las previsiones mediante la comparación de una serie de empresas que utilizaban este planteamiento.

En lo que respecta a avances en este tema, se puede destacar el de Sepúlveda-Rojas *et al.* (2007) que propone un método en el que se aúnen los métodos matemáticos de previsión con los ajustes realizados por una serie de expertos de manera colaborativa, incluso, corrigiendo y adaptando los distintos ajustes de cada colaborador mediante lógica difusa. El mismo estudio estima que en el 20% de las ocasiones, ningún método de previsión tradicional que pueda escogerse daría resultados aceptables y se hace necesario el ajuste posterior por opiniones de personas experimentadas que conozcan los impactos del entorno en la previsión que ofrecen los modelos. No olvidemos que, en definitiva, el conocimiento humano sobre la situación actual y las perspectivas en un futuro cercano es una información que los modelos difícilmente pueden manejar.

4.3 Situación actual de los modelos de previsión causales

Los modelos causales, como ya se ha introducido anteriormente, tratan de explicar las variaciones de la demanda que no son pronosticadas por ninguno de los patrones temporales existentes. Por tanto, se componen principalmente de la identificación y selección de factores por una parte y del modelo matemático causal propiamente dicho por la otra.

4.3.1 Factores causales

Uno de los principales componentes de los modelos de previsión causales es la **identificación de los factores causales** que explican el comportamiento de la demanda. Puede plantearse un ejemplo sencillo para entender a qué nos referimos con un factor causal. Imaginemos un restaurante cercano a un estadio de fútbol. Con toda seguridad, los días de partido, verá incrementada la clientela significativamente. En este caso, el factor causal que explica ese aumento de demanda es el propio hecho de existir un partido esos días concretos. A partir de este ejemplo puede parecer que la identificación de variables causales que afectan a la demanda sea relativamente fácil pero esto no es así. **Puede ocurrir que la relación de causa-efecto de un factor o hecho concreto con la variación de la demanda no sea directa** sino que la influencia de ese factor recaiga sobre otro hecho que sea el que realmente afecte de manera directa a la demanda. Siguiendo con el ejemplo anterior, imaginemos que otro día de partido el mismo restaurante no detecta ningún incremento en su número de clientes cuando históricamente todos los días de partido ha tenido el restaurante lleno. El dueño se pregunta por qué puede haber ocurrido y en ese momento recuerda que ese día no tuvo tiempo de repartir la propaganda que solía repartir durante los partidos. Como desenlace de este ejemplo, queda ilustrado que el hecho de existir un partido no era lo que afectaba directamente al aumento de clientela sino que el día de partido era el predecesor al hecho de repartir propaganda y era éste último el que hacía que se llenara el restaurante. Este concepto se evidencia en el estudio de Zhang *et al.* (2014).

Normalmente, la identificación de variables que afecten a la demanda suele hacerse mediante una **lluvia de ideas a partir de la experiencia para intentar tener en cuenta el máximo número de variables causales posibles** que se crea puedan afectar a la demanda. “Actualmente no existe un método acordado para realizar la “mejor” selección de variables representativas de cara a realizar previsiones” (Zhang *et al.*, (2014), por tanto, es conveniente tener en cuenta todas aquellos factores que se identifiquen y puedan influir en la demanda. Posteriormente, será necesario un proceso de selección para eliminar aquellas variables que no aporten información para ser utilizadas en el modelo de previsión causal. Existen otros interesantes estudios, como el de Hoyos y Poler (2013), que ofrecen una metodología para la suposición e identificación de variables causales ante la falta de información sobre esos factores causales que afectan a la demanda. En línea con este estudio, Shimizu *et al.*, (2009) proponen un método con una funcionalidad similar con el uso de otras técnicas.

Se muestran a continuación algunas de las **posibles clasificaciones de las variables causales**.

- **Factores internos y externos** de a la propia cadena de suministro (Ramanathan y Muyldermans, 2010; Arunraj y Ahrens, 2015). Los internos vienen condicionados por una acción de la propia empresa como puede ser una bajada de precios o una acción promocional, consensuada con proveedores, que pueda generar un incremento en la venta. Los externos son aquellos que traspasan las fronteras de la empresa tales como,

por ejemplo, días festivos que influyen la venta habitual de los días yuxtapuestos a estos o, también, inclemencias meteorológicas tales como olas de calor que, por ejemplo, generen incrementos en ventas de agua y otros líquidos.

- **Factores controlables e incontrolables.** Los controlables son aquellos que pueden conocerse a priori en un futuro. Por ejemplo, de una acción comercial de oferta o de los festivos venideros se conoce la información con la suficiente antelación como para anticiparse a esos eventos. Los factores incontrolables aquellos que no se pueden conocer, al menos, con certeza en el futuro. Por ejemplo, sería relativamente fácil predecir con bastante seguridad la temperatura o la lluvia que caerá durante los próximos días pero es muy difícil conocer este hecho dentro de un mes. Otro ejemplo de factor incontrolable suelen ser movimientos inesperados de la competencia que afecten negativamente al comportamiento normal del consumidor de cara a nuestra cadena y se ve atraído por la competencia.

Merece la pena resaltar en este punto que no hay que confundir que un factor interno siempre sea un hecho controlable. De hecho, no es así. Por ejemplo, existen acciones promocionales para liquidar últimas unidades a mitad de precio que las tiendas pueden realizar en productos que están a punto de llegar a su fecha de consumo preferente sin previo aviso y sin ningún criterio estandarizado. Este factor, sin duda, afecta notablemente a la demanda de estas referencias pero es imposible determinarlo o estimarlo en un futuro, ni tan siquiera, cercano.

- **Factores según su tipología.** Las variables pueden clasificarse por familias o tipos según la similitud de las propias variables. Por ejemplo, Ramanathan y Muyldermans (2011) proponen un modelo conceptual en el que agrupan los factores causales que afectan a la demanda en cuatro grandes bloques: factores promocionales (tipo de promoción, cantidad promocionada, duración de la promoción, descuento en el precio), preferencias del consumidor (lineal del producto, novedades o productos arraigados), días especiales (festividades u otros periodos vacacionales) y factores estacionales (temperatura y semana del año). En línea con este autor, la identificación de variables de este TFM (que se realizará con posterioridad en el capítulo 5) se basará en la clasificación en eventos de calendario (generales y festividades) y eventos promocionales.

4.3.1.1 Importancia de las promociones

En términos de cualquier mercado, es ampliamente reconocido que las promociones aumentan las ventas de productos (Ramanathan y Muyldermans, 2011). El mismo estudio sostiene que las **promociones pueden distorsionar fuertemente el perfil 'normal' de demanda**. Las condiciones promocionales constituyen, por tanto, un importante conjunto de factores causales. Además, en el ámbito de las tiendas de comestibles, la conjunción entre promociones y cortos ciclos de vida útil de los productos hacen que la previsión de la demanda sea difícil, requiriendo modelos más complejos (Gür *et al.*, 2009).

Aplicado al sector de la alimentación y, en concreto, al de productos perecederos, el estudio de Donselaar *et al.*, (2016) llegaba, entre otras conclusiones, a mostrar que el impacto de los descuentos temporales en productos perecederos necesita de futuras líneas de investigación puesto que se ha probado en una cadena holandesa con más de 100 tiendas cómo la media de ventas en postres puede

incrementarse hasta 14 veces durante las promociones. Asimismo, destaca que este hecho parece tener relación con el efecto sustitutivo (los consumidores dejan de comprar productos similares para llevarse los que están en oferta).

4.3.1.2 Métodos de selección de variables causales

Los modelos de previsión causal suelen tener dos objetivos que pueden entrar en conflicto entre sí: **minimizar el error del modelo y minimizar el número de variables seleccionadas** (Doganis *et al.*, 2006). La selección de variables de entre todas las identificadas constituye un paso necesario en la previsión causal para alcanzar esos objetivos.

Los algoritmos de selección de variables más comunes son el **SRA** (*Stepwise Regression Analysis*), **PCA** (*Principle Component Analysis*), **DT** (*Decisión Tree*), aunque estos sólo son capaces de determinar correlaciones o asociaciones de las diferentes variables causales mientras que el **CFS** (*Causal Factor Selection*) es capaz de revelar las influencias causales directas y seleccionar así las variables más representativas para obtener una mejor gestión del stock (Zhang *et al.*, 2014). Como aportación extra para problemas con una gran cantidad de factores y un elevado número de artículos a calcular, Ma (2016) probó cómo métodos como el PCA son ineficientes computacionalmente y propuso una metodología, llamada “LASSO Granger causality test” que aplicó para la selección de los factores promocionales más representativos.

Asimismo, con el desarrollo en materia informática y el aumento de la capacidad computacional, están surgiendo diferentes métodos que se basan en la inteligencia artificial como el que propone Doganis *et al.* (2006) para la previsión de ventas de productos perecederos.

Aunque la metodología de selección propuesta por Taylor (2008) no sea para variables causales sino para seleccionar entre diferentes métodos de previsión, podría exportarse esta idea a la selección de variables. Taylor propone, como ya lo haría en su trabajo anterior, citado anteriormente, dar más peso al histórico más reciente y menos peso al histórico más lejano.

Finalmente, en lo que respecta a una metodología de selección genérica que, al igual que la comentada anteriormente, no se utiliza para la selección de variables causales sino que se utiliza para seleccionar los parámetros de los distintos modelos de previsión, se trata de la propuesta por Poler *et al.* (2009). Consiste, **en lugar de utilizar el error de ajuste del modelo, hacer uso del error de acierto** de los periodos recientes para calcular los parámetros del modelo. Esta idea podría aplicarse para realizar el proceso de selección de variables. De hecho, es el planteamiento que se adopta en el proceso de selección propuesto en este TFM.

4.3.2 Aportaciones recientes sobre Modelos causales

Una reciente aportación de Hoyos y Poler (2013) propone una metodología basada en un **modelo matemático causal que será la base de este TFM**. Se trata de un modelo de programación lineal (MPL) que puede adaptarse, con las modificaciones oportunas, a cualquier tipo de problema de previsión de la demanda solamente con el uso de variables causales. Sin embargo, esta metodología difiere de lo que se propone en el presente estudio puesto que busca la estimación de esas variables causales mediante distintos métodos ante la falta de información de esos factores, tal y como ya se ha comentado en el anterior apartado.

Una reciente investigación de Donselaar *et al.*, (2016) que incluye, en los modelos de previsión que proponen, factores causales referentes a las promociones de productos perecederos, llegan a la importante conclusión de que, para una mejora en la calidad de la previsión se deben distinguir entre categorías rutinarias y no rutinarias. Así pues, en categorías rutinarias se puede obtener buenos resultados aplicando modelos basados en regresión mientras que en categorías de producto con un comportamiento no rutinario se mejora la regresión si se agrupan productos de otras categorías que sí lo son. Además, propone un modelo de previsión causal en el que incluye, entre otros parámetros, variables promocionales (porcentaje de descuento, anuncios, folletos, portada, navidad, verano...) y lo aplica a diferentes categorías de productos como postres, bebidas, charcutería envasada y ensaladas, probando la eficacia de su metodología.

La aportación de Huang *et al.* (2014) incluye una metodología similar a lo que se pretende en este TFM basada en dos etapas: en la primera, se identifican las variables explicativas más relevantes, aplicando métodos de selección de variables. En la segunda etapa, proponen un modelo causal de manera genérica para después aplicarlo a una cadena de tiendas de alimentación del Reino Unido. Destacan que sus objetivos son reducir la falta de servicio a los clientes así como controlar el nivel de stock de seguridad. Caba destacar que este ha sido de los pocos estudios encontrados que aplican una metodología similar a la que se propone en el presente estudio en el mismo campo.

Otro estudio que merece ser mencionado es el de Beutel y Minner (2012) quienes realzan la importancia de integrar los métodos de previsión causal con la gestión del inventario. Una perspectiva afín es la que se propone en este TFM tal y como se ha comentado en el capítulo anterior. Asimismo, los citados autores utilizan, entre otros, modelos basados en programación lineal con objetivos enfocados a la correcta planificación del nivel de stock de seguridad.

5 PROPUESTA DEL MODELO DE PREVISIÓN CAUSAL

5.1 Introducción

Teniendo en cuenta todo lo comentado en los capítulos anteriores, se define de manera genérica en este capítulo la propuesta metodológica llevada a cabo para conseguir el objetivo perseguido de mejorar las previsiones en la empresa objeto de estudio. Para ello, se define como núcleo central del nuevo proceso de previsión un **modelo de programación lineal continua (PLC) basado en eventos explicativos o causales cuyo objetivo consiste en la minimización del error de ajuste**. En líneas generales, este método permite el cálculo de previsiones como resultado de la resolución óptima del modelo de programación lineal.

Cabe destacar que, aunque este modelo de PLC es el pilar sobre el que se sustenta el método de previsión propuesto, ha sido necesario **diseñar algunas BBDD adhoc para el almacenamiento de la información de entrada y salida al modelo así como programar diferentes rutinas con objeto de implementar algunos procesos iterativos y de cálculo necesarios para la obtención de la previsión final**.

La aplicación de una metodología basada en un modelo causal para llevar a cabo la previsión en el sector de distribución de alimentos es una propuesta novedosa ya que solo puede encontrarse alguna referencia similar en la bibliografía de manera esporádica. De ahí que el presente TFM constituya una importante contribución a la previsión de la demanda en este sector. Por supuesto, se trata de una propuesta pionera para la empresa objeto de estudio que, de ejecutarse, podría contribuir a obtener previsiones más precisas. Esto último repercutiría, sin duda, en una mejora de los resultados a nivel global para la empresa.

En siguientes apartados de este capítulo se describe, en primer lugar, la metodología de previsión propuesta con objeto de dar una visión global del procedimiento empleado. A continuación se presenta la propuesta metodológica empleada para la identificación de las variables causales y la selección de las que finalmente considerará el modelo. Posteriormente, se formula y detalla el modelo de PLC propuesta para, finalmente, realizar una serie de consideraciones finales al respecto.

5.2 Metodología para la previsión de la demanda basada en un modelo causal

En el **esquema de la Ilustración 5-1 puede observarse la metodología general empleada en este TFM para el cálculo de previsiones en base a un modelo causal**. Se han numerado las diferentes etapas más importantes del proceso para poder comentar los rasgos generales de cada una. Se desarrollan a continuación.

- 1. Introducir Datos necesarios para añadir al histórico los valores de las variables causales.** El usuario es el encargado de alimentar el proceso con los datos necesarios: serie histórica de cantidad vendida y valores que toman las variables causales en cada periodo temporal y para cada referencia tanto históricamente como en periodos futuros. Este proceso depende principalmente de las características de las variables causales que se van a tener en cuenta para el cálculo de previsiones. En la mayoría de las empresas, prácticamente todos estos datos están disponibles en sus BBDD internas y, por tanto, puede convertirse en un proceso automático que no dependa del usuario. Para el caso que nos

conciene en este proyecto, dado que es un prototipo, aunque la mayor parte de los datos se pueden extraer del seno de la empresa, se ha realizado la extracción de los mismos de manera manual y, por tanto, también hay que alimentar nuestro proceso de cálculo de previsiones de manera manual. Se puede encontrar más información sobre este proceso en el caso concreto al que ha sido aplicado en el capítulo 6.

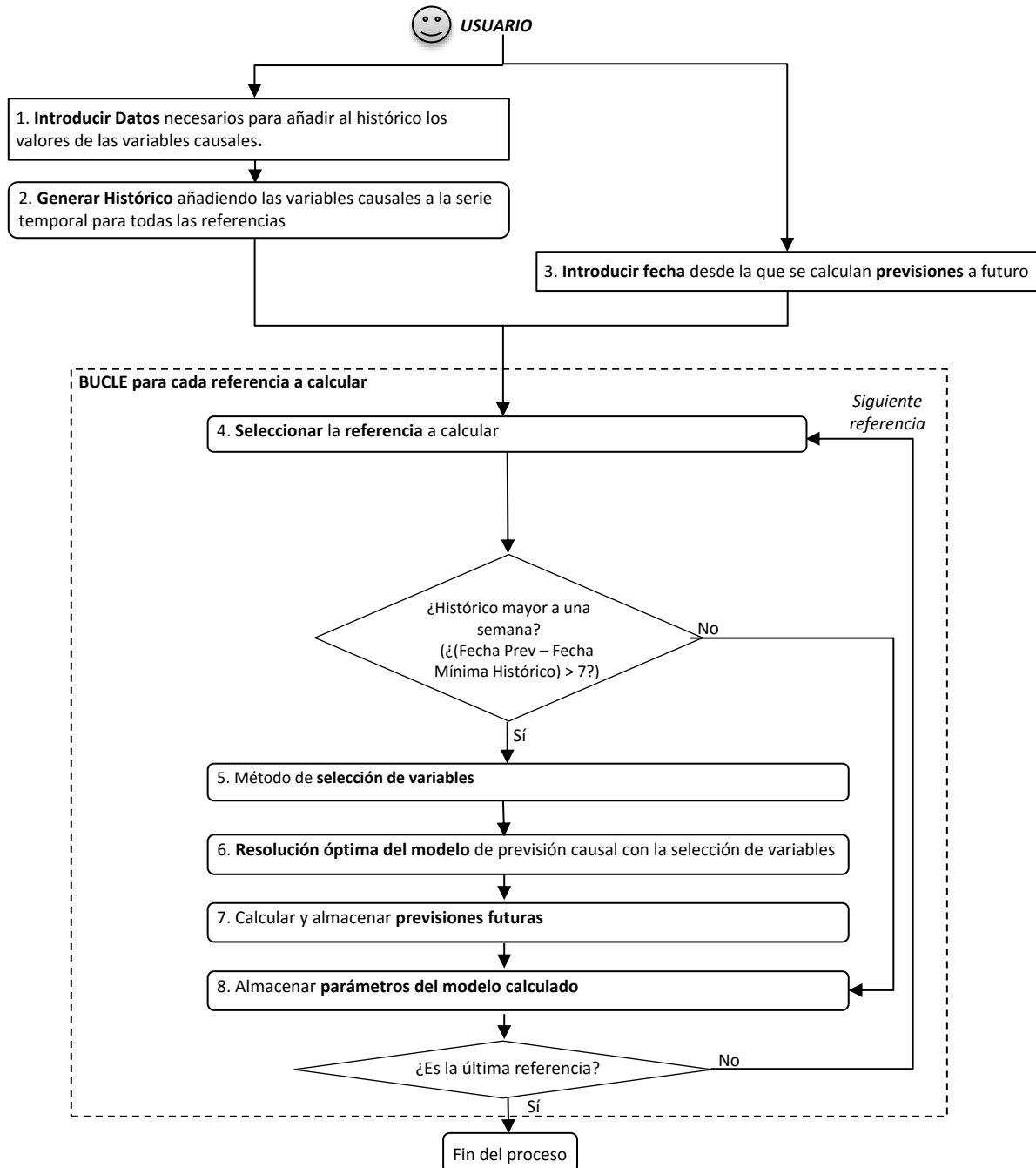


Ilustración 5-1: Esquema general de la metodología propuesta para la previsión de la demanda basada en un modelo causal.

2. **Generar Histórico añadiendo las variables causales a la serie temporal para todas las referencias.** Una vez el usuario ha introducido todos los datos necesarios en el paso anterior,

se deben combinar todos esos datos para generar la serie histórica de cada referencia en la que, además de la cantidad vendida para cada periodo y cada referencia, se disponga en cada registro de los datos de las variables causales (valores que toman cada una de las variables causales para cada periodo y cada referencia). Para realizar este segundo paso, en el presente TFM se ha programado una rutina automática.

- 3. Introducir fecha desde la que se calculan previsiones a futuro.** Siguiendo con la argumentación anterior, el usuario elige la fecha a partir de la cual desea que se calculen previsiones. Esto se hace así en esta herramienta es útil poder controlar desde cuándo se quieren calcular previsiones para así poder obtener resultados de acierto. Obviamente, las previsiones son necesarias a partir de la fecha actual que será a su vez la fecha hasta la que se disponga de información histórica. Sin embargo, se considera interesante calcular previsiones desde algún punto intermedio del histórico y comparar con lo que sucedió realmente para así poder valorar el funcionamiento de la herramienta mediante el error de acierto.

BUCLE para cada referencia a calcular. El proceso de cálculo, como era de esperar, se realiza para cada una de las referencias individualmente. Cuando el número de referencias es elevado, como ocurre en casos reales, es aconsejable automatizar el proceso. Así pues, se realiza un bucle que propone un proceso iterativo (bucle) que, empezando por el primer artículo, va de uno en uno recorriendo todos los artículos para los que se desea obtener las previsiones. El proceso iterativo finalizará una vez se hayan calculado las previsiones de todos los artículos seleccionados. Por tanto, el criterio de parada del bucle consistirá en llegar a recorrer todas las referencias.

- 4. Seleccionar la siguiente referencia a calcular.** En la primera iteración del bucle, se toma la primera referencia que se encuentre disponible en el histórico. Este valor se actualiza en cada paso del bucle para seleccionar la siguiente referencia hasta pasar por todas ellas.
- 5. Método de selección de variables.** No siempre se obtienen los mejores resultados con el mayor número de variables causales posibles. De hecho, a veces se obtienen previsiones con un mayor nivel de acierto si se eliminan del modelo algunas variables causales que empeoran la calidad de las previsiones. Por tanto, en este paso se debe decidir acerca de las variables causales que se introducirán como input al modelo de PLC siguiente. Se proponen tres métodos de selección que merecen una mención especial y es por ello que se desarrollan en el apartado 5.3.
- 6. Resolución óptima del modelo de previsión causal con la selección de variables.** Una vez seleccionadas las variables con las que se quiere realizar la previsión, se está en disposición de resolver óptimamente el modelo de previsión causal. Dicha resolución óptima del modelo de previsión causal consiste en minimizar el error de ajuste y, por consiguiente, el modelo trabaja solamente con datos históricos que son, por tanto, anteriores a la fecha desde la que se desean obtener previsiones futuras. Aunque internamente, el modelo calcule la previsión final para cada periodo como suma de las previsiones asociadas a cada variable causal, esto solo lo hace, como se ha comentado, para previsiones de ajuste. Será necesario un paso posterior para obtener previsiones a futuro que, justamente, es el punto siguiente. Asimismo, los datos necesarios de salida que proporciona el modelo para hacer posible ese ese paso posterior son los valores de previsión asociados a cada variable causal.

El modelo de previsión causal empleado es necesario explicarlo con más detalle y es por ello que se le dedica íntegramente el apartado 5.4.

7. **Calcular y almacenar previsiones futuras.** A partir de la optimización del modelo se obtienen los valores de previsión asociados a cada variable causal, tal y como se ha comentado anteriormente. A partir de estos valores, se puede calcular previsión final para cada periodo que será la suma de los valores de previsión asociados a cada variable. Dependerán, por tanto, de los valores que tomen los índices de las variables causales para cada periodo futuro. Por supuesto, esas variables se deben conocer previamente a futuro para que este proceso sea posible. Los valores de previsión calculados se almacenan en la serie temporal que contendrá, además de los registros históricos, los registros futuros preparados con los índices de cada variable causal para hacer posible el proceso de cálculo y almacenamiento de esos valores de previsión.

Para ampliar este concepto, véase la restricción referente al cálculo de la previsión final en el apartado 5.4.

8. **Almacenar parámetros del modelo calculado.** Además de guardar los valores de previsión final, también es necesario almacenar los parámetros de cálculo del modelo con los que ha llegado hasta esa previsión. Para cada referencia se almacenan, entre otros, el tiempo de cálculo empleado, la selección final de variables con la que se ha realizado el cálculo o el número de iteraciones empleadas hasta llegar a esa selección final de variables.

Esta información permitirá, posteriormente, realizar un análisis global del comportamiento del procedimiento empleado en términos de tiempo de computación e identificación de las variables causales que mejores resultados de acierto aportan al cálculo de previsiones.

5.3 Propuesta metodológica para la identificación y selección de variables causales

Como se ha comentado anteriormente, una de las etapas clave para obtener una previsión de calidad es identificar las variables causales que mejor explican el comportamiento de la demanda. En este apartado se describe en detalle estas cuestiones y para ello se ha dividido en dos grandes bloques. El primero de ellos tratará la **identificación de variables**, esto es, el proceso seguido para escoger y definir el conjunto total de variables causales que se han utilizado en el modelo. En segundo lugar, se expone de manera detallada los distintos procesos que se proponen para la **selección de variables que permitirá la obtención de previsiones de mayor calidad**.

Cabe destacar que, aunque la metodología que se está tratando de manera conceptual a lo largo de este capítulo es aplicable a cualquier problema de previsión similar, en el caso que nos concierne ha sido necesario introducir las variables causales concretas con las que se ha trabajado debido a que el proceso de selección de variables se realiza a partir de las características de las mismas. Aun así, los razonamientos empleados en el método experto de selección así como el método heurístico son perfectamente extrapolables a cualquier tipo de problema.

5.3.1 Identificación de variables

La identificación y definición de las variables de las que se compondrá el modelo juega un papel fundamental en la obtención de previsiones de calidad. Las variables causales se pueden definir como aquellos factores que explican las distintas variaciones que experimenta un patrón histórico de la

demanda. En otras palabras, dentro de un modelo causal, las variables causales son las que responden a las preguntas: ¿por qué la demanda no sigue fielmente patrones temporales? ¿Qué otras variables, además del tiempo, ayudarían a explicar el comportamiento de la demanda? ¿De qué manera influyen en la demanda cada una de estas variables?

El paso previo a la identificación de variables es la **definición de la serie temporal y las características del histórico** con el que se desea trabajar. La serie temporal histórica que se pretende explicar a través de factores causales puede presentar diferentes niveles de agregación con respecto al tiempo (periodos mensuales, semanales, diarios...), las referencias (demanda de una sola referencia o de una familia) o los clientes (demanda en un punto de venta concreto o una agregación de centros). Fundamentalmente, la utilización de uno u otro nivel de agregación reside en la necesidad que tenga la empresa para realizar previsiones y para qué las quiere utilizar (¿se necesita prever la demanda diaria o es suficiente con la semanal?; ¿es necesario conocer la demanda de cada tienda o es suficiente con pronosticar la demanda agregada de un conjunto de centros?). Por supuesto, dependerá también de la disponibilidad de los datos (en ocasiones es difícil almacenar datos históricos muy desagregados en el tiempo, por ejemplo, a nivel diario, y solo se disponen de datos semanales o mensuales). En lo que respecta a este proyecto, se trata de explicar la variación de la demanda de cada **producto individual** a nivel **diario**, para un **conjunto de tiendas** que se sirven desde una plataforma.

El **proceso de identificación de variables causales** puede realizarse de diferentes maneras. Si no se conocen los posibles factores que afectan a la demanda, podrían suponerse factores causales a través de los interesantes métodos matemáticos y estadísticos que proponen Hoyos y Poler (2013) en su estudio. Sin embargo, para trabajar con variables reales que puedan conocerse tanto a pasado como en un futuro cercano, el proceso que se ha seguido para identificar variables ha sido, de un lado, la **observación de comportamientos históricos de diferentes tipos de referencias** y, de otro, los **comentarios de los experimentados técnicos de aprovisionamiento que nos han aportado información acerca de las causas que podrían explicar las variaciones más importantes de la demanda**. Una conjunción entre toda esa información ha permitido decidir de entre la infinidad de posibles variables, las que principalmente pueden afectar a la demanda.

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta para la identificación de **variables causales** para los pronósticos de demanda futura es, sin lugar a dudas, la capacidad o **facilidad** para ser **estimadas tanto a pasado como a futuro** en el horizonte de previsión considerado. Es decir, se necesita saber para cada referencia y cada registro temporal los valores que toma cada variable. Por ejemplo, resulta sencillo conocer qué día de la semana (de lunes a domingo) corresponde a cualquier fecha en el pasado. Se puede consultar en cualquier calendario o, incluso, se puede calcular con cualquier herramienta de cálculo que trabaje con fechas. Sería sencillo también obtener una relación histórica de días festivos, tanto locales como nacionales y sería posible tener esta información también a futuro. En cambio, como ejemplo de variables que no puedan ser determinadas a pasado, a futuro o ambos se tienen, normalmente, variables externas o incontrolables, como por ejemplo, las bajadas de precio de la competencia que pueden ser relativamente fáciles de conocer a pasado pero son imposibles de predecir a futuro.

Entre las clasificaciones posibles de variables causales a las que se ha hecho referencia (externas o internas, controlables o incontrolables y por tipología) en el apartado 4.3.1, se ha optado por dividir

las variables en grupos y subgrupos según su tipología. En concreto se han considerado **21 variables** en las siguientes categorías:

- **Eventos de calendario (12 variables)**
 - **Calendario general (5 variables):** características generales del calendario gregoriano, comúnmente usado en la mayor parte del mundo.
 - **Festividades (7 variables):** factores que vienen originados por fechas excepcionales del calendario ya sea por festivos nacionales o locales y por irregularidades que afectan a los días cercanos a ellas.
- **Eventos de oferta (9 variables):** agrupa aquellos factores que tienen lugar a partir de acciones de oferta por parte de la empresa.

Se resumen y definen las variables finalmente seleccionadas y definidas bajo el criterio del propio autor bajo el proceso mencionado anteriormente en la Tabla 5-1. Se explican los criterios específicos que se han tenido en cuenta a la hora de definir las variables de cada categoría a continuación.

Respecto a las **variables de calendario generales**, se puede decir que son las que hacen las veces de simular una repetición periódica de la demanda a lo largo del tiempo. Pongamos como ejemplo la variable referente al día de la semana, "DiaSem". Si esta variable se usara sola, sería capaz de ajustar la previsión de cada día de la semana (lunes, martes...) a partir de los valores históricos para cada día de la semana. Así pues, si el histórico fuera de tan sólo de una semana, la previsión que haría para la próxima semana sería idéntica a la de la semana anterior. Si el histórico fuera mayor a una semana, la previsión sería un ajuste a través de la optimización del error absoluto del modelo para cada día de la semana.

En lo que se refiere a las **variables de festividades**, se encargan de explicar las variaciones que sufre la demanda durante los días festivos y sus días anteriores y posteriores así como periodos festivos que abarcan un periodo considerable tales como Fallas, Semana Santa y Navidad. Además, se han incluido la variable "DetalleDia" que se utiliza, por una parte, para eliminar los registros históricos próximos a cero debidos a valores de venta residuales que pueden deberse a ventas en algunas tiendas que no son significativas y, por otra parte, para poder explicar los días que tienen alguna peculiaridad fuera de lo normal como puede ser domingos abiertos por una cantidad de tiendas significativas, que las tiendas abran durante un día festivo o diferenciar los domingos que tienen previsto abrir las tiendas durante la época estival.

Finalmente, en cuanto a las **variables** relacionadas con la **oferta**, son todas ellas extraíbles y perfectamente integrables en el histórico a partir de un listado disponible en la empresa que contiene todos los datos que se extraen. En este caso, la variable principal que indica si el periodo está afectado por oferta o no es "Oferta_binario" que, como su nombre indica, es binaria. De igual manera, cuando "Oferta_binario" = 1, las variables "Tipo_Oferta", "Folleto", "Portada", "Destacado" también adquieren la condición de binarias. Además, las variables "DescuentoOfertaPrecio" y "DescuentoOfertaCheque" toman valores de categorización. Como denominador común, todas las variables citadas hasta ahora referentes a la oferta muestran características propias de la oferta y se mantienen constantes durante cada periodo concreto de oferta. Mientras tanto, las variables "InicioOferta" y "FinOferta" se utilizan para explicar el comportamiento diferencial durante los días que se prolonga la oferta. Así pues, se entiende que desde el inicio de la oferta, los primeros días se

Tabla 5-1: Variables utilizadas en el modelo, descripción y valores que toman.

		Nombre de Variable	Descripción y valores que toma
EVENTOS DE CALENDARIO	Calendario general	DiaSemana	Indica el día de la semana (lunes=1, martes=2,..., domingo=7).
		DiaMes	Indica el día del mes (del 1 al 31).
		MesAño	Indica el mes del año (enero=1, febrero=2,..., diciembre=12).
		SemanaAño	Indica la semana del año (calculada según la función "NUM.DE.SEMANA()") de Excel).
		Año	Indica el año natural (2013, 2014...).
	Festividades	FestivoBin	Toma el valor 1 si el día en concreto es festivo local o nacional.
		FestivoAnt	Toma el valor 1 el día anterior a un día festivo, el valor 2 cuando quedan 2 días para el festivo y el valor 3 cuando quedan 3 días.
		FestivoPost	Toma el valor 1 el día posterior a un día festivo, el valor 2 cuando han pasado 2 días desde un día festivo y el valor 3 cuando han pasado 3 días.
		SemanaSanta	Toma los valores del 1 al 21 durante las tres semanas afectadas por Semana Santa empezando el lunes correspondiente a la semana de Domingo de Ramos (p. ej., en 2016, toma el valor 1 el día 14/03/2016 porque el domingo 20/03/2016 es Domingo de Ramos.)
		Fallas	Toma los mismos valores que DiaMes solamente durante el mes de marzo que es el afectado por las Fallas.
		Navidad	Toma los valores del 1 al 32 desde el 15 de diciembre hasta el 15 de enero incluidos.
		DetalleDia	Toma los valores 0=Cerrado, 1=Abierto, 2=Festivo abierto, 3=Tiendas verano (abiertas los domingos), 4=Domingo abierto. Los registros con valor DetalleDia=0 (cerrado) no se tienen en cuenta.
	EVENTOS DE OFERTA	Oferta_binario	Toma el valor 1 cuando el registro se encuentra en una oferta (el resto de parámetros solo toman un valor distinto de cero cuando esta variable es igual a 1).
TipoOferta		Toma el valor 1 si es una oferta de precio y el valor 2 si la oferta es de cheque-descuento al final de mes.	
DescuentoOfertaPrecio		Si el TipoOferta=1, toma los valores: 1=Descuento menor al 5%, 2=Descuento entre el 5 y el 10%, 3=Descuento entre el 10 y el 15%, 4=Descuento entre el 15 y el 20%, 5=Descuento mayor al 20%.	
DescuentoOfertaCheque		Si el TipoOferta=2, toma los valores: 1=Descuento menor al 5%, 2=Descuento entre el 5 y el 10%, 3=Descuento entre el 10 y el 15%, 4=Descuento entre el 15 y el 20%, 5=Descuento mayor al 20%.	
InicioOferta		Toma el valor correspondiente a la diferencia de días entre la fecha del registro actual y la fecha de inicio de la oferta (solo durante la primera mitad de la oferta).	
FinOferta		Toma el valor correspondiente a la diferencia de días entre la fecha final de la oferta y la fecha del registro actual (solo durante la segunda mitad de la oferta).	
Folleto		Toma el valor 1 si el artículo sale en el folleto de la oferta.	
Portada		Toma el valor 1 si el artículo se encuentra en la portada del folleto de la oferta.	
Destacado		Toma el valor 1 si el artículo aparece como destacado dentro del folleto de la oferta.	

puede incrementar la venta o, incluso, los últimos días de la oferta podría decrementarse (podría ocurrir al contrario). Sea como fuere, para conseguir un parámetro común a ofertas con distinta duración, estos parámetros se definen como cuenta de días desde el inicio de la oferta hasta el ecuador (p. ej., si la oferta va del 1 al 30 de abril, del día 2 al día 15 el parámetro “InicioOferta” se irá incrementando de 1 a 14 y el parámetro “FinOferta” será 0 y, del día 16 al 29, el parámetro “FinOferta” se irá decrementando del 14 al 1 mientras el parámetro “InicioOferta” tendrá valor nulo).

Cabe destacar que no se han utilizado más variables, como las ya citadas anteriormente porque, aunque podrían ser fáciles de estimar o conocer con certeza a pasado y explicar (ajustar) muy bien el histórico, no servirían para realizar previsiones futuras ya que sería imposible su conocimiento a futuro (piénsese: condiciones meteorológicas, ofertas de liquidación en las últimas horas del día, lanzamientos u ofertas inesperadas de la competencia...). En nuestro caso, los eventos de calendario se pueden saber a pasado así como, con suficiente antelación, a futuro (para varios meses o incluso años vista). Por su parte, los eventos de oferta se conocen a pasado a través de un listado de ofertas que la empresa ya tiene disponible en sus sistemas y, a futuro, se consensuan aproximadamente un mes y medio antes del inicio de la oferta en concreto y se actualizan en el mismo listado.

5.3.2 Selección de variables causales

5.3.2.1 Objetivo perseguido con la selección de variables

Cabe destacar que, normalmente, la complejidad de un modelo de previsión no es directamente proporcional a la calidad de los resultados que se obtienen. A veces, un modelo más simple es capaz de obtener mejores previsiones. El **éxito o el fracaso de un modelo causal de previsión** tiene uno de sus pilares fundamentales en la **correcta identificación y definición de las variables causales**. Deben adaptarse al propósito final tanto en cantidad (que no haya un número de variables excesivas) como en calidad (que las variables elegidas sean capaces de explicar fielmente la variación de la demanda). Un modelo causal que tenga un elevado número de variables causales probablemente sea capaz de reducir el error de ajuste cometido en su optimización aunque no por ello se puede asegurar que realizaría mejores previsiones futuras (menor error de acierto). De hecho, Poler *et al.* (2009) afirman que puede ocurrir que un modelo complejo con muy buenos ajustes produzca errores de acierto mayores que un modelo más sencillo y con peor ajuste.

Además, el utilizar demasiadas variables tiene la desventaja computacional añadida que supone el tener que trabajar con más datos y, por tanto, ralentizar el proceso de cálculo. Normalmente, las empresas no sólo tienen que tomar decisiones acertadas sino también en el tiempo requerido, con lo que, ambos factores, calidad y eficiencia computacional, se vuelven críticos. Con el conjunto de variables que se han tenido en cuenta en este proyecto se cree que se consigue un compromiso entre sencillez del modelo y calidad de previsiones.

Pese a la afirmación anterior, cabe destacar que esos compromisos de calidad en las previsiones y eficiencia computacional no se alcanzan solamente con una buena identificación sino que cabe plantearse una serie de cuestiones que nos inducen a pensar que es necesario un proceso de selección, de entre todas las variables identificadas, para utilizarlas o sacarlas del modelo atendiendo a las características concretas de cada artículo y su histórico. Algunas de las preguntas que debemos de responder son: **¿Es correcto considerar todas y cada una de las variables identificadas para cualquier**

longitud del histórico? ¿Puede simplificarse el problema computacionalmente eliminando variables que no aporten información extra o que aporten información redundante al modelo?

Los objetivos que persigue la selección de variables no son más que las respuestas a esas cuestiones. En concreto, los principales problemas que se observan con la utilización de todas las variables se concentra, como era de esperar, para referencias con longitudes de histórico reducidas. Se ha detectado que, para referencias con **históricos demasiado cortos, el cálculo de previsiones a futuro ofrece en ocasiones aberraciones** que no tienen ningún sentido lógico en la práctica. Aunque se justificará la causa de este comportamiento con mayor detalle en los siguientes apartados, se adelanta que el motivo principal reside en que no todas las variables causales son susceptibles de ser usadas para todas las referencias. Dependiendo de las características del histórico de cada artículo será mejor utilizar unas variables u otras.

Por tanto, los **objetivos principales** que se pretenden alcanzar con la selección de variables son, primero, **evitar la perversión del cálculo a futuro de previsiones** cuando los históricos tienen unas características concretas (normalmente, históricos muy cortos) y, en segundo lugar, conseguir el **ahorro computacional** que supone trabajar con el menor número de variables posible siempre y cuando no empeore la calidad de las previsiones.

5.3.2.2 Métodos de selección empleados

Se describen tres métodos para la selección de variables aunque, verdaderamente, son dos los que proponen procedimientos para la selección de variables propiamente dicha: método experto y método heurístico. El primero de ellos describe simplemente el método seguido utilizando todas las variables. En realidad, el primero de ellos se trata de una selección inicial en base a características del histórico mientras que, el segundo, partiendo del primero, elimina las variables del modelo que previsiblemente empeoren el acierto del mismo. Se justifican, a continuación, los criterios tenidos en cuenta para ambos enfoques en sendos apartados.

5.3.2.2.1 Método sin eliminar ninguna variable

Aunque no constituye un método de selección de variables en sí mismo, la primera propuesta de selección consiste, valga la contrariedad de la expresión, en no realizar ninguna selección. Es decir, **utilizar todas las variables causales identificadas y disponibles en el modelo**. Tal y como se ha comentado, los malos resultados que se obtienen con esta hipótesis cuando el histórico es demasiado corto (varias semanas o meses), obligan a plantear la selección de variables como la mejor perspectiva para el cálculo de previsiones.

5.3.2.2.2 Método experto

Consiste en que el encargado de realizar las previsiones, en este caso el autor del presente TFM, siguiendo las consideraciones arriba expuestas y bajo un criterio racional, decida eliminar del cálculo una serie de variables según los casos que se puedan presentar. Los **criterios de selección de variables** se basan, por un lado, en las **características del histórico y**, por otro, en la relación entre **las propias variables causales** con el histórico de cada referencia. El proceso de selección experta ha consistido en un pequeño proceso iterativo previo a la construcción final de los criterios. Así, en primer lugar, se han realizado una serie de hipótesis iniciales racionales a partir de las características del histórico y, en

segundo lugar, se han contrastado que esas hipótesis consiguen mejorar las previsiones de cada caso particular. Finalmente, se definen una serie de criterios que se muestran resumidamente en la Ilustración 5-2 y se justifican a continuación.

MÉTODO EXPERTO DE SELECCIÓN DE VARIABLES

➤ **Crear combinación de variables bajo los siguientes criterios:**

Según longitud del histórico...

- Caso 1: "Histórico superior a 365 días" → No se elimina ninguna variable
- Caso 2: "Histórico inferior a un año" → Se eliminan "MesAno", "SemanaAno" y "Ano"
- Caso 3: "Histórico inferior a 31 días" → Solo se utilizan "DiaSemana", "FestivoBin", "FestivoAnt", "FestivoPost", "DetalleDia"

Según ofertas...

- Si "Nº ofertas históricas" = 0 → No se utiliza ninguna variable de oferta.
- En Casos 1 y 2: Si "Nº ofertas históricas" = 1 → Solo se utilizan "Oferta_binario", "InicioOferta" y "FinalOferta"
- En Caso 3: Indep. del "Nº ofertas históricas" → Solo se utiliza "Oferta_binario"

Ilustración 5-2: Resumen del método experto de selección de variables.

Se eliminan del cálculo las variables que no pueden ofrecer información futura de previsiones.

Tal y como se define el modelo matemático, la optimización que tiene lugar se basa en el ajuste del modelo a los datos históricos. Esto es, el modelo genérico en sí mismo no tiene la capacidad de dar más peso a las variables que mejor explicarán la demanda futura o de eliminar del modelo a las variables que no aporten información futura extra. Esto es así debido a que el modelo se limita solamente a la optimización del ajuste de previsiones (a pasado) y no del acierto (a futuro). Imaginemos, como ejemplo, que una referencia se empieza a trabajar desde enero de 2016 y se tiene su histórico hasta la fecha actual, agosto de 2016. Se quiere hacer previsión a partir de septiembre. En este caso, la variable "MesAno" (recordemos, toma el valor 1 para enero, 2 para febrero...) no aportaría ningún valor de previsión para el mes de septiembre puesto que no ha tenido datos históricos que se puedan asociar al valor 9 de la variable "MesAno". Sin embargo, los meses de enero a agosto tendrán un cierto valor asociado de previsión que pueden ayudar al mejor ajuste del modelo (a pasado) pero que no tendrá ninguna influencia en la previsión del mes de septiembre. Al contrario, podría tener una influencia negativa. Con esta perspectiva se entiende que, **a mayor número de variables, el modelo podría tener un mejor ajuste al histórico pero no por ello conllevaría a predecir con mayor certeza el comportamiento futuro.**

Otra conclusión que se puede extraer del razonamiento anterior es que, para **variables causales temporales**, el correcto aporte a la previsión de cada variable comienza cuando el histórico posee datos para **más de un ciclo completo** (más de una semana para la variable "DiaSem", más de un mes para la variable "DiaMes" o más de un año para las variables "SemanaAno" y "MesAno").

Siguiendo con este razonamiento realizado para las variables de tipo temporal, se justifica de la misma manera la **selección de variables de tipo oferta**. En este caso, se considera que para **históricos demasiado cortos** (menores a un mes), independientemente del número de ofertas que haya podido tener la referencia, **sólo se considerará la variable "Oferta_binaria"** que se asociará con el posible incremento de venta durante la oferta. Así pues, sería indeseable la utilización de las variables "InicioOferta" y "FinOferta" que adquieren entre las dos un valor diferente para cada día en la que la referencia se encuentre de oferta ya que, si la referencia tuviera, por ejemplo, solamente 2 semanas

de histórico y se encuentra durante esas 2 semanas en oferta, estas dos variables serían capaces de ajustar perfectamente todos y cada uno de los 14 valores históricos diarios. Sin embargo, no proporcionarían previsión futura. Esto mismo puede ocurrir para históricos cortos con variables como “DiaMes” que podrían ajustar perfectamente el modelo al histórico pero no ofrecerían previsión futura ya que no se han repetido históricamente como se ha comentado anteriormente.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se explica a continuación más detalladamente la selección final que se propone en este, resumida en la Ilustración 5-2 y que también se utiliza, posteriormente, en el procedimiento expuesto en la Ilustración 5-3 para el siguiente método de selección de variables, el método heurístico.

- **No se calcularán previsiones si la diferencia entre la fecha de previsiones introducida y la fecha mínima del histórico es inferior a 7 días.** Las únicas variables que podrían proporcionar un valor de previsión base serían, por ejemplo, la variable “Ano”, “MesAno” o, incluso, la variable “DetalleDia”. Sin embargo, ya se ha comprobado, por un lado, que la carencia que sufren las variables temporales se debe a que no proporcionan ningún valor cuando el histórico no recoge el periodo sobre el que se quieren calcular previsiones. Si coincide que el único histórico disponible es del año 2015 y se quieren calcular previsiones desde el 1 de enero de 2016 únicamente con la variable “Ano”, ésta proporcionará un valor de previsión nulo ya que la optimización no asociará ningún valor de previsión al valor del año 2016.

En cambio, tal y como se define la variable “DetalleDia”, podría proporcionar un valor de previsión base para los días habituales en los que esa variable toma el valor 1 (abierto) si el modelo se calculara solamente con esta variable.

Finalmente, se decide que el cálculo de previsiones no se realiza si el tamaño del histórico es inferior a 7 días, además de por las razones que se han comentado, porque, en la práctica, las previsiones se calcularían semanalmente y, en ese caso, la variable “DiaSem” sería capaz de copiar la cantidad vendida de la semana anterior para realizar con ella la previsión de esta semana. En el caso de referencias con tan pocos datos históricos, si no se realizan otros métodos para asignarle históricos de referencias espejo, esa previsión se da por buena por parte del técnico de aprovisionamiento.

- **HIPÓTESIS DE CALENDARIO** (Criterios principales)
Se calculan previsiones teniendo en cuenta que las variables causales de tipo calendario que no pueden ofrecer información futura, salen del modelo. Se tienen en cuenta las siguientes hipótesis, denominadas en este texto como “casos”:
 - **Caso 1: Histórico superior a 365 días.** Se **utilizan todas las variables**. Se entiende que un histórico de más de un año es suficiente maduro como para utilizar todas las variables que se han definido.
 - **Caso 2: Histórico inferior a un año.** Se utilizan **todas las variables excepto MesAno, Ano, SemanaAno**. Esas variables son las que empeorarían el acierto de previsiones por no ofrecer información futura. El caso de la variable “Ano” se descarta para evitar esa posible influencia si el histórico está repartido entre dos años naturales. Se podría utilizar si el histórico se encontrara íntegramente en el mismo año y, en ese caso, proporcionaría un valor base de previsión. No se ha

querido hacer el código más complejo y de ahí su no utilización bajo esta hipótesis.

- **Caso 3: Histórico inferior a 31 días.** Se **utilizan** solamente las variables: **DiaSemana, FestivoBin, FestivoAnt, FestivoPost, DetalleDia**. Se consideran que, tanto las variables que ya se eliminaban en el caso anterior – MesAno, Ano, SemanaAno – como la variable DiaMes, no aportan beneficios en el acierto de previsiones. Además, por el mismo motivo de lo ya comentado, las variables referentes a periodos festivos largos que ocupan alrededor de un mes – SemanSanta, Fallas y Navidad – también se eliminan del modelo.
- **HIPÓTESIS DE OFERTA** (Criterios subordinados)
 - **Para los Casos 1, 2 y 3: Si el artículo no ha tenido ofertas históricamente, no se considerará ninguna variable referente a las ofertas.** Es lógico ya que no aportará información adicional y supondrá un ahorro computacional tanto en la optimización del modelo como en el ahorro de número de pasos iterativos en la selección de variables.
 - **Para los Casos 1 y 2:** Si el artículo ha tenido **una sola oferta** históricamente, se considerarán las variables de oferta: **Oferta_binario, InicioOferta, FinalOferta** (el resto de variables de oferta no aportarían información extra puesto que, como ya se ha comentado anteriormente, tienen un valor constante durante el mismo periodo de oferta y aportarían idéntica información que Oferta_binario. Esta selección, por supuesto, también supone un importante ahorro computacional.
 - **Para el Caso 3:** Si el artículo ha tenido alguna oferta históricamente, solamente se considerará la variable **Oferta_binario**. Para históricos inferiores a un mes, se considera que una variable de oferta es suficiente según lo arriba argumentado.

5.3.2.2.3 Método heurístico

Existen numerosos métodos racionales de selección de variables causales para el cálculo de previsiones. Algunos de ellos ya se han citado en el capítulo 4. Lejos de intentar conseguir el mejor método, se propone un sencillo procedimiento heurístico que, por definición, tiene como objetivo aunar el compromiso entre coste computacional y la calidad de las soluciones que se alcanzan.

Se muestra esquemáticamente en la Ilustración 5-3 y se explica en detalle seguidamente.

Se parte de la idea de otros estudios que han llegado a la conclusión de que se pueden obtener **mejores resultados de previsión** si los parámetros del método de previsión se definen **minimizando errores de acierto** en lugar de errores de ajuste (Poler *et al.*, 2009). Así pues, a partir de la fecha de previsiones indicada por el usuario (en última instancia será la fecha actual para el cálculo futuro de previsiones), se simula que no se conoce una parte reciente del histórico y se lanza la optimización del modelo causal bajo las hipótesis ya selañadas en el punto anterior. Posteriormente se calculan previsiones futuras y se valora el error de acierto cometido en ese periodo reciente del histórico (una o dos semanas según histórico) para cada combinación de variables. Para discernir entre la mejor combinación de variables para las que se lanza la optimización del modelo en cada paso, se calcula la suma del valor absoluto de error de previsión de acierto y se escoge la combinación de variables que

ofrece el menor valor de este parámetro. Los **periodos para este cálculo de error de acierto** de previsiones simuladas se basan en los siguientes criterios.

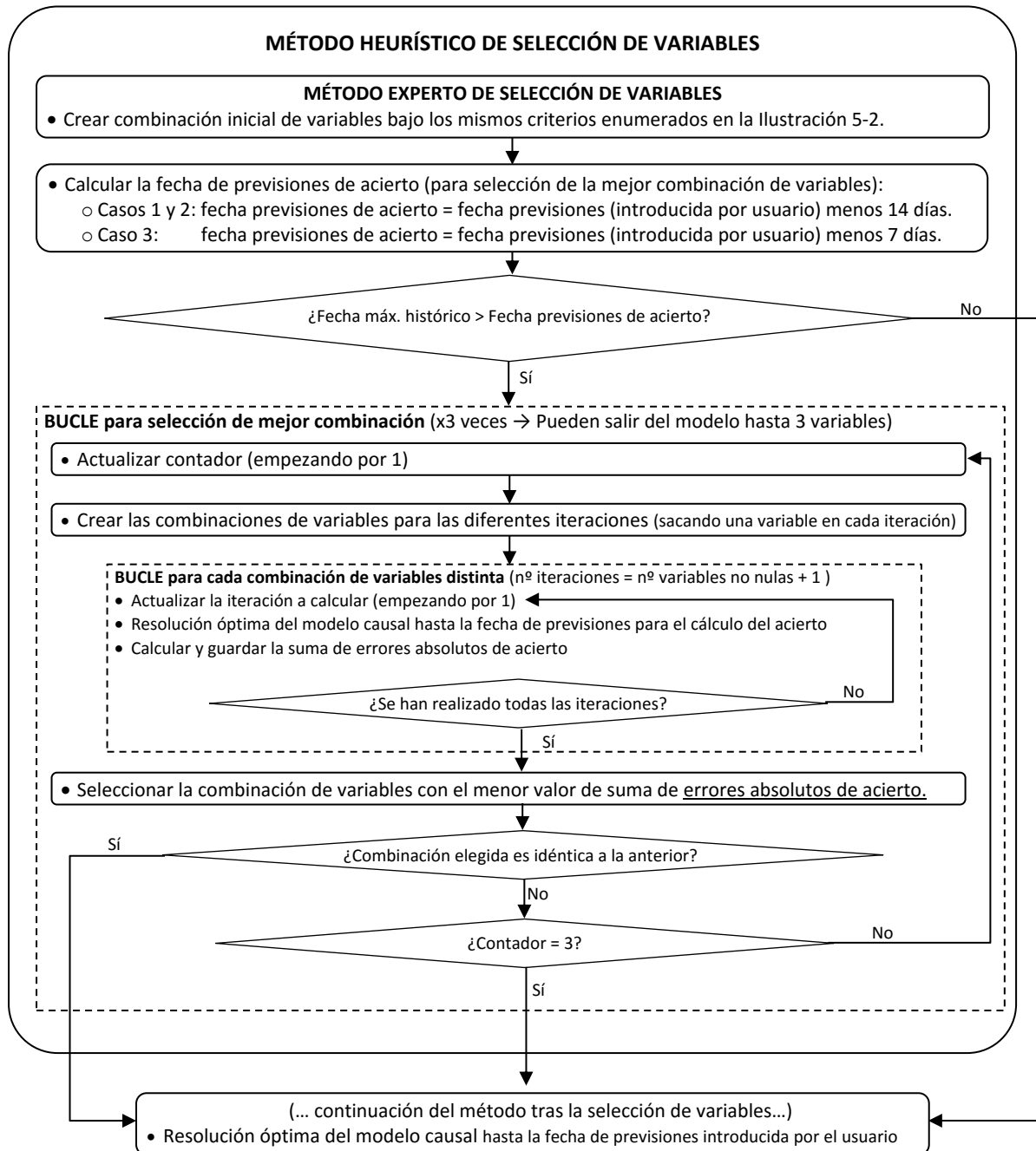


Ilustración 5-3: Esquema del método heurístico de selección de variables causales.

- Si el **histórico es inferior a un mes, se utilizan los 7 últimos días**. Para históricos tan cortos, el periodo para simular previsiones de acierto no puede ser muy alto. Se considera que una semana es correcto para calcular previsiones de acierto y discernir con ello las posibles variables que pueden quedar fuera del modelo para el cálculo final de previsiones.

- Si el **histórico es superior a un mes, se utilizan 14 días**. Para el resto de casos se toman las últimas dos semanas para calcular el error de acierto de la simulación de previsiones. En este caso, se determina este periodo ya que se considera importante que las previsiones de acierto se calculen para un periodo similar al que va a usarse en un futuro y, a la vez, se tenga en cuenta la mayor parte posible del histórico que finalmente se tendrá en cuenta. En otras palabras, se quiere eliminar de la ecuación los posibles problemas generados por información que proporcionen las variables causales referentes a ofertas y, por consiguiente, el proceso de selección no sea completamente eficiente. Por ejemplo, si se considerara un mes y resulta que la referencia se encuentra en oferta justamente ese mes, el proceso de selección no tendrá en cuenta este hecho y, sin embargo, el cálculo final de previsiones que si considerará este último mes, podría empeorar el acierto de previsiones a causa de una mala esas variables.

En lo que concierne a las diferentes **combinatorias de variables utilizadas**, dado el elevado número de variables que se han definido en el modelo, en concreto 21 variables, conllevaría un excesivo coste computacional el calcular y tratar todas las combinaciones posibles de variables que pueden generarse (21 variables $\rightarrow 21! \approx 10^{20}$ combinaciones posibles). Por eso, se propone un método simplificado que componga las combinaciones de variables “sacando” del modelo de una en una las variables. Así pues, para el caso de históricos que tengan en cuenta las 21 variables, se tendrían 22 iteraciones posibles como máximo (la primera iteración con todas las variables y las siguientes, haciendo cero cada variable y dejando el resto a uno). En este proyecto se propone repetir este proceso hasta 3 veces para poder sacar del modelo, como máximo, 3 variables. Por supuesto podría elegirse otro parámetro pero para acotar el problema también en el ámbito del tiempo computacional se ha optado por dejar en 3 el número máximo de variables a sacar del modelo. Con este planteamiento, el número máximo de optimizaciones que se pueden calcular por referencia son $22+21+20+1 = 64$ iteraciones. La última iteración sería la que calcularía la previsión final para la fecha de previsiones real requerida con la combinación de variables seleccionada, que se realiza, tal y como se muestra en la Ilustración 5-3, fuera del método de selección heurístico propiamente dicho. Cabe destacar en último lugar que, si en la preselección de variables con el método experto se han eliminado ya ciertas variables, estas ya no tendrán posibilidad de ser seleccionadas y, por tanto, el número de combinaciones posibles se reducirá, teniendo en cuenta solamente las variables preseleccionadas.

Asimismo, en la citada ilustración se enuncian algunas consideraciones de cálculo que, aunque son menos importantes, se justifican convenientemente a continuación.

- **Condición “¿Fecha máx. histórico > Fecha previsiones de acierto?”** Para referencias que se reincorporan y, por tanto, tienen un histórico antiguo pero se volverán a trabajar inminentemente, no se puede contrastar ese acierto para fechas recientes y, por tanto, su cálculo se realiza simplemente con la selección experta de variables que se hace inicialmente.
- Si en el primer paso del bucle, de entre todas las combinaciones de variables, la mejor combinación es la que no elimina del cálculo ninguna variable, no es necesario seguir iterando y se pasaría directamente al cálculo de previsión final. Es decir, para la condición **“¿Combinación elegida es idéntica a la anterior?”**, el primer paso de los tres que puede hacer como máximo el bucle, compara la combinación elegida con la preseleccionada con

el método experto. Análogamente ocurre si entre un paso y el siguiente se elige la misma combinación de variables como la mejor.

- Finalmente, tras la selección de variables, se volverá a realizar la optimización del modelo, esta vez hasta la fecha de previsiones que ha introducido el usuario y, por supuesto, utilizando solamente las variables causales seleccionadas mediante el método.

5.4 Descripción del Modelo de Programación Lineal para la previsión causal

Seguidamente pasa a describirse el modelo de programación matemática utilizado en la metodología general propuesta en la Ilustración 5-1 y que también se utiliza para el método heurístico de selección de variables esquematizado en la Ilustración 5-3. Se trata de un modelo de PLC para la previsión causal que puede ser utilizado en cualquier otro problema similar, simplemente adaptando las variables causales seleccionadas para cada caso concreto y, también, la longitud de los periodos de tiempo en los que se divida el histórico.

Para presentar la **formulación matemática del modelo** se definen dos apartados a través de los que se presenta la parte de definición y la parte de modelado. En cada uno de ellos se justifica la formulación propuesta para el caso objeto de estudio y se indican los pasos a seguir para que pueda ser extrapolable a cualquier caso de previsión que sea apto para utilizar la metodología propuesta.

5.4.1 Definición del modelo: Índices, Datos y Variables de decisión

A través de la parte de definición del modelo, se nombran y definen cada una de las variables independientes del modelo. En la Tabla 5-2 aparecen los índices, datos y variables de decisión que intervienen en el modelo. En la sección anterior, se detallaron las variables causales utilizadas (Tabla 5-1), en esta sección se muestra cómo se utilizan éstas en el modelo de PLC propuesto.

Tabla 5-2: Parte de definición del modelo: Índices, datos y variables de decisión.

Índices	
t	Índice de los periodos {diarios} de histórico y previsión, $t \in \{1, \dots, T\}$
ds	Índice de los días de la semana, $ds \in \{1, \dots, 7\}$
dm	Índice de los días del mes, $dm \in \{1, \dots, 31\}$
ma	Índice de los meses del año, $ma \in \{1, \dots, 12\}$
sa	Índice de la semana del año, $sa \in \{1, \dots, 53\}$
a	Índice de los años que aparecen en el histórico y la previsión, $a \in \{2013, \dots, 2016\}$
fes	Índice que toma el valor 1 si el día es festivo, $fes \in \{0,1\}$
$fesant$	Índice que indica los días que faltan para un día festivo, solo en los 3 días previos a cada día festivo, $fesant \in \{0,1,2,3\}$
$fespos$	Índice que indica los días que han pasado desde un día festivo, solo en los 3 días posteriores a cada día festivo, $fespos \in \{0,1,2,3\}$
ss	Índice que indica los días afectados por Semana Santa desde el lunes de la semana correspondiente a Domingo de Ramos, $ss \in \{0,1, \dots, 21\}$
fa	Índice que indica los días afectados por Fallas, correspondientes a los días del mes de marzo, $fa \in \{0,1, \dots, 31\}$
$navid$	Índice que indica los días afectados por Navidad, correspondientes a los días comprendidos entre el 15 de diciembre y el 15 de enero, $navid \in \{0,1, \dots, 32\}$
$detall$	Índice que indica si el registro de ese periodo se mantienen las tiendas cerradas {0}, abiertas {1}, festivos abiertos {2}, tiendas de verano {3} o domingo abierto {4}, $detall \in \{0,1, \dots, 4\}$.
par	Índice que indica los días afectados por una oferta, $par \in \{0,1\}$
$tipo$	Índice que indica el tipo de oferta, $tipo \in \{0,1,2\}$
$dtoP$	Índice que indica la cantidad de descuento en una oferta de precio, $dtoP \in \{0,1, \dots, 5\}$

<i>dtoC</i>	Índice que indica la cantidad de descuento en una oferta de cheque, $dtoC \in \{0,1, \dots, 5\}$
<i>iniof</i>	Índice que indica los días que han pasado desde el inicio de la oferta, solamente durante la primera mitad de la oferta en curso en ese momento, $iniof \in \{0, \dots, D/2\}$ Siendo D la duración de la oferta correspondiente al registro considerado.
<i>finof</i>	Índice que indica los días que faltan para el final la oferta, solamente durante la segunda mitad de la oferta en curso en ese momento, $finof \in \{0, \dots, D/2\}$ Siendo D la duración de la oferta correspondiente al registro considerado.
<i>foll</i>	Índice que indica si la referencia aparece en el folleto de la oferta, $foll \in \{0,1\}$
<i>port</i>	Índice que indica si la referencia aparece en la portada del folleto de la oferta, $port \in \{0,1\}$
<i>dest</i>	Índice que indica si la referencia aparece destacada en el folleto de la oferta, $dest \in \{0,1\}$
<i>iter</i>	Índice que numera las distintas combinaciones de variables para la selección por el método heurístico, $iter \in \{1, \dots, 22\}$
Datos	
V_t	Cantidad vendida en el periodo t .
<i>DiaSem_t</i>	Día de la semana en el periodo t .
<i>DiaMes_t</i>	Día del mes en el periodo t .
<i>MesAño_t</i>	Mes del año en el periodo t .
<i>SemAño_t</i>	Semana del año en el periodo t .
<i>Ano_t</i>	Año en el periodo t .
<i>FestivoBin_t</i>	Toma el valor 1 si el día del periodo t es festivo. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>FestivoAnt_t</i>	Toma el valor 1 si el día del periodo t es el día anterior a un día festivo, vale 2 si faltan 2 días para un día festivo, toma el valor 3 si faltan 3 días. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>FestivoPos_t</i>	Toma el valor 1 si el día del periodo t es el día siguiente a un día festivo, vale 2 si han pasado 2 días de un día festivo, toma el valor 3 si han pasado 3 días. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>SemanaSanta_t</i>	Toma los valores del 1 al 21 desde el lunes de la semana correspondiente a Domingo de Ramos hasta 3 semanas después de esa fecha para cada año. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>Fallas_t</i>	Día del mes en el periodo t si el mes es marzo. Vale 0 en cualquier otro mes.
<i>Navidad_t</i>	Toma los valores del 1 al 32 desde el 15 de diciembre al 15 de enero para cada año. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>DetalleDia_t</i>	Toma los valores correspondientes a cada periodo t según los índices establecidos.
<i>Oferta_t</i>	Toma el valor 1 si el día del periodo t la referencia se encuentra en oferta. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>TipoOferta_t</i>	Toma el valor 1 si la oferta es de precio y 2 si es de cheque. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>DescuentoOfertaPrecio_t</i>	Toma el valor correspondiente según el descuento si la oferta es de precio. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>DescuentoOfertaCheque_t</i>	Toma el valor correspondiente según el descuento si la oferta es de cheque. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>InicioOferta_t</i>	Toma los valores desde 1 a la mitad de la duración de la oferta, indicando, si se encuentra en oferta, para el día del periodo t cuantos días hace que se inició la oferta actual. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>FinOferta_t</i>	Toma los valores desde 1 a la mitad de la duración de la oferta, indicando, si se encuentra en oferta, para el día del periodo t cuantos días quedan para el final de la oferta actual. Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>Folleto_t</i>	Toma el valor 1 si la referencia aparece en el folleto de la oferta en el periodo t . Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>Portada_t</i>	Toma el valor 1 si la referencia aparece en la portada del folleto de la oferta en el periodo t . Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>Destacado_t</i>	Toma el valor 1 si la referencia aparece como destacada en el folleto de la oferta en el periodo t . Vale 0 en cualquier otro caso.
<i>iterActual</i>	Valor de la iteración actual (usada para indicar qué combinación de variables se usará para la optimización).
<i>itDiaSem_{iter}</i>	Toma el valor 1 si la variable <i>DiaSem</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
<i>itDiaMes_{iter}</i>	Toma el valor 1 si la variable <i>DiaMes</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
<i>itMesAño_{iter}</i>	Toma el valor 1 si la variable <i>MesAño</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
<i>itSemAño_{iter}</i>	Toma el valor 1 si la variable <i>SemAño</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
<i>itAno_{iter}</i>	Toma el valor 1 si la variable <i>Ano</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.

$itFestivoBin_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>FestivoBin</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itFestivoAnt_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>FestivoAnt</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itFestivoPos_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>FestivoPos</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itSemanaSanta_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>SemanaSanta</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itFallas_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Fallas</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itNavidad_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Navidad</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itDetalleDia_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>DetalleDia</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itOferta_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Oferta</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itTipoOferta_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>TipoOferta</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itDescuentoOfertaPrecio_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>DescuentoOfertaPrecio</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itDescuentoOfertaCheque_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>DescuentoOfertaCheque</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itInicioOferta_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>InicioOferta</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itFinOferta_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>FinOferta</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itFolleto_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Folleto</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itPortada_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Portada</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
$itDestacado_{iter}$	Toma el valor 1 si la variable <i>Destacado</i> se utiliza para la optimización en la iteración <i>iter</i> y de 0 en caso contrario.
VARIABLES DE DECISIÓN	
Err_t	Error de ajuste para cada periodo <i>t</i>
$ErrA_t$	Valor absoluto del error de ajuste para cada periodo <i>t</i>
DSc_{ds}	Valor de previsión para el día de la semana <i>ds</i>
DMc_{dm}	Valor de previsión para el día del mes <i>dm</i>
MAc_{ma}	Valor de previsión para el mes del año <i>ma</i>
SAC_{sa}	Valor de previsión para la semana del año <i>sa</i>
Ac_a	Valor de previsión para el año <i>a</i>
$FestivoBinPrev_{fes}$	Valor de previsión asociado a un día festivo, <i>fes</i>
$FestivoAntPrev_{fesant}$	Valor de previsión asociado a los días previos a un día festivo, <i>fesant</i>
$FestivoPosPrev_{fespos}$	Valor de previsión asociado a los días posteriores a un día festivo, <i>fespos</i>
$SemanaSantaC_{ss}$	Valor de previsión asociado a los días afectados por Semana Santa, <i>ss</i>
$FallasPrev_{fa}$	Valor de previsión asociado a los días afectados por Fallas, <i>fa</i>
$NavidadPrev_{navid}$	Valor de previsión asociado a los días afectados por Navidad, <i>navid</i>
$DetalleDiaPrev_{detall}$	Valor de previsión asociado a los distintos tipos de días definidos en <i>detall</i>
$OfertaPrev_{par}$	Valor de previsión asociado a los periodos de oferta, <i>par</i>
$TipoOfertaPrev_{tipo}$	Valor de previsión asociado a cada tipo de oferta, <i>tipo</i>
$DescuentoOfertaPrev_{dtoP}$	Valor de previsión asociado a cada descuento en una oferta de precio, <i>dtoP</i>
$DescuentoOfertaPrev_{dtoC}$	Valor de previsión asociado a cada descuento en una oferta de cheque, <i>dtoC</i>
$InicioOfertaPrev_{iniof}$	Valor de previsión asociado a los días transcurridos desde el inicio de una oferta, <i>iniof</i>
$FinOfertaPrev_{finof}$	Valor de previsión asociado a los días restantes hasta el fin de una oferta, <i>finof</i>
$FolletoPrev_{foll}$	Valor de previsión asociado a la aparición de la referencia en el folleto de la oferta, <i>foll</i>
$PortadaPrev_{port}$	Valor de previsión asociado a la aparición de la referencia en la portada del folleto de la oferta, <i>port</i>
$DestacadoPrev_{dest}$	Valor de previsión asociado a la aparición como destacado de la referencia en el folleto de la oferta, <i>dest</i>
P_t	Valor de previsión total del periodo <i>t</i>

En lo que respecta a los **Índices**, se define, por un lado, el índice temporal, t , que proporciona la base para la serie temporal de los datos. A continuación se definen los 21 índices correspondientes a las 21 variables causales consideradas. El último índice que se define es el de las diferentes combinaciones de variables o iteraciones que se realizarán previsiblemente en el método heurístico de selección de variables. Cabe destacar que, aunque no se utilice este método de selección de variables, se puede utilizar también para cualquier combinación de variables siempre y cuando se sitúe en la iteración correspondiente al valor recogido de $iterActual$ en el apartado de Datos.

Siguiendo con los **Datos**, se requieren, por un lado, todos los referidos a la serie temporal con subíndice t tanto para la cantidad vendida en cada periodo, V_t como para el valor que toma cada variable causal en t . Seguidamente, como ya se ha aclarado, $iterActual$ solo puede tomar un valor entre 1 y 22 para indicar qué combinación de variables de la que se recogerá a continuación se utilizará. Así pues, existen otros 22 vectores de entrada de datos con subíndice $iter$ que almacenan valores binarios para indicar si la variable a la que se refiere cada vector se utilizará en la optimización para la iteración $iter = iterActual$.

Finalmente, entre las **Variables de decisión** se definen, en primer lugar, las referentes al cálculo del error de previsión. Se sigue con las variables que almacenan los valores de previsión asociados a cada índice de las 21 variables causales propuestas. Y, por último, la variable de decisión P_t es la que contiene el valor total de previsión para el periodo t .

5.4.2 Modelado: Función objetivo y Restricciones

La Tabla 5-3 recoge el modelo PLC propiamente dicho compuesto por la función objetivo [1] y las restricciones [2] a [6]. A continuación se pasa a describir la explicación del planteamiento adoptado para la estructura y diseño del modelo.

Tabla 5-3: Función objetivo y restricciones del modelo de previsión causal.

Función objetivo	
$\min z = \sum_t^T \text{ErrA}_t$	[1]
Sujeto a:	
$P_t = DSc_{ds=DiaSem_t} * itDiaSem_{iter=iterActual} + DMc_{dm=DiaMes_t} * itDiaMes_{iter=iterActual} +$ $+ MAC_{ma=MesAno_t} * itMesAno_{iter=iterActual} + SAC_{sa=SemAno_t} * itSemAno_{iter=iterActual} + AC_{a=Ano_t} * itAno_{iter=iterActual} +$ $+ FestivoBin_t * FestivoBinPrev_{fes=FestivoBin_t} * itFestivoBin_{iter=iterActual} +$ $+ FestivoAnt_t * FestivoAntPrev_{fesant=FestivoAnt_t} * itFestivoAnt_{iter=iterActual} +$ $+ FestivoPos_t * FestivoPosPrev_{fespos=FestivoPos_t} * itFestivoPOS_{iter=iterActual} +$ $+ SemanaSanta_t * SemanaSantaC_{ss=SemanaSanta_t} * itSemanaSanta_{iter=iterActual} +$ $+ Fallas_t * FallasPrev_{fa=Fallas_t} * itFallas_{iter=iterActual} + Navidad_t * NavidadPrev_{navid=Navidad_t} * itNavidad_{iter=iterActual} +$ $+ DetalleDia_t * DetalleDiaPrev_{detail=DetalleDia_t} * itDetalleDia_{iter=iterActual} +$ $+ Oferta_t * OfertaPrev_{par=Oferta_t} * itOferta_{iter=iterActual} +$ $+ TipoOferta_t * TipoOfertaPrev_{tipo=TipoOferta_t} * itTipoOferta_{iter=iterActual} +$ $+ DescuentoOfertaPrecio_t * DescuentoOfertaPrev_{dtoP=DescuentoOfertaPrecio_t} * itDescuentoOfertaPrecio_{iter=iterActual} +$ $+ DescuentoOfertaCheque_t * DescuentoOfertaPrev_{dtoC=DescuentoOfertaCheque_t} * itDescuentoOfertaCheque_{iter=iterActual} +$ $+ InicioOferta_t * InicioOfertaPrev_{iniof=InicioOferta_t} * itInicioOferta_{iter=iterActual} +$	[2]

$$\begin{aligned}
&+ FinOferta_t * FinOfertaPrev_{finof=FinOferta_t} * itFinOferta_{iter=iterActual} + \\
&+ Folleto_t * FolletoPrev_{foll=Folleto_t} * itFolleto_{iter=iterActual} + \\
&+ Portada_t * PortadaPrev_{port=Portada_t} * itPortada_{iter=iterActual} + \\
&+ Destacado_t * DestacadoPrev_{dest=Destacado_t} * itDestacado_{iter=iterActual}
\end{aligned}$$

$$Err_t = P_t - V_t \tag{3}$$

$$Err_t \leq ErrA_t \tag{4}$$

$$-Err_t \leq ErrA_t \tag{5}$$

$$(Todas las variables \in \mathbb{R} \text{ excepto } ErrA \in \mathbb{R}^+) \tag{6}$$

$Err_t \in \mathbb{R}, \forall t$	$FestivoAntPrev_{fesant} \in \mathbb{R}, \forall fesant$	$DescuentoOfertaPrev_{dtoP} \in \mathbb{R}, \forall dtoP$
$ErrA_t \in \mathbb{R}^+, \forall t$	$FestivoPosPrev_{fespos} \in \mathbb{R}, \forall fespos$	$DescuentoOfertaPrev_{dtoC} \in \mathbb{R}, \forall dtoC$
$DSc_{ds} \in \mathbb{R}, \forall ds$	$SemanaSantaC_{ss} \in \mathbb{R}, \forall ss$	$InicioOfertaPrev_{iniof} \in \mathbb{R}, \forall iniof$
$DMC_{dm} \in \mathbb{R}, \forall dm$	$FallasPrev_{fa} \in \mathbb{R}, \forall fa$	$FinOfertaPrev_{finof} \in \mathbb{R}, \forall finof$
$MAC_{ma} \in \mathbb{R}, \forall ma$	$NavidadPrev_{navid} \in \mathbb{R}, \forall navid$	$FolletoPrev_{foll} \in \mathbb{R}, \forall foll$
$SAC_{sa} \in \mathbb{R}, \forall sa$	$DetalleDiaPrev_{detall} \in \mathbb{R}, \forall detall$	$PortadaPrev_{port} \in \mathbb{R}, \forall port$
$Ac_a \in \mathbb{R}, \forall a$	$OfertaPrev_{par} \in \mathbb{R}, \forall par$	$DestacadoPrev_{dest} \in \mathbb{R}, \forall dest$
$FestivoBinPrev_{fes} \in \mathbb{R}, \forall fes$	$TipoOfertaPrev_{tipo} \in \mathbb{R}, \forall tipo$	$P_t \in \mathbb{R}, \forall t$

La **Función objetivo [1]** es la encargada de minimizar la suma de los valores absolutos del error de ajuste del modelo a lo largo de la serie histórica. Todo el modelo se estructura con el fin de realizar los cálculos necesarios para el error absoluto de previsión en cada periodo t .

Cabe resaltar tres puntos en lo referente a la función objetivo.

- En primer lugar, la optimización de la función objetivo propuesta llevaría a la misma solución óptima que otras funciones objetivo que minimizan el error absoluto medio de la serie histórica. Esto es así puesto que el optimizar el error absoluto medio consiste, simplemente, en dividir la suma de errores absolutos entre una constante, T (el máximo valor de periodos considerados).
- En segundo lugar y en línea con lo anterior, **se justifica la utilización del error absoluto de previsión para la función objetivo**, fundamentalmente, debido a que es una medida de error de previsión totalmente objetivo y, lo que es más importante, en términos **absolutos**. Se podría haber planteado la posibilidad de utilizar como función objetivo, por ejemplo, el *MAPE*, del inglés *Mean Absolute Percentage Error* que se calcula como:

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_t \frac{|Previsión_t - Demanda_t|}{Demanda_t} \tag{7}$$

Sin embargo, los valores indeseables que toma cuando la demanda de algunos periodos tiende a cero, hace que se haya descartado para su utilización en el modelado y en la selección de variables. Aun así, el **MAPE se utilizará posteriormente para comparar las previsiones obtenidas mediante la metodología propuesta y las que obtiene la empresa objeto de estudio** tal y como se puede consultar en el capítulo 7. Asimismo, aunque se ha valorado la posibilidad de utilizar otros tipos de errores de previsión como algunos de los que propone Kolassa (2016), se ha llegado a la misma conclusión que lo que ocurre con el *MAPE* en unos casos; en otros casos, eran errores que, por su definición, convertían

nuestro modelo en no lineal (como el MSE , del inglés *Mean Square Error*, $MSE = \frac{1}{T} \sum_t^T (Previsión_t - Demanda_t)^2$); y, los restantes errores, ofrecían un comportamiento análogo al error absoluto.

- En tercer lugar pero con mayor importancia, debemos percatarnos y que, tal y como se propone el modelo, todas las variables de decisión pueden tomar cualquier valor real, excepto la variable $ErrA_t$ que sólo puede tomar valores reales positivos. Este hecho hace que el modelo converja siempre a una solución óptima y, además, el hecho de trabajar con variables continuas hace que el tiempo de computación se reduzca moderadamente.

A través de la **restricción [2]** se calcula la **previsión final** por medio de la agregación de las previsiones asociadas a cada variable para cada uno de sus índices. Cabe recordar que esta restricción solamente calcula la previsión final para los periodos t históricos (a pasado) y no tiene en cuenta los futuros. Recordemos que, según se ha definido, el modelo PLC solo trabaja con datos históricos y la previsión futura se calculará de manera idéntica a esta restricción en un tratamiento posterior. Así pues, para cada periodo t , la variable de decisión asociada al índice concreto en ese periodo de cada una de las variables causales es la que conforma la previsión. Es muy importante resaltar que, para aquellas variables que, por definición, puedan tener índices iguales a cero a los que no se les quiera asociar ningún tipo de previsión, se multiplica el valor del índice para el periodo t por la previsión asociada a ese índice. Con esto, el modelo asociará un valor nulo de previsión para el índice cero de cada variable puesto que no influye en el cálculo de la solución óptima. Asimismo, cabe percatarse que todas las variables se multiplican por el otro dato binario correspondiente a la selección de variables. De este modo, cuando el valor binario de una variable causal concreta tome el valor cero, no intervendrá en el cálculo de la previsión final puesto que el término de previsión asociado a esa variable será nulo.

Mediante la **restricción [3]** se calcula el **error de previsión** cometido. No es especialmente relevante el signo de la diferencia entre valor real y previsión puesto que lo que posteriormente se utilizará será el **valor absoluto de ese error** que se calcula a partir de las **restricciones [4] y [5]** para que el modelo conserve su linealidad.

Por último, **[6] indica la naturaleza de las variables**. Como se ha comentado anteriormente, todas las variables son continuas no restringidas (pueden tomar cualquier valor real), excepto la variable referente al error absoluto que, por su definición, solo puede tomar valores reales positivos.

5.5 Consideraciones finales

En este capítulo se ha descrito a nivel conceptual tanto la metodología global para el cálculo de las previsiones como algunos de sus componentes más relevantes como la identificación y selección de variables causales y el modelo de PLC utilizado para realizar la previsión.

Para que la anterior propuesta conceptual pueda ser utilizada para llevar a cabo la previsión en una empresa real en un tiempo adecuado, es necesario diseñar y programar las herramientas necesarias que permitan obtener previsiones para un conjunto considerable de referencias de manera automatizada. Esto da paso al siguiente capítulo en el que, precisamente, se desarrollarán una serie de componentes informáticos que permitirán al usuario obtener previsiones con la metodología propuesta a través del método de selección de variables que desee.

6 DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN CAUSAL

6.1 Introducción

En este capítulo se describe la manera en que las propuestas conceptuales del capítulo anterior han sido implementadas informáticamente y vinculadas entre sí a través de una herramienta. La utilización de esta herramienta permitirá a la empresa la realización de la previsión causal en un entorno realista con un volumen de información elevado y tiempos de computación factibles.

En primer lugar se esquematiza y se describe la arquitectura general de la herramienta con sus diferentes componentes y relaciones. A continuación se esquematizan y detallan los archivos principales que constituyen las aplicaciones funcionales diseñadas. Y, finalmente, se explica cómo debe ser utilizada la herramienta por el usuario.

6.2 Arquitectura de la herramienta de previsión y relación entre sus componentes

La herramienta diseñada se compone de tres archivos principales y seis archivos secundarios. Se muestra en la página siguiente la Ilustración 6-1 en la que se representa un esquema del conjunto de archivos, sus relaciones y sus funciones principales. Se explica brevemente cada uno de ellos a continuación aunque se desarrollarán las dos aplicaciones diseñadas para generar el histórico y para calcular previsiones en dos apartados posteriores.

- **MODELO PLC “modelo.mpl”**: El modelo causal definido en el apartado 5.4 se ha programado en el lenguaje comprensible por el software utilizado, MPL Modeling System versión 5.0.2.110 (64-bit). Puede consultarse el código completo que contiene el archivo en cuestión en el Anexo I. El modelo se resuelve mediante el solver GUROBI versión 6.5 por su contrastada eficacia a la hora de resolver modelos de gran tamaño y complejidad.
- **APLICACIÓN “HISTORICO.mdb”**: Archivo Access cuya función principal es el pretratamiento del histórico. Se encarga de **importar el histórico** y, para todas las variables activas, generar los registros tanto históricos como futuros necesarios **anexando los datos de las variables causales**. Aunque pueda parecer sencillo, para conseguir este propósito, este archivo posee 1 importación guardada (para que el usuario solamente tenga que añadir la ruta y ejecutarla), 11 tablas (3 de ellas vinculadas), 27 consultas, 1 formulario, 3 macros y 6 módulos de Visual Basic (VBA) en los que se ha programado 1 función principal y 7 auxiliares. Se detallarán todos estos elementos y su funcionamiento en el apartado 6.2.1 y se puede consultar el código VBA programado en el Anexo II.

A su vez, este archivo se relaciona con otros cuatro archivos secundarios:

- **“histórico_empresa.csv”**: Es el archivo que proviene de la exportación de datos desde los sistemas de la empresa. En la exportación habrá que seleccionar el conjunto de referencias de las que se quiera obtener previsiones así como filtrar las tiendas que se quiere agrupar servidas por la plataforma objeto estudio. Cabe destacar que este archivo solamente será necesario en este prototipo puesto que, una vez que la herramienta se implemente en los sistemas, el proceso de obtener el histórico desde los sistemas de la empresa se realizará de manera automática.

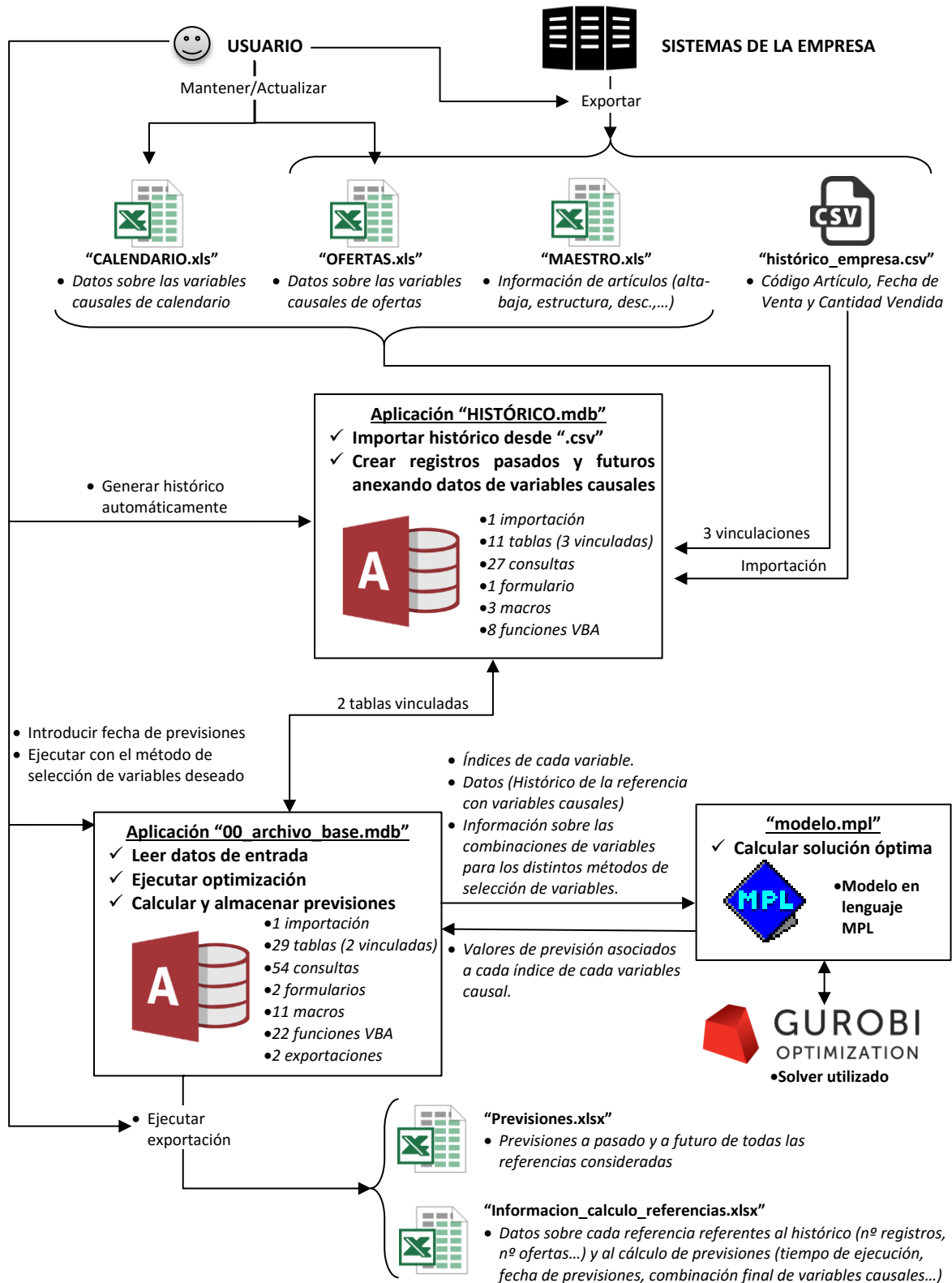


Ilustración 6-1: Esquema de la arquitectura de la herramienta y las principales relaciones entre elementos.

- **"MAESTRO.xls"**: Archivo Excel que contiene los datos asociados a cada referencia. Proviene de un listado disponible en la empresa que habrá que

actualizar en el momento de realizar las previsiones. En esta herramienta solamente se utiliza para comprobar si la referencia está de alta o de baja para eliminar aquellas referencias que no es necesario que se calculen sus previsiones. En un futuro podría proporcionar otros datos tales como la descripción de la referencia, el formato o la estructura interna a la que pertenece.

Al igual que el archivo anterior, el maestro de referencias solo será necesario introducirlo como archivo externo para hacer funcionar esta herramienta de la manera que ha sido concebida. Una vez implantada en los sistemas de la empresa, el listado maestro se podría vincular a la herramienta y no sería preciso la intervención manual.

- **“CALENDARIO.xls”**: Archivo Excel que contiene la información de las variables causales relativas al calendario. En su mayor parte, el archivo se puede mantener casi automáticamente pero es necesaria la intervención del usuario para indicarle algunos datos sobre las fechas de los festivos, de Semana Santa o de las aperturas extraordinarios durante los domingos.
- **“OFERTAS.xls”**: Archivo Excel que contiene información sobre las ofertas. Procede de un listado disponible en la empresa. Aún así, es necesaria la intervención del usuario para generar los valores de las variables causales asociadas a cada registro. Sin embargo, todos los valores están formulados y, por tanto, de implementarse el sistema de cálculo de previsiones en la empresa, tan sólo se tendría que modificar este listado para incluir esos campos.
- **APLICACIÓN “00_archivo_base.mdb”**: Es el archivo principal para el cálculo de previsiones. Hace de nexo de unión entre los dos archivos principales anteriores, el del histórico “HISTORICO.mdb” y el necesario para calcular las previsiones a través de la resolución óptima del modelo de PLC, “modelo.mpl”. Contiene 29 tablas, 54 consultas, 2 formularios, 11 macros y 17 módulos VBA en los que se han programado 3 funciones principales (una para cada método de selección) y 19 funciones auxiliares. Se dedica el apartado 6.2.2 a explicar con más detalle la función de cada elemento y en el Anexo III puede consultarse los códigos VBA programados para este archivo.
Una vez calculadas las previsiones, contiene 2 exportaciones guardadas que, al ejecutarlas proporciona 2 archivos Excel de salida:

- **“Previsiones.xlsx”**: Contiene todos los registros, tanto pasado como futuros, para todas las referencias que han participado en el proceso con los datos tanto históricos de cantidad vendida y previsiones de ajuste como futuros de previsión. También contiene todos los datos referentes a las variables causales en el propio histórico de cada referencia.
- **“Informacion_calculo_referencias.xlsx”**: Contiene el listado de referencias que ha participado en el proceso con los datos referentes al histórico (número de registros, fechas mínima y máxima disponible en el histórico, número de ofertas) así como los datos respectivos al cálculo de previsiones (fecha y hora de inicio y fin del último cálculo, duración, fecha de cálculo de previsiones, tipo de histórico asociado a la selección y combinación de variables causales con la que ha sido calculada).

6.2.1 Componente para generar el histórico con variables causales: Aplicación “HISTORICO.mdb”

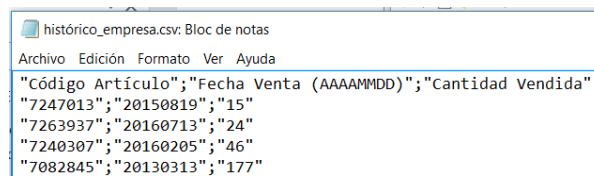
Como se ha comentado, este componente está formado por una serie de tablas, consultas, macros y funciones VBA que, en su conjunto, realizan las funciones para las que ha sido concebido: importar el histórico en formato CSV exportado desde los sistemas de la empresa, leer los datos vinculados sobre las variables causales y crear los registros tanto pasados (las fechas que contenga el histórico) como futuros (a partir de la última fecha del histórico).

Para entender la composición del archivo “HISTORICO.mdb” es necesario explicar con más detalle el contenido de los diferentes archivos secundarios que cuelgan de él.

6.2.1.1 Archivos secundarios

6.2.1.1.1 Archivo “histórico_empresa.csv”

Contiene la **exportación realizada por el usuario desde las BBDD de la empresa**. Se muestra un extracto de cómo se vería el archivo en un bloc de notas en la Ilustración 6-2. Como la citada exportación es, en realidad, una consulta sobre la propia BBDD de la empresa, se detallan a continuación las características más importantes que el usuario debe tener en cuenta a la hora de generar este archivo.



```

"histórico_empresa.csv: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
"Código Artículo";"Fecha Venta (AAAAMMDD)";"Cantidad Vendida"
"7247013";"20150819";"15"
"7263937";"20160713";"24"
"7240307";"20160205";"46"
"7082845";"20130313";"177"
  
```

Ilustración 6-2: Extracto del resultado de la exportación del histórico de la empresa, archivo “histórico_empresa.csv”

1. Incluir los campos “Código Artículo”, “Fecha Venta (AAAAMMDD)” y “Cantidad Vendida”. Es importante que los nombres de los campos sean exactamente estos para que funcione correctamente.
2. Incluir los filtros correspondientes a: Rango de fechas (por ejemplo, desde 2013 hasta la actualidad), artículos de los que se quiere calcular previsión (por sección, por proveedor...), plataforma (incluyendo las tiendas que son servidas desde la plataforma que se desea obtener).
3. Seleccionar como delimitador el punto y coma (;) y como calificador de texto las comillas (“”).
4. Guardar como archivo con extensión .csv con el nombre deseado y en la ruta preferida del equipo (posteriormente se deberá actualizar esta ruta en la importación guardada).

6.2.1.1.2 Archivo “CALENDARIO.xls”

Contiene la información sobre las **variables causales de calendario**. Hay que mantenerlo manualmente en Excel pero prácticamente todas las columnas se pueden formular convenientemente. El archivo consta de tres hojas de cálculo, la primera de ellas que es la principal se muestra en la Ilustración 6-3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Fecha_DATA	Fecha		DiaMes	MesAño	Año	DiaSem	SemanaAño	FestivoBin	FestivoAnt	FestivoPost	SemanaSanta	Fallas	Navidad	Detalle_Dia	Desc_Detalle_Dia
2	20130101	01/01/2013	1	1	1	2013	2	1	1	0	0	0	0	0	18	0 Cerrado
3	20130102	02/01/2013	2	2	1	2013	3	1	0	0	1	0	0	0	19	1 Abierto
4	20130103	03/01/2013	3	3	1	2013	4	1	0	0	2	0	0	0	20	1 Abierto
5	20130104	04/01/2013	4	4	1	2013	5	1	0	0	3	0	0	0	21	1 Abierto
6	20130105	05/01/2013	5	5	1	2013	6	1	0	0	4	0	0	0	22	1 Abierto
7	20130106	06/01/2013	6	6	1	2013	7	2	0	0	0	0	0	0	23	0 Cerrado
8	20130107	07/01/2013	7	7	1	2013	1	2	0	0	0	0	0	0	24	1 Abierto
9	20130108	08/01/2013	8	8	1	2013	2	2	0	0	0	0	0	0	25	1 Abierto
10	20130109	09/01/2013	9	9	1	2013	3	2	0	0	0	0	0	0	26	1 Abierto
11	20130110	10/01/2013	10	10	1	2013	4	2	0	0	0	0	0	0	27	1 Abierto
12	20130111	11/01/2013	11	11	1	2013	5	2	0	0	0	0	0	0	28	1 Abierto
13	20130112	12/01/2013	12	12	1	2013	6	2	0	0	0	0	0	0	29	1 Abierto

Ilustración 6-3: Hoja principal del archivo “CALENDARIO.xls”

El cálculo de las variables se puede formular atendiendo a la definición de las variables según la Tabla 5-1. Para automatizar la introducción de datos de aquellos campos que podrían ser conflictivos en cuanto a su cálculo automático se refiere, se propone introducir manualmente las fechas correspondientes a la Semana Santa en una hoja distinta (SemanaSanta_aux) y sobre el campo “SemanaSanta” de la hoja principal hacer uso de la función de Excel “BUSCARV” para traer los datos automáticamente en las fechas correspondientes y poner cero en caso contrario con la función “SI.ERROR”. Análogamente se propone para el campo “FestivoBin” que va a buscar los datos a la hoja “Festivos_auxRD” donde se listan los días festivos, tanto locales como nacionales, según el RD que la Comunidad Valenciana publica anualmente. El único campo de calendario que depende de factores internos de la empresa es “Detalle_Dia” que se suele conocer al inicio del ejercicio y podría incluirse en los sistemas de la empresa.

Como consideraciones adicionales, se debe advertir que para el correcto funcionamiento, los nombres de las variables en la primera fila deben ser exactamente los que se muestran en la Ilustración 6-3. Además, dado que el archivo Access con el que se vincula tiene formato .mdb, el formato de este archivo Excel y de todos los vinculados debe ser siempre .xls (el formato .xlsx no funcionaría).

6.2.1.1.3 Archivo “OFERTAS.xls”

Se trata del listado de ofertas descargable siempre con el mismo formato de la empresa. Cada registro contiene la información asociada a cada artículo y periodo de oferta. Requiere un pequeño tratamiento previo para calcular el valor de las variables causales para cada registro. Se muestra cómo se compone en la Ilustración 6-4.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	FECHA INICIO OFERTA	FECHA FIN OFERTA	DTO. LOTE	ID. ARTICULO	FO DE	PO	PVP ACTUAL	PVP	DTO Precio	DTO Cheque	DescuentoOfertaPrecio	DescuentoOfertaCheque	TipoOferta	Folleto	Portada	Destacado											
1866	25/07/2013	21/08/2013	0.50	D	567743	SI	No	No	3,65	3,65	0,00%	0,00%	3	2	1	0	0										
1867	25/07/2013	21/08/2013	0.50	D	7100779	NO	No	No	3,65	3,65	0,00%	13,70%	3	2	0	0	0										
1868	25/07/2013	21/08/2013	0.50	D	7100782	NO	No	No	3,65	3,65	0,00%	13,70%	3	2	0	0	0										
1869	25/07/2013	21/08/2013	0.60	D	200956	SI	No	No	5,55	5,55	0,00%	10,81%	3	2	1	0	0										
1870	22/08/2013	04/09/2013	0.00	I	6002307	SI	No	No	1,69	1,39	17,75%	0,00%	4	0	1	1	0	0									
1871	22/08/2013	04/09/2013	0.00	I	7008980	SI	No	No	3,10	2,59	16,45%	0,00%	4	0	1	1	0	0									
1872	22/08/2013	04/09/2013	0.00	I	7021954	SI	No	No	3,99	3,29	17,54%	0,00%	4	0	1	1	0	0									
1873	22/08/2013	04/09/2013	0.00	I	7041739	NO	No	No	1,99	1,79	10,05%	0,00%	3	0	1	1	0	0									
1874	22/08/2013	04/09/2013	0.00	I	7092096	SI	No	No	1,69	1,39	17,75%	0,00%	4	0	1	1	0	0									

Ilustración 6-4: Extracto del archivo “OFERTAS.xls” con los campos relevantes para la generación del histórico.

A partir de los datos del listado de la empresa (a la izquierda hasta el campo “PVP”) se calculan los campos de la derecha que contienen dos campos auxiliares y seis de los nueve campos que contienen los valores de las variables causales para cada artículo y oferta (los dos campos restantes, “Inicio_Oferta” y “Final_Oferta” se deben recalcular a partir de estos datos según la fecha de cada registro y el campo “Oferta_binario” tomará el valor 1 cuando el registro se identifique como perteneciente a una oferta).

6.2.1.1.4 Archivo “MAESTRO.xls”

Contiene los **datos referentes al estado de las referencias, actualizados al día en el que se extraiga el listado**. Sin embargo, en esta herramienta sólo se utiliza para consultar si el artículo se encuentra de alta o, por el contrario, está de baja.

Se debe remarcar que estos tres archivos deben tener obligatoriamente extensión .xls y, también, se deben conservar los campos de la primera fila con los nombres idénticos a los de las figuras.

6.2.1.2 Archivo “HISTORICO.mdb”

Como ya se ha reseñado, contiene una serie de elementos que son los que hacen posible su funcionamiento. En la Ilustración 6-6 puede verse un esquema con la maraña con las principales relaciones que existen entre los distintos tipos de elementos que contiene el archivo “HISTORICO.mdb”. Además, en el ANEXO II se puede consultar el código completo programado dentro del archivo. Se comentan a continuación las características más importantes de estos elementos y sus relaciones, siguiendo en todo momento el esquema de la Ilustración 6-6.

En primer lugar, el usuario tiene que ejecutar la importación guardada. Para ello, debe ir al menú correspondiente, actualizar la ruta del archivo .csv y ejecutar la importación. Acto seguido se generará la tabla “HISTORICO” con los datos iniciales provenientes de la importación.

El proceso lo ejecuta el el usuario mediante el **formulario “MENU_INICIO”**, en el mismo se le dan las instrucciones que debe seguir para realizar la carga del histórico con las variables causales correctamente. En el citado formulario hay disponible un botón que ejecuta la **macro “O_CODIGO_PRINCIPAL”**. A su vez, esta macro simplemente llama a la **función “OO_CODIGO_PRINCIPAL”** que se encuentra en el módulo del mismo nombre. El código de esta función y el de las funciones auxiliares que cuelgan de ella están disponibles en el **ANEXO II**. Este código es el que controla la totalidad del proceso (excepto el proceso de importación que debe ser anterior). Así pues, tal y como puede seguirse en el anexo, el código irá ejecutando sucesivamente diferentes consultas y funciones auxiliares. El funcionamiento conceptual del proceso se detallará en el apartado 6.3.1. En este apartado, nos limitaremos a describir cada elemento y sus relaciones.

01_Ref_Activas												
Cod_Art	FechaMin	FechaMax	NumeroDeRegistrosHist	NumDeOfertasHist	FechaInicio	HorasInicio	FechaFin	HorasFinUlt	DuracionL	FechaCalculoPrevis	Metodo	
110262	02/01/2013	27/07/2016	1125	2								
158675	02/01/2013	27/07/2016	1142	2								
186478	02/01/2013	27/07/2016	1143	2								
201970	02/01/2013	27/07/2016	1143	0								
Desc_Metod	IteracionFinal	Var_Calc1_DiaSem	Var_Calc1_Detalle_Dia	Var_Calc1_Oferta_binario	Var_Calc1_InicioOferta	Var_Calc1_FinalOferta	Var_Calc1_DiaMes	Va				

Ilustración 6-5: Parte de la tabla “01_Ref_Activas”.

La tabla "01_Ref_Activas" contiene el listado de referencias para las que se van a calcular previsiones así como los campos necesarios para anexar toda la información referente al histórico y, posteriormente, al proceso de cálculo. Se actualiza ejecutando primero la consulta "01_Eliminar_Ref_Activas" que deja la tabla vacía y, posteriormente, ejecutando la consulta "01_Anexar_Ref_Activas" se añaden los registros de cada referencia. Esta consulta añade a la tabla un listado de las referencias que se encuentran en "HISTORICO" y aparecen en el "MAESTRO" como activas. En la Ilustración 6-5 se muestra parte de la composición de la tabla "01_Ref_Activas". Están rellenos los datos que se anexan en este paso. Tras el cálculo de previsiones por la aplicación "00_archivo_base.mdb" se anexarán el resto de datos referentes a fecha y hora de ejecución, duración, número de iteraciones y combinación de variables seleccionadas para el cálculo.

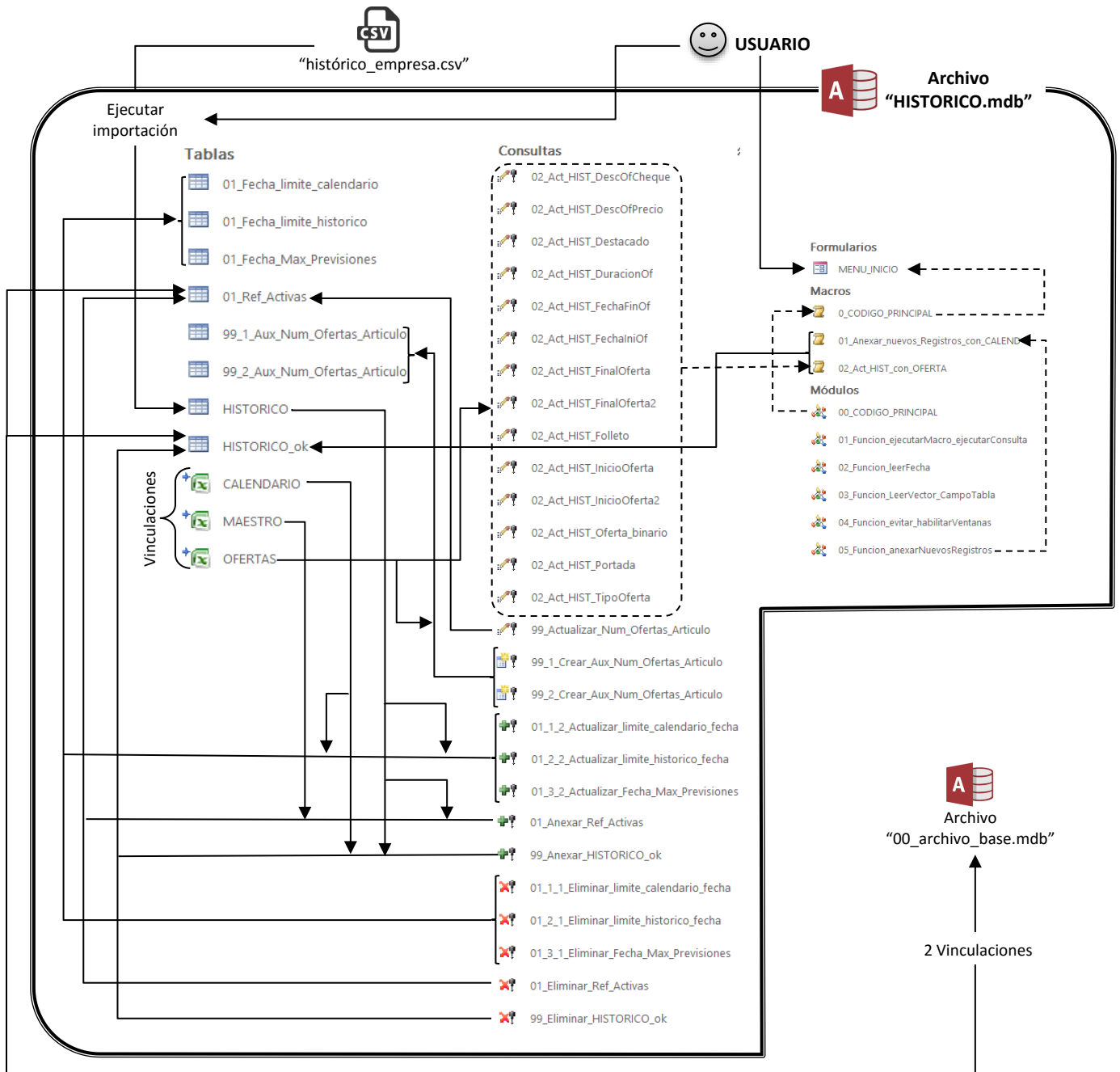


Ilustración 6-6: Esquema de los objetos y las relaciones existentes en el archivo "HISTORICO.mdb".

La **tabla “HISTORICO_ok”** es la más importante para el cálculo de previsiones. Contiene los registros necesarios, tanto históricos como futuros, de cada referencia con los campos necesarios para el cálculo de previsiones, es decir, incluye los campos para las variables causales. Esta tabla se genera en varios pasos. En un primer paso, la consulta “99_Anejar_HISTORICO_ok” toma solamente los datos históricos de la tabla “HISTORICO” para crear esos registros a los que añade también la información referente a las variables causales de calendario desde “CALENDARIO” así como pone el resto de variables causales de oferta a cero (posteriormente solo se actualizarán aquellos valores no nulos y será necesario que el resto se encuentren a cero desde el principio). En la

Las tablas **“01_Fecha_limite_calendario”**, **“01_Fecha_limite_historico”** y **“01_Fecha_Max_Previsiones”** se actualizan a partir de las consultas “01_1_2_Actualizar_limite_calendario_fecha”, “01_2_2_Actualizar_limite_historico_fecha”, “01_3_2_Actualizar_Fecha_Max_Previsiones”, “01_1_2_Eliminar_limite_calendario_fecha”, “01_2_2_Eliminar_limite_historico_fecha” y “01_3_2_Eliminar_Fecha_Max_Previsiones”. Contienen, respectivamente, la fecha máxima existente en la tabla vinculada “CALENDARIO”, la fecha máxima de entre todos los registros del “HISTORICO” y la fecha máxima de previsiones que se calcula como la fecha máxima del histórico más 60 días (horizonte máximo de previsiones considerado). En el caso de que en la tabla “CALENDARIO” no haya una fecha superior a 60 días después de la fecha máxima de histórico, la fecha de previsiones será la fecha máxima de “CALENDARIO”. Si, por error u omisión, en el Excel “CALENDARIO.xls” no se añaden las correspondientes fechas futuras, la aplicación nos mostrará un mensaje de error, avisándonos de las fechas en cuestión.

Las consultas “99_1_Crear_Aux_Num_Ofertas_Artículo” y “99_2_Crear_Aux_Num_Ofertas_Artículo”, crean las tablas **“99_1_Aux_Num_Ofertas_Artículo”** y **“99_2_Aux_Num_Ofertas_Artículo”**. Esta última tabla contiene el **número de veces que cada referencia ha estado de oferta históricamente**. Se necesitan dos consultas para solventar la posible duplicidad de los registros para un artículo con dos ofertas idénticas en la tabla “OFERTAS”, en primer lugar se agrupan los posibles duplicados y, en segundo lugar, se cuenta para cada artículo el número de veces que aparece. Cabe destacar que convendría mantener el listado “OFERTAS.xls” desde la fecha en la que se han sacado datos históricos para tener en cuenta todas las ofertas de las que ha gozado cada referencia. Acto seguido, la consulta **“99_Actualizar_Num_Ofertas_Articulo”** se encarga de actualizar el número de ofertas calculado anteriormente en la tabla “01_Ref_Activas”.

Otro de los pasos que sufre la **tabla “HISTORICO_ok”** hasta ser generado por completo es el que se ejecuta a través de la **macro “01_Anejar_nuevos_Registros_con_CALEND”**. Esta macro llama a la **función “anexarNuevosRegistros”** que es la encargada de ejecutar el código programado para tal fin y que puede encontrarse en el el Anexo II punto II.2.5. Esta función genera a través de código y de la tabla “CALENDARIO” los registros futuros con los valores de las variables causales de calendario desde la fecha máxima del histórico hasta la fecha máxima de previsiones.

El último paso para completar la **tabla “HISTORICO_ok”** es el que se realiza mediante la **macro “02_Act_HIST_con_OFERTA”** que no es más que una ejecución sucesiva de las **consultas “02_Act_HIST_NOMBRELA VARIABLE”**. Cada una de esas consultas actualiza con el valor correspondiente para cada variable causal, de entre todos los registros, solamente aquellos que están afectados por una oferta. Nótese que algunas de esas consultas no son tan evidentes como cabría esperar. Asimismo, las variables “InicioOferta” y “FinOferta” dependen tanto de la fecha de inicio y fin

como de la fecha del registro en cuestión. Por errores detectados al intentar realizar la consulta en un solo paso, se ha preferido realizarla en 2 pasos. Así pues, en la primera consulta se añaden los días desde el inicio y los restantes hasta la fecha fin de la oferta para todos los registros afectados por oferta. En la segunda consulta se vuelven a actualizar a cero los registros de InicioOferta de la segunda mitad de la oferta y los registros de FinOferta de la primera mitad.

Quedaría así completa la tabla “HISTORICO_ok” y preparada para recibir las previsiones y el MAPE diario de cada registro que se calcule con el componente “00_archivo_base.mdb”. Se muestra en la Ilustración 6-7 la composición final de esta tabla tras generar el histórico.

Código Artículo	t	Fecha Venta (AAAAMMDD)	Fecha	DiaMes	MesAño	Año	DiaSem	SemanaAño	FestivoBin	FestivoAnt
110262	1182	20160327	27/03/2016	27	3	2016	7	14	0	1
110262	1184	20160329	29/03/2016	29	3	2016	2	14	0	0
110262	1185	20160330	30/03/2016	30	3	2016	3	14	0	0
110262	1186	20160331	31/03/2016	31	3	2016	4	14	0	0

FestivoPost	SemanaSant	Fallas	Navidad	Detalle_Dia	Desc_Detalle	Oferta_binario	FechaIniOf	FechaFinOf	DuracionOf	DescuentoOfertaPrecio
2	14	27	0	4 Domingo abiert		1	15/03/2016	13/04/2016	29	4
1	16	29	0	1 Abierto		1	15/03/2016	13/04/2016	29	4
2	17	30	0	1 Abierto		1	15/03/2016	13/04/2016	29	4
3	18	31	0	1 Abierto		1	15/03/2016	13/04/2016	29	4

DescuentoOfertaCheque	TipoOferta	Folleto	Portada	Destacado	InicioOferta	FinalOferta	CantidadVen	Prevision	ErrorAbsolut	MAPE
0	1	0	0	0	12	0	2			
0	1	0	0	0	14	0	24			
0	1	0	0	0	0	14	24			
0	1	0	0	0	0	13	17			

Ilustración 6-7: Composición de la tabla “HISTORICO_ok”

6.2.2 Componente para el cálculo de previsiones: Aplicación “00_archivo_base.mdb”

El archivo “00_archivo_base.mdb” constituye la aplicación principal para el cálculo de previsiones. Además contiene todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, en concreto, tal y como ya se ha hecho referencia anteriormente, son 29 tablas, 54 consultas, 2 formularios, 11 macros y 17 módulos VBA en los que se han programado 3 funciones principales (una para cada método de selección) y 19 funciones auxiliares. Todos estos elementos y sus relaciones se esquematizan en la Ilustración 6-8. Las funciones programadas en VBA junto con las diferentes consultas son los encargados de ir realizando las acciones pertinentes para ir cargando los datos de cada referencia desde el histórico global (desde la tabla “HISTORICO_ok” del archivo “HISTORICO.mdb”), ejecutar de manera remota la optimización del MPL y, finalmente, calcular y almacenar previsiones, de nuevo, en la tabla “HISTORICO_ok”. Asimismo, este archivo incluye dos exportaciones para poder extraer las previsiones y los datos del cálculo a Excel. El código completo y comentado para las 22 funciones que controlan todo el proceso está disponible en el ANEXO III.

En este apartado, al igual que en el anterior, se describen los principales elementos y se detalla su función concreta dentro del proceso. La funcionalidad de la aplicación en su conjunto se explicará en el apartado 6.3.2. Así pues, siguiendo en todo momento el esquema de la Ilustración 6-8 de la página siguiente, se explican a continuación las características más importantes de cada elemento.

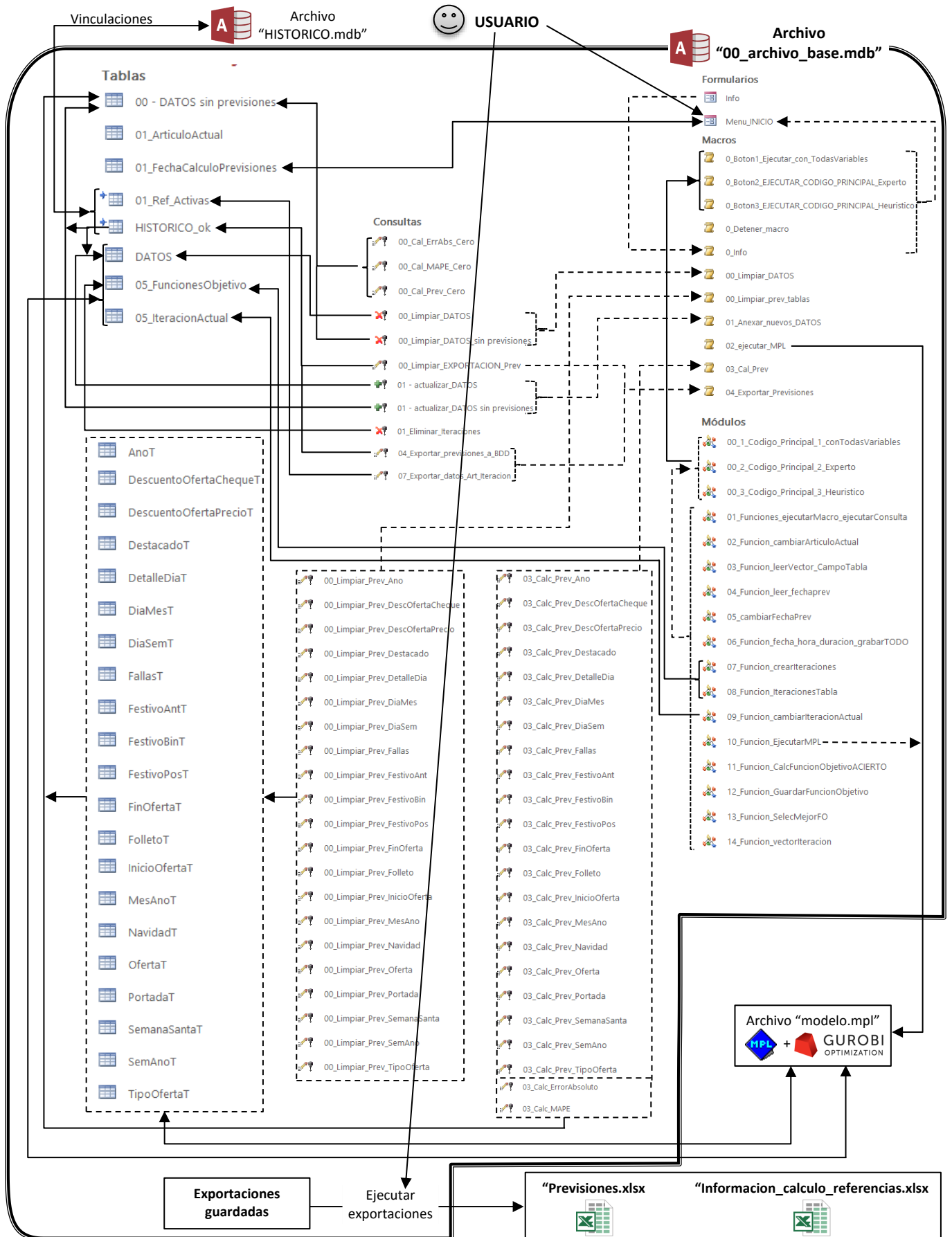


Ilustración 6-8: Esquema de los objetos y las relaciones existentes en el archivo "00_archivo_base.mdb"

El archivo “HISTORICO.mdb” proporciona las **tablas vinculadas** “HISTORICO_ok” y “01_Ref_Activas”. Recordemos que son las tablas que contienen toda la información necesaria para el proceso. La primera de ellas contiene el histórico con los registros para todas las referencias, incluyendo los valores de las variables causales para cada registro (véase en el apartado anterior la Ilustración 6-7 y sus comentarios). Además, en esta tabla se almacenarán posteriormente los datos con las previsiones calculadas. La segunda tabla contiene un listado de referencias con las características básicas del histórico de cada una de ellas. Está preparada también para recibir los datos de cálculo tal y como se comentaba anteriormente (véase en el apartado anterior la Ilustración 6-5 y los comentarios referenciados en el texto).

La **tabla “01_ArticuloActual”** contiene un solo campo con un registro a modo de indicador del código de la referencia que se está calculando en cada paso. Sirve de apoyo a otras consultas o código VBA para controlar el proceso. Se actualiza con los datos de “01_Ref_Activas” mediante la función del Módulo “02_Funcion_cambiarArticuloActual”.

La **tabla “01_FechaCalculoPrevisiones”** también contiene un solo campo con un registro. Esta tabla está incrustada en el Formulario “Menu_INICIO” y permite interactuar la aplicación con el usuario para introducir manualmente la fecha de previsiones deseada.

Las siguientes tablas que se explican más abajo son las que se relacionan con el modelo MPL. Puede verse el esquema en detalle de esta conexión en la Ilustración 6-10.

La **tabla “DATOS”** es similar a la tabla “HISTORICO_ok”. Sin embargo, esta tabla recoge los registros asociados a una sola referencia en cada paso del bucle de cálculo, en concreto, la existente para cada ciclo en “01_ArticuloActual”. Los datos que se anexan a esta tabla proceden de “HISTORICO_ok” y el proceso se realiza gracias a la consulta “01 - actualizar_DATOS”. Asimismo, esta tabla proporciona la serie histórica al modelo diseñado y programado en MPL.

05_FuncionesObjetivo												
Iteracion	DiaSemana	DiaMes	MesAno	Ano	SemanaAno	Oferta_binario	DescuentoOfertaPrecio	DescuentoOfertaCheque	TipoOferta	Folleto	Portada	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Destacado	InicioOferta	FinalOferta	FestivoBin	FestivoAnt	FestivoPos	SemanaSant	Fallas	Navidad	DetalleDia	FuncionObjetivo	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	50
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	70
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	50
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	50
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	50
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	50
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	50

Ilustración 6-9: Composición de la tabla “05_FuncionesObjetivo”. Ejemplo para una referencia con histórico inferior a 31 días.

La **tabla “05_FuncionesObjetivo”** puede verse en la Ilustración 6-9. Contiene para cada identificador de la iteración, la combinación de variables causales a considerar en cada ejecución del modelo MPL. Esta tabla se vacía con la consulta “01_Eliminar_Iteraciones” y se generan las distintas combinaciones de variables causales mediante las funciones del módulo “07_Funcion_crearIteraciones”, recordemos, disponibles en el Anexo III y, en concreto, en el apartado

III.2.7. Cabe destacar que, tal y como se observa en la citada ilustración, para un ejemplo de una referencia con histórico inferior a 31 días, si la combinación inicial que se le da de entrada a la función (que se anexará directamente a la iteración número 1) ya contiene algunas variables causales a cero, a la hora de crear las combinaciones y con objeto de evitar duplicidades, el código tiene en cuenta este hecho y genera solo las combinaciones estrictamente necesarias.

La tabla **“05_IteracionActual”** tiene una función análoga a **“01_ArticuloActual”**. En este caso, indica la iteración correspondiente a la combinación de variables causales con la que se calcula cada paso del método heurístico de selección.

Las tablas, **“AnoT”**, **“DescuentoOfertaChequeT”**,... (una tabla para cada variable causal, 21 en total) son las tablas que contienen, para cada variable causal, los valores de sus índices en uno de sus campos y, en el otro, los valores de previsión asociados a cada índice que recogerá tras la ejecución óptima del modelo MPL. Así pues, estas tablas son la base para calcular la previsión final de cada registro que, recordemos, se realiza a partir de la agregación de todas ellas.

En cuanto a las consultas, el grupo de consultas **“00_Limpiar_Prev_Ano”**, **“00_Limpiar_Prev_DescOfertaCheque”**,... (una para cada variable, 21 consultas) son las encargadas de poner a cero las previsiones asociadas a todos los índices de todas las variables en sus respectivas tablas. Se agrupan en la macro **“00_Limpiar_DATOS”** para hacer su llamada más intuitiva y dejar el código final más legible.

Las consultas **“03_Calc_Prev_Ano”**, **“03_Calc_Prev_DescOfertaCheque”**... (21 consultas) se encargan de calcular la previsión total a partir de las previsiones que se han obtenido como resultado de la optimización y que se encuentren en sus respectivas tablas. Esta consulta se podía haber realizado en un solo paso pero se ha comprobado que Access emplea demasiado tiempo en ejecutarla y, en cambio, estas 21 consultas son prácticamente instantáneas. Al igual que el conjunto anterior, se agrupan en la macro **“03_Calc_Prev”** para poder ejecutarlas todas a la vez en un solo paso. En este caso, se agrupan también las consultas **“03_Calc_ErrorAbsoluto”** y **“03_Calc_MAPE”** que son las que calculan el error absoluto en cada registro y el MAPE asociado al mismo. Obviamente, estas dos se deben hacer después de ejecutar las 21 consultas anteriores para obtener la previsión total.

Otra importante tabla es **“00 - DATOS sin previsiones”**. Tiene la misma estructura que la tabla **“DATOS”** pero, en este caso, alberga todos los registros, tanto pasados como futuros, de la referencia a calcular en cada paso (la almacenada en **“01_ArticuloActual”**). Así pues, contiene la serie histórica con los valores de las variables causales y, además, los campos para **almacenar la previsión final**, el error absoluto y el MAPE. La previsión final así como el error absoluto y el MAPE cuando los registros lo permitan (la previsión de los registros futuros que no tendrán valor de venta asociado, no se calculará) se calcula con la macro **“03_Calc_Prev”** ya comentada. Asimismo, existen otras tres consultas que actualizan a cero los valores calculados para previsión, error absoluto y MAPE. Al igual que en la tabla **“DATOS”**, esta tabla también tiene la consulta **“00_Limpiar_DATOS_sin_previsiones”** que elimina todos los registros de la tabla y la consulta **“01 – actualizar_DATOS sin previsiones”** que anexa los datos correspondientes a la referencia **“01_ArticuloActual”** en cada paso iterativo.

Por su parte, las consultas **“00_Limpiar_EXPORTACION_Prev”**, **“04_Exportar_previsiones_a_BBDD”** y **“07_Exportar_datos_Art_Iteracion”** son las que realizan el **traspaso de datos a las tablas vinculadas “01_Ref_Activas”** y **“HISTORICO_ok”**. En concreto, la

primera se asegura de poner a cero los datos de previsiones que puedan existir residualmente de cálculos anteriores en la tabla "HISTORICO_ok". La segunda consulta es la que pasa los datos de previsión desde la tabla "00 – DATOS sin previsiones" que ya tendrá almacenados los valores de previsión final a la tabla "HISTORICO_ok". La última consulta exporta los datos referentes a la combinación final de variables utilizada para el cálculo, a partir de la tabla "05_FuncionesObjetivo" que contendrá las diferentes combinaciones y "05_iteracionActual" que contendrá el indicador de la última combinación utilizada para el cálculo, anexándolos a la tabla "01_Ref_Activas". El resto de parámetros de cálculo temporales y la cuantificación del número de iteraciones totales se almacenan también en la tabla "01_Ref_Activas", directamente en cada paso del bucle desde el código VBA programado, en concreto, las funciones disponibles en el módulo "06_Funcion_fecha_hora_duracion_grabarTODO" (Anexo III – apartado III.2.6).

Como módulos principales tenemos los tres que contienen los **códigos principales de los tres métodos de cálculo**. Así pues, "00_1_Codigo_Principal_1_conTodasVariables" que a su vez se ejecuta con la macro "0_Boton1_Ejecutar_con_TodasVariables" implementa el código principal para el botón del formulario "Menu_INICIO" que permite al usuario ejecutar el cálculo sin utilizar ningún método de selección. De igual manera ocurre con los códigos para ejecutar el cálculo con los métodos de selección de variables Experto y Heurístico ("00_1_Codigo_Principal_2_Experto" y "00_1_Codigo_Principal_3_Heuristico", respectivamente). Estos tres códigos plasman en código VBA el procedimiento de cálculo conceptual que se mostraba en el capítulo anterior, en concreto en la Ilustración 5-1. Así pues, el esquema general de las tres funciones es similar y tan sólo cambia la parte correspondiente a la selección de variables. Cabe recordar que el método experto está programado para cumplir con los criterios expuestos en la Ilustración 5-2 y, por su parte, el método heurístico realiza las instrucciones necesarias siguiendo el esquema de la Ilustración 5-3. Se recuerda también que estos tres códigos, comentados línea a línea así como el resto de funciones auxiliares que utilizan, alguna de las cuales ya hemos comentado, están disponibles en el Anexo III.

6.2.2.1 Detalle de interconexión entre "00_archivo_base.mdb" y "modelo.mpl"

Como se había anunciado, en la **Ilustración 6-10** de la página siguiente se detallan las relaciones descritas anteriormente de cada tabla del archivo "00_archivo_base.mdb" con el modelo causal programado en MPL que se describió en el capítulo 5 (en concreto, en el apartado 5.4). Se comenta seguidamente.

En primer lugar el **modelo recoge los índices de los periodos temporales, "t"**, que no es más que un contador entero positivo desde el inicio de los tiempos del histórico considerado hasta la fecha máxima que se tengan datos en la tabla "DATOS" (normalmente esta fecha será el día anterior al actual que es el último día que se tienen datos completos). Además, **se pasan al modelo los índices de las variables**. Así pues, el modelo lee los índices de cada variable de su tabla correspondiente, una para cada variable (tabla "DiaSemT", campo "DiaSem"...), y los almacena en los variables internas para cada índice ("ds", "dm", "ma"...). Asimismo, el índice **"iter" almacena el campo "Iteracion" existente en la tabla "05_FuncionesObjetivo"** para posteriormente almacenar las diferentes combinatorias de variables susceptibles de ser utilizadas.

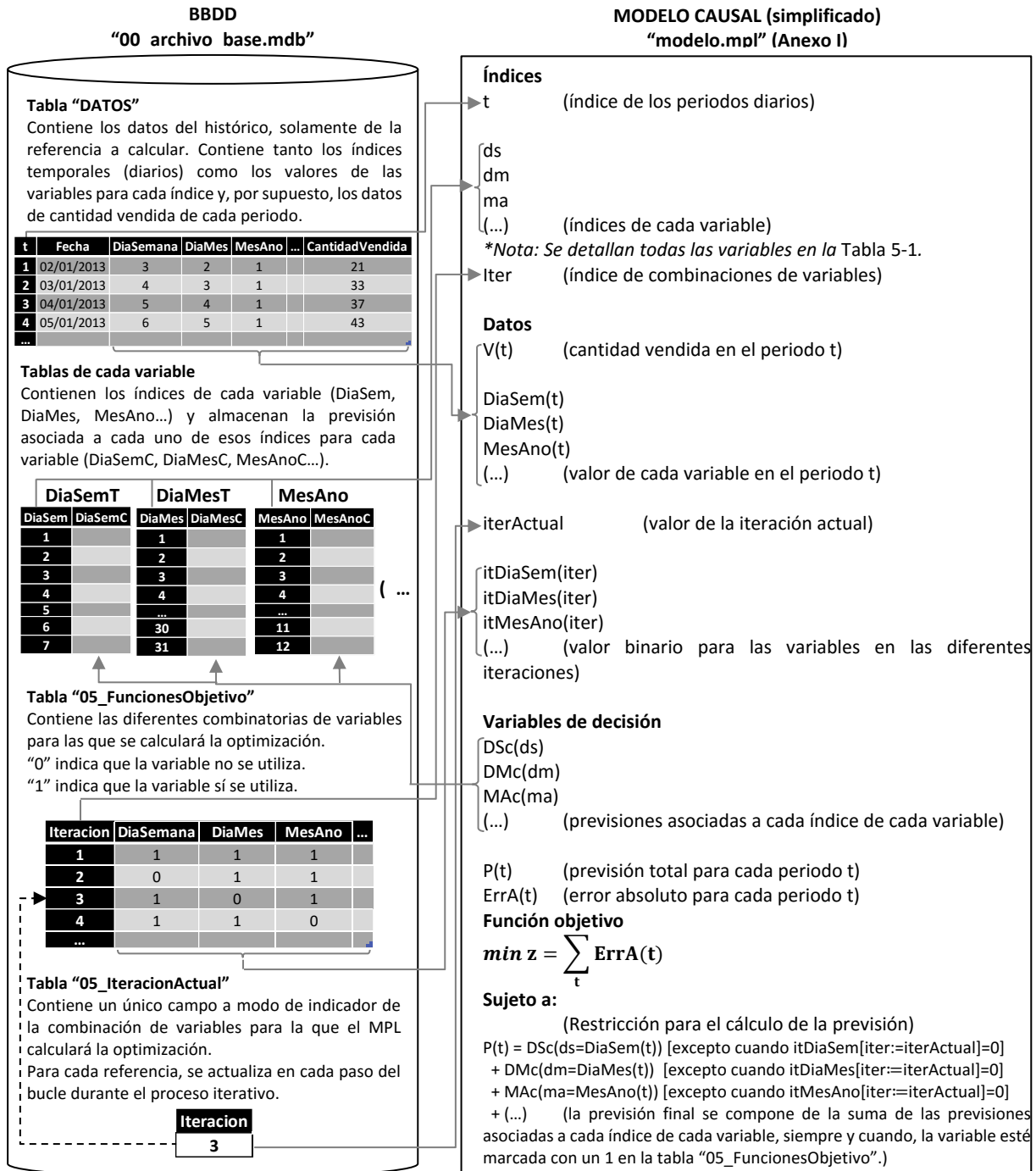


Ilustración 6-10: Detalle de la relación entre el componente "00_archivo_base.mdb" que contiene las tablas, consultas y código programado en VBA para el funcionamiento principal de la herramienta y el componente "modelo.mpl" que contiene el modelo causal programado en lenguaje MPL (Anexo I)

A continuación, el modelo recopila las series de datos necesarias para los cálculos. Por un lado, toma los **datos de históricos disponibles en la tabla "DATOS"** tanto de "CantidadVendida", almacenados en la variable "V" como los valores que adquiere cada variable en cada periodo temporal, t ("DiaSem", "DiaMes"...). De igual manera, será necesario que el modelo lea el valor que hay almacenado en la tabla con un solo campo y un solo valor **"05_IteracionActual"** que, como su nombre indica, será el valor que se irá actualizando y que indica la **iteración a calcular en ese momento** (en el

ejemplo, se calcula la iteración 3 que prescinde de la variable “DiaMes”. Es necesario, por tanto, pasar los **vectores de cada variable** disponibles en la **tabla “05_FuncionesObjetivo”** al modelo. Para ello, se leen esos datos y se almacenan en las variables “itDiaSem”, “itDiaMes”, “itMesAno”...

Finalmente se definen las **variables de decisión** que no es más que los **valores de previsión asociados a cada variable y la previsión total** que, en última instancia tras la optimización, se exportarán a la BBDD (campos “DiaSemC”, “DiaMesC”, MesAnoC”... de sus respectivas tablas). Esas variables de decisión son las que se usan en el cálculo de la previsión final a través de una restricción de igualdad.

Con la estructura anteriormente descrita, el modelo es capaz de optimizar el ajuste de la previsión para el conjunto de los periodos temporales mediante los distintos valores asociados a cada variable. Cabe destacar, que para las variables que tienen índices nulos a los que no se debe asociar previsión, en la restricción del cálculo de previsión se multiplican por el propio índice. Se consigue así asociar el valor de previsión nulo para índice nulo. Además, el modelo es capaz de utilizar en el cálculo solamente las variables que no están a cero en la tabla “05_FuncionesObjetivo” para la iteración correspondiente a tabla “05_IteracionActual”. Se controla de esa manera que sólo se utilicen las variables que se desean para el cálculo de la optimización.

6.3 Funcionalidades

6.3.1 Aplicación para importar y generar el histórico (“HISTORICO.mdb”)

El paso previo al cálculo de previsiones es la generación del histórico con los datos necesarios de las variables causales que se han definido en este TFM. Para ello se ha diseñado esta aplicación a modo de **formulario de Access**, llamdo “**MENU_INICIO**” en el archivo “HISTORICO.mdb”. El formulario en cuestión se trata simplemente de unas instrucciones con los pasos a seguir por el usuario para que el proceso de generación del histórico se calcule de forma correcta. En la Ilustración 6-11 puede verse una captura de pantalla del citado formulario.

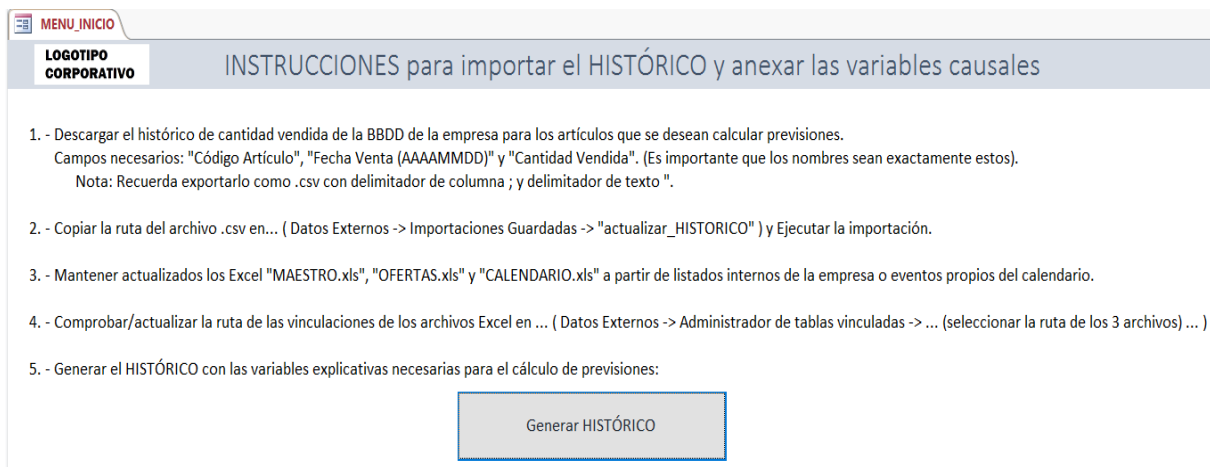


Ilustración 6-11: Pantalla de la aplicación para generar el histórico “HISTORICO.mdb”.

Los pasos a seguir por el usuario son sencillos.

1. Descargar el histórico de cantidad vendida de la BBDD de la empresa para los artículos que se desean calcular previsiones.

Campos necesarios: "Código Artículo", "Fecha Venta (AAAAMMDD)" y "Cantidad Vendida". (Es importante que los nombres sean exactamente estos).

Nota: Recuerda exportarlo como .csv con delimitador de columna ; y delimitador de texto "

En el primer paso se dan las pautas para descargar el histórico desde las BBDD de la empresa, incluyendo una nota recordatoria referente al formato. El archivo descargado puede llamarse de cualquier forma.

2. Copiar la ruta del archivo .csv en... (Datos Externos -> Importaciones Guardadas -> "actualizar_HISTORICO") y Ejecutar la importación.

A través de los menús de Access para las importaciones guardadas, se actualiza en la única importación guardada existente de nombre "actualizar_HISTORICO", la ruta del archivo, incluyendo el nombre y la extensión. La importación anexa los datos del archivo .csv a la tabla HISTORICO. Los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta para definir esta importación son los siguientes:

- La importación debe ser de creación de tablas y, en concreto, en la tabla con nombre HISTORICO.
- La codificación del archivo es UTF-8.
- El calificador de texto (todos los campos se importan como texto) debe ser la comilla doble (")
- El calificador de columna será el punto y coma (;).
- No se requieren claves principales ni encabezados adicionales.

3. Mantener actualizados los Excel "MAESTRO.xls", "OFERTAS.xls" y "CALENDARIO.xls" a partir de listados internos de la empresa o eventos propios del calendario.

El procedimiento para mantener estos archivos ya se ha explicado anteriormente. Los tres archivos funcionan como vinculación y es muy importante que conserven su nombre y su extensión tal y como están diseñados.

4. Comprobar/actualizar la ruta de las vinculaciones de los archivos Excel en ... (Datos Externos -> Administrador de tablas vinculadas -> ... (seleccionar la ruta de los 3 archivos) ...)

Los tres archivos anteriores pueden localizarse en cualquier lugar del equipo siempre y cuando se actualicen las vinculaciones de los mismos en el archivo Access "HISTORICO.mdb"

5. Generar el HISTÓRICO con las variables explicativas necesarias para el cálculo de previsiones:

Se insta al usuario, una vez completados los pasos anteriores, a pulsar el botón para generar previsiones. El usuario recibirá un mensaje de confirmación que le permitirá seguir con el proceso (que puede tardar varios minutos) o salir sin generar el histórico.

De continuar con el proceso y salvo los posibles errores que se comentarán a continuación, se procederá a crear el histórico necesario con las variables causales. Esto es, se tomarán los

datos importados desde las BBDD de la empresa (serie histórica de venta para cada referencia, información relativa a las ofertas y listado maestro de referencias) y, junto con los archivos vinculados que poseen los datos referentes a las variables causales (“CALENDARIO.xls” y “OFERTAS.xls”) se creará la tabla “HISTORICO_ok” que contendrá la serie histórica de todas las referencias con los índices de las variables causales asociados a cada registro. Asimismo, no sólo se hará este proceso para registros pasados sino que se generarán registros futuros (que obviamente no tendrán datos de venta asociados) con los datos de las variables causales asociados a cada referencia para cada fecha futura.

A la hora de ejecutar este paso, el usuario puede recibir diferentes mensajes de error debido al mal mantenimiento del archivo secundario “CALENDARIO.xls” que es vital para el buen funcionamiento de la aplicación.

- En el caso de que la fecha mínima mantenida en CALENDARIO.xls sea superior a la fecha mínima del histórico cargado, se avisa al usuario de que sólo se cargarán registros a partir de la fecha mínima mantenida en CALENDARIO ya que, en caso contrario, no se tendrían datos sobre los eventos de CALENDARIO. Se pregunta al usuario si desea continuar, informándole de las fechas en cuestión.
- En el caso de que la fecha máxima mantenida en CALENDARIO.xls sea inferior a la fecha máxima del histórico cargado, se avisa al usuario de que no se cargarán registros ya que no hay información sobre eventos de calendario futuros. Como normalmente las previsiones se deberán calcular a futuro a partir de la fecha máxima del histórico, no se deja continuar hasta que el usuario no añada datos futuros de calendario. Se avisa al usuario que debe mantener el archivo CALENDARIO.xls informándole de las fechas en cuestión y termina la ejecución.
- En el caso de que la fecha máxima mantenida en CALENDARIO.xls sea mayor a la fecha máxima del histórico cargado, pero sea inferior a 60 días, se avisa al usuario de que es probable que se necesiten más registros de fecha para calcular las previsiones hasta, al menos, 60 días después de la fecha máxima del histórico. Se permite al usuario continuar si así lo desea pero se le informa de las fechas en cuestión.

Los datos de variables causales referentes a ofertas no se comprueban por su excesiva complejidad. Podría plantearse como línea futura o mejora a proponer en el plan de implantación real.

6.3.2 Aplicación para el cálculo de previsiones (“00_archivo_base.mdb”)

De manera análoga al caso anterior, el componente principal de cálculo de previsiones “00_archivo_base.mdb” dispone de una pantalla de inicio creada a través de formulario. En la misma se enumeran los diferentes pasos que debe realizar el usuario para calcular correctamente las previsiones. En este caso, el archivo “00_archivo_base.mdb” debe encontrarse en la ruta D:\ o C:\ junto con el archivo “modelo.mpl” y el ejecutable del software de MPL. Se muestra una captura de pantalla del aspecto de la aplicación en la Ilustración 6-12.

Menú Inicio

LOGOTIPO CORPORATIVO

Menú INICIO - Cálculo de Previsiones

1. - Generar el Histórico mediante el Access "HISTORICO.mdb".
2. - Comprobar/actualizar la ruta de las vinculaciones de las dos tablas necesarias del archivo "HISTÓRICO.mdb" en ... (Datos Externos -> Administrador de tablas vinculadas -> ... (seleccionar la ruta del archivo para las dos vinculaciones) ...)
3. - Asegurarse de tener este archivo nombrado como "00_archivo_base.mdb", el archivo "modelo.mpl" y el ejecutable "Mplwin.exe" en la unidad de disco D:\. También funciona en la unidad de disco C:\ pero hay que asegurarse que se ha cambiado en el módulo VBA "03_Funcion_EjecutarMPL" la línea correspondiente que se indica en los comentarios.
4. - Calcular previsiones a partir de la fecha deseada mediante el método que se prefiera (seleccionar la fecha y, a continuación, pulsar el botón correspondiente).

NOTA: Para más info, clic en el siguiente botón:

Fecha a partir de la cual se calcularán previsiones (incluida):

1. Calcular previsiones con TODAS las variables	2. Calcular previsiones con el MÉTODO EXPERTO	3. Calcular previsiones con el MÉTODO HEURÍSTICO
---	---	--

(pulsar en "Finalizar" y "Detener todas las macros" en las ventanas emergentes)

5. - Exportar previsiones. Hay que ejecutar dos exportaciones guardadas... (Datos Externos -> Exportaciones guardadas -> ... (actualizar la ruta donde se quieren guardar los dos archivos de salida para las exportaciones: "Exportacion_Previsiones_Historico_OK" y "Exportacion_InformacionDelCalculo") ...
 "Exportacion_Previsiones_Historico_OK": Exporta las previsiones diarias de las referencias calculadas tanto a pasado como a futuro.
 "Exportacion_InformacionDelCalculo": Exporta para cada referencia el método de cálculo, la fecha de cálculo de previsiones, el tiempo empleado en el cálculo y la combinación de variables utilizada en la previsión final.

Ilustración 6-12: Pantalla de aplicación para el cálculo de previsiones.

Como puede verse, también dispone de una serie de pasos que se comentan a continuación.

1. Generar el Histórico mediante el Access "HISTORICO.mdb".

Mediante la aplicación diseñada y explicada en el apartado anterior.

2. Comprobar/actualizar la ruta de las vinculaciones de las dos tablas necesarias del archivo "HISTÓRICO.mdb" en ... (Datos Externos -> Administrador de tablas vinculadas -> ... (seleccionar la ruta del archivo para las dos vinculaciones) ...)

Habrà que comprobar las vinculaciones de las tablas "HISTORICO_ok" y "01_Ref_Activas".

3. Asegurarse de tener este archivo nombrado como "00_archivo_base.mdb", el archivo "modelo.mpl" y el ejecutable "Mplwin.exe" en la unidad de disco D:\. También funciona en la unidad de disco C:\ pero hay que asegurarse que se ha cambiado en el módulo VBA "10_Funcion_EjecutarMPL" la línea correspondiente que se indica en los comentarios.

Generalmente se necesita una ruta sin espacios pero se ha probado de diferentes maneras y la única forma que se ha conseguido hacer funcionar es tenerlo almacenado en D:\.

Botón "mas info": Proporciona información sobre las variables causales del modelo así como de los tres botones de cálculo de previsiones.

4. Calcular previsiones a partir de la fecha deseada mediante el método que se prefiera (seleccionar la fecha y, a continuación, pulsar el botón correspondiente al método de selección de variables.).

El usuario deberá introducir (o seleccionar en el calendario asociado al registro) la fecha desde la cual quiere calcular previsiones. En este punto es interesante destacar que el usuario recibirá inicialmente una información general sobre el cálculo para preguntarle si desea continuar. Se muestra el cuadro de diálogo de ejemplo en la Ilustración 6-13.

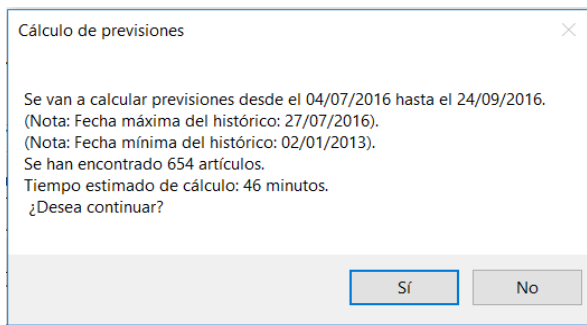


Ilustración 6-13: Detalle del cuadro de texto inicial para indicar al usuario las características generales de lo que será el cálculo de previsiones.

Se ofrece también al usuario un botón que detenga el cálculo por si no desea seguir realizando el cálculo. En este caso, el proceso se detendrá (detendrá todas las macros y código VBA en ejecución) y conservará los artículos que se hayan calculado hasta ese momento (una vez detenido el proceso se pueden consultar en la tabla vinculada "01_Ref_Activas" para comprobar la fecha y hora de cálculo de la última ejecución).

5. Exportar previsiones. Hay que ejecutar dos exportaciones guardadas...

(Datos Externos -> Exportaciones guardadas -> ... (actualizar la ruta donde se quieren guardar los dos archivos de salida para las exportaciones: "Exportacion_Previsiones_Historico_OK" y "Exportacion_InformacionDelCalculo") ...

- "Exportacion_Previsiones_Historico_OK": Exporta las previsiones diarias de las referencias calculadas tanto a pasado como a futuro.
- "Exportacion_InformacionDelCalculo": Exporta para cada referencia el método de cálculo, la fecha de cálculo de previsiones, el tiempo empleado en el cálculo y la combinación de variables utilizada en la previsión final.

A través de estas exportaciones se generan dos archivos, uno con las previsiones propiamente dichas y otro con los datos del cálculo y las variables causales utilizadas en la optimización para cada referencia. El usuario debe cambiar la ruta de destino, incluyendo en ella el nombre del archivo que desea generar. La exportación es necesaria para poder almacenar los datos de previsión y así poder comparar entre métodos con frente a los datos de la empresa.

6.4 Consideraciones finales

A través de esta herramienta se pretende ofrecer una posible arquitectura y programación para dar cabida a todos los procesos considerados en la metodología conceptual del capítulo 5. Es decir, este capítulo tiene como objetivo que cualquier persona con conocimientos básicos de programación y BBDD sea capaz de crear y diseñar desde cero su propia herramienta.

Sin embargo, el diseño de la herramienta que se propone en este TFM está concebido para evolucionar las funcionalidades en un futuro. Así pues, aunque se expondrá en el apartado de líneas futuras, se podrían incorporar diferentes opciones a la interfaz con el usuario como, por ejemplo, un filtro o selector de referencias de las que se quiere realizar el cálculo de previsiones, un selector de la fecha más antigua del histórico que se quiere considerar, entre otras. De igual manera, se podría desarrollar una funcionalidad de post-tratamiento que permita consultar los resultados de la previsión.

7 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN A UN CASO REAL

7.1 Introducción

En el presente capítulo se **validará el funcionamiento de la herramienta propuesta aplicándola a una importante empresa española del sector de la distribución y venta al por menor de productos alimenticios**. Para delimitar el problema, se identificará en primer lugar una familia sobre la cual aplicar la metodología propuesta. A continuación, se compararán los resultados de previsión obtenidos mediante la metodología y la herramienta diseñada con los tres métodos de selección de variables propuestos, analizando brevemente su viabilidad. Finalmente, se realizará el contraste de estos resultados de previsión con los pronósticos que realiza la empresa actualmente para verificar si se mejora la calidad de las previsiones y, por tanto, se reduce el error de previsión.

7.2 Identificación de la familia objeto de análisis

Para validar el funcionamiento de la herramienta de previsión causal diseñada, el primer paso es seleccionar una familia o grupo de referencias sobre las que hacer el estudio. Para estimar unos resultados que puedan reflejar un comportamiento análogo al total del área de frescos y refrigerados, se ha seleccionado una sección completa de las once en las que se divide. En concreto se ha **escogido la sección de charcutería libre servicio** atendiendo a los criterios que se explican seguidamente. Además, se ha elegido solamente una de las **plataformas**, en concreto la de **Valencia**.

El **primer criterio** que se tiene en cuenta es el de seleccionar la sección que más **peso porcentual en venta** tiene habitualmente sobre el total de las secciones. En este caso, la sección de charcutería libre servicio encabeza el ranquin de venta sobre el resto de secciones con más de un 20% sobre el total del área de frescos y refrigerados. Asimismo, de entre las tres **plataformas, la de Valencia es la que da servicio a un mayor número de tiendas**, en concreto, a más de la mitad de ellas. La plataforma de Valencia, además, es una de las más antiguas y los problemas de espacio son comunes en épocas con mayor volumen de venta como es la estival.

En **segundo lugar**, siguiendo con el anterior razonamiento, la sección de charcutería libre servicio es la que **mayor número de referencias** trabaja, en torno a un 19% sobre el conjunto de las once secciones con más de 3700 referencias activas en total. Como es de esperar, trabajar con registros diarios para el total de artículos (tomando, por ejemplo, 3 años de histórico $\rightarrow 3 \text{ años} \cdot 365 \text{ registros diarios} \cdot 3700 \text{ referencias} \cdot 3 \text{ plataformas} = 12.154.500 \text{ registros}$), supondría una cantidad ingente de registros a tratar y de ahí la necesidad de acotar el problema a una sección y una plataforma (aproximadamente, $3 \text{ años} \cdot 365 \text{ registros diarios} \cdot 700 \text{ referencias} \cdot 1 \text{ plataforma} = 766.550 \text{ registros}$, que incluso podrían tratarse en una hoja Excel).

El **tercer y último criterio** que hace la sección de charcutería envasada susceptible de ser estudiada es que **la empresa ya realiza previsiones** de la mayor parte de sus referencias. Asimismo, esta sección constituye una de las más activas en cuanto al uso de la herramienta de previsión que posee la empresa se refiere. En torno al 20% de pedidos se realizan consultando las previsiones que genera la herramienta GPO que, impactantemente, está por encima de la media que se sitúa sobre el 15% tal y como ya se ha recalado en el capítulo de estudio de la problemática. Con esto, se tiene una fuente de datos para las previsiones de la empresa que pueden ser comparadas con las obtenidas en

este TFM. Cabe destacar, como último comentario, que actualmente el área de frescos y refrigerados de la empresa sólo realiza previsiones en 6 de sus 11 secciones. Esto último se debe, fundamentalmente, a los diferentes métodos de gestión que llevan a cabo los responsables de cada sección y, también, a la manera en la que está disponible la información tal y como se comentará en el apartado de viabilidad.

7.3 Análisis de los resultados

Inicialmente, antes de mostrar los resultados, se debe concretar los datos que se van a comparar y de qué manera se hará. El análisis se hará para la familia escogida (charcutería libre servicio). Como denominador común, el histórico utilizado va desde el 01/01/2013 hasta el 27/07/2016. Además, las previsiones se calcularán desde el día 04/07/2016 hasta 60 días posteriores a la fecha máxima del histórico (25/09/2016). Por tanto, sólo se valorarán las previsiones desde el 04/07/2016 al 27/07/2016. Se utilizará el **error de previsión *MAPE* diario de acierto**. Se ha escogido este error puesto que es con el que trabaja la empresa para calcular su nivel de acierto en las previsiones, sobre todo, en proyectos colaborativos de previsión con proveedores. Además, el *MAPE* es sencillo de calcular y permite analizar un conjunto agregado de referencias fácilmente trabajando con tablas dinámicas en Excel y agregando el *MAPE* diario por promedio.

Dado que el *MAPE* tiene el inconveniente de tomar valores desorbitados cuando la demanda real tiende a cero, se eliminarán del análisis los domingos ya que es la manera habitual de trabajar en la empresa (sea cual sea la previsión para el domingo se tomará igual a cero y no se incluirá en la valoración de las previsiones). Además, puesto que las herramientas de la empresa no ofrecen los datos de error de ajuste, no se pueden comparar estos y la comparación solamente puede hacerse con errores de acierto. Para ello, el alumno ha debido exportar y almacenar tanto las previsiones de la empresa en el pasado como las salidas con las que poder calcular el error de acierto posteriormente. Recordemos que los datos de previsión no se almacenan históricamente y era una de la problemática detectada en el capítulo 3.

Bajo estas premisas, se analizan en sendos apartados, de un lado la comparativa entre los 3 métodos de selección de variables en lo que respecta a su error de previsión para la que se considerarán todos los artículos calculados y, del otro, la comparativa entre las previsiones obtenidas con la herramienta diseñada en este TFM y las que actualmente realiza la empresa.

7.3.1 Comparación de los diferentes métodos de selección de variables

En este apartado se **analizan los resultados de previsión con la herramienta a través de los tres métodos de selección de variables causales propuestos**. Se comparará el error en la previsión para los tres métodos, agrupando las referencias en los diferentes casos en los que se ha dividido el histórico por sus características. Asimismo, se analizará qué variables causales son las que mejores previsiones ofrecen y cuáles son candidatas a salir del modelo por incrementar el error en la previsión. Para esto último, se valorará el % de utilización de cada variable mediante la comparación entre el método heurístico y el experto.

7.3.1.1 Análisis de las previsiones

La Tabla 7-1 recoge el *MAPE* promediado para todas las referencias calculadas con cada método, distinguidas por los diferentes casos en los que se ha dividido el histórico para los procesos de selección de variables y cálculo de previsiones.

Tabla 7-1: Comparativa del error en la previsión (*MAPE*) de los diferentes métodos de previsión (filas) para cada agrupación de referencias dependiendo de su histórico (columnas).

	Caso 1: Histórico superior a 365 días		Caso 2: Histórico inferior a un año		Caso 3: Histórico inferior a 31 días		Total Artículos analizados	Total Promedio de <i>MAPE</i>
	Artículos analizados	<i>MAPE</i>	Artículos analizados	<i>MAPE</i>	Artículos analizados	<i>MAPE</i>		
1. Previsiones con Todas las Variables*	484	21,04%	104	122,09%	17	66,58%	605	39,66%
2. Previsiones con Método Experto	484	21,07%	104	66,66%	17	28,31%	605	29,10%
3. Previsiones con Método Heurístico	484	18,58%	104	33,04%	17	26,98%	605	21,30%

*Nota: Para el método de cálculo de previsiones con todas las variables, no existe diferenciación de referencias según su histórico pero para este estudio se han dividido de esa manera para poder compararlas con los otros dos métodos.

A partir de la anterior tabla se puede analizar que **el método de selección heurístico es el que mejor previsiones ofrece en todos los casos (21,30% de *MAPE*)**, reduciendo en un 7,80% el *MAPE* del segundo mejor método, el que realiza una selección experta (29,10%). A continuación, el método experto mejora en general al método calculado con todas las variables, reduciendo el error total en más de un 10% (de un 39,66% con Todas las Variables a un 29,10% con el Método Experto). Cabe destacar que los artículos analizados, 605 (Tabla 7-1) no coinciden con el total de artículos del histórico calculados, 620 (Tabla 7-5). Esta diferencia se debe a aquellos artículos que figuran como de alta en el maestro de referencias de la empresa y que, además, tienen histórico en el periodo considerado pero actualmente no tienen salidas y no se ha detectado ningún registro de venta entre el 04/07/2016 y el 28/07/2016, ambos incluidos. Por tanto, no se puede analizar su acierto en ese periodo (aunque, tal y como está diseñado el algoritmo, se habrán generado registros a partir del último día de histórico y se calcularán previsiones a partir del 29/07/2016). Puede parecer contradictorio que el artículo esté de alta y no tenga registros de venta en las últimas fechas pero normalmente se debe a reincorporaciones que comienzan de nuevo a trabajarse y que, por tanto, necesitarían previsiones de venta (aunque el método genere previsiones normalmente, obviamente, habría que revisarlas dependiendo del tiempo que lleven de baja ya que podría haber cambiado su comportamiento, sobre todo, si llevan demasiado tiempo de baja). Otra opción de que ocurra esto es que no esté bien mantenido el listado maestro y permanezcan referencias de alta que realmente no se están trabajando actualmente.

Analizando los diferentes casos del histórico, se puede destacar que los **errores de previsión** para el caso del histórico con mayor número de registros (**mayor a 365 días**) son **similares** para los **tres métodos (21,04%, 21,07% y 18,58% para los tres métodos respectivamente)** y son, en todo caso, **menores a sus respectivos valores medios (39,66%, 29,10% y 21,30%)**. Además, se obtienen errores de previsión muy similares para el caso de histórico superior a un año entre el método sin eliminar variables (21,04%) y el método experto (21,07%) tal y como era de esperar. Que el error sea ligeramente superior en el método de selección experta se debe, simplemente, a que cada optimización ejecutada con el MPL no converge a una solución idéntica sino que pueden existir

diferentes soluciones óptimas. De ahí que los valores sean ligeramente diferentes aunque, en la práctica, ofrecerán errores similares ya que el número de variables consideradas son las mismas (o, si se eliminan algunas variables en el método experto no aportan información adicional y debería converger la optimización a una solución similar). En cuanto al resto de casos, cabe destacar que el nivel de **acierto es mayor** en el caso del **histórico más corto, inferior a 31 días (66,58%, 28,31% y 26,98%, respectivamente)** (aunque solamente se analizan 17 artículos) **que el del histórico inferior a un año** (122,09%, 66,66% y 33,04%). Normalmente, cuantos más datos históricos se tienen, las previsiones suelen ser más acertadas como es el caso del histórico superior a un año pero este comportamiento previsiblemente anómalo puede deberse a que el caso intermedio (histórico entre 31 y 365 días) deba revisarse en lo respectivo a las variables causales que se utilizan. Cabe destacar que hay una significativa diferencia para este caso, histórico inferior a un año, entre los métodos con Todas las Variables (122,09%) y Método Experto (66,66%), reduciéndose el error casi a la mitad. Asimismo, el Método Heurístico (33,04%) vuelve a reducir el error más de la mitad que el Método Experto. Queda demostrado en los resultados la teoría de que una mala selección de variables puede llevar a aberraciones en las previsiones, haciéndolas inaceptables tal y como es el caso de históricos inferiores a un año calculando previsiones con Todas las Variables (122,09% de *MAPE*)

Como último comentario sobre este tema, aunque no se aprecie en la anterior tabla, a la hora de analizar los datos a nivel diario, nos hemos dado cuenta de la teoría que ya citábamos a la hora de establecer los criterios de selección. Así pues, se han encontrado 6 de los 22 días en los que se han calculado previsiones en los que todas las referencias con **histórico menor a 31 días** calculadas con **todas las variables causales (sin método de selección)** tenían asociadas una **previsión igual a cero** y, por tanto, un *MAPE* del 100%. De igual manera, el ***MAPE* de ajuste de los días previos al 04/07/2016 era 0%** (se ajustaban todos los modelos de todas las referencias perfectamente pero, en cambio, no asociaban ningún valor de previsión a las variables causales futuras). Este era uno de los principales problemas que se querían solventar con el método experto de selección y confirmado queda a través de la Tabla 7-1 en la que se observa que, para el Método Experto, el error es un 28,31% para los históricos menores a 31 días, un 38,27% menor que el de la previsión calculada con Todas las Variables (66,58%) y muy cerca del valor asociado al Método Heurístico (26,98%).

7.3.1.2 Análisis de las variables utilizadas con el método heurístico

Para analizar el funcionamiento del método heurístico de selección de variables, se plantea **analizar las variables que mejores previsiones proporcionan**. Para ello, en la Tabla 7-2 se pueden ver, en filas, todas las variables causales que se han tenido en cuenta en este TFM y, en columnas los distintos casos en los que se ha dividido el histórico para realizar el proceso de selección experto, inicialmente, y heurístico después. Los valores que cuelgan de la citada tabla representa el **porcentaje de utilización de cada variable en el método heurístico**. Se calcula como el número de veces que la variable ha entrado en el cálculo, es decir, el número de veces que la variable ha estado en la combinación de variables que se ha utilizado en la optimización final, dividido entre el número total de veces que podría haberse considerado, esto es, el número de veces utilizada en el método experto.

Se han resaltado en negrita las **variables que mejor explican la variación de la demanda**, o en otras palabras, las variables que mayor acierto ofrecen en las previsiones cuando son consideradas en el cálculo. Destacan positivamente el porcentaje de uso de las **variables referentes a la oferta**

(DescuentoOfertaCheque (94,6%), TipoOferta (98,7%), Folleto (93,3%), Portada (98,2%), Destacado(99,5%)) y la variable DiaSem (92,9%) como variable temporal. Por categorías, también destacan las mismas variables de oferta enumeradas para los casos en las que pueden ser consideradas (histórico mayor a 31 días: Casos 1 y 2) y, como variables de calendario, para el caso 2 (histórico inferior a un año) las variables Detalle_Dia (94,3%) y FestivoPost (96,2%). Destacan esas dos últimas variables también para el caso3, con históricos inferiores a 31 días, y la variable **DiaSem para históricos mayores a un año (94,6%)**.

Sombreadas en gris tenemos las que **destacan negativamente y podrían ser propuestas para eliminarse a priori de los cálculos** en los diferentes casos. En tonos más oscuros, las que menos se utilizan. Destacan negativamente en este caso, sobre todo, la variable **DiaMes para históricos inferiores a un año (caso 2)** con tan solo un 20% de veces utilizada. También, la variable **Oferta_binario** que, recordemos, es la única variable de ofertas que se utiliza para **históricos inferiores a 31 días** parece no aportar información útil para el acierto de las previsiones (42,9% de veces utilizada). Este último hecho podría indicar que, realmente, cuando un artículo es de reciente incorporación, que tenga una oferta no es significativo. Remarcando las variables que empeoran el acierto para **históricos superiores a 365 días (caso 1)** tenemos, como primera candidata a salir de los cálculos la variable **SemanaAño (74,1%)**. Destacando negativamente está la variable de oferta **InicioOferta (75,2%)** y las variables temporales **DiaMes (75,5%) y MesAño (80,1%)**.

Tabla 7-2: Porcentaje de utilización de cada variable. Se calcula como el número de veces que la variable se ha utilizado en el método heurístico dividido entre el número de veces total que podría haberse considerado, que corresponde con el número de veces que se ha utilizado en el método experto. Dependiendo del tipo de histórico las variables marcadas como "NO" son las que no se utilizan para esos casos.

Variable/Método Cálculo	Caso 1: Histórico superior a 365 días	Caso 2: Histórico inferior a un año	Caso 3: Histórico inferior a 31 días	Total general
DiaSem	94,6%	88,6%	70,6%	92,9%
Detalle_Dia	86,1%	94,3%	100,0%	87,9%
Oferta_binario	92,3%	78,1%	42,9%	89,7%
InicioOferta	75,2%	65,6%	NO	73,9%
FinalOferta	84,9%	78,1%	NO	84,0%
DiaMes	75,5%	20,0%	NO	65,8%
FestivoBin	88,2%	86,7%	58,8%	87,1%
FestivoAnt	82,7%	86,7%	58,8%	82,7%
FestivoPost	82,7%	96,2%	76,5%	84,8%
SemanaSanta	82,5%	91,4%	NO	84,1%
Fallas	85,9%	88,6%	NO	86,4%
Navidad	84,9%	91,4%	NO	86,1%
DescuentoOfertaPrecio	86,8%	91,3%	NO	87,4%
DescuentoOfertaCheque	94,2%	97,8%	NO	94,6%
TipoOferta	98,8%	97,8%	NO	98,7%
Folleto	92,7%	97,8%	NO	93,3%
Portada	98,0%	100,0%	NO	98,2%
Destacado	99,4%	100,0%	NO	99,5%
Año	83,7%	NO	NO	83,7%
MesAño	80,1%	NO	NO	80,1%
SemanaAño	74,1%	NO	NO	74,1%

El comportamiento analizado parece ser razonable. Por ejemplo, en cuanto a la variable **DiaMes**, se hace difícil pensar que cada uno de los días del mes se compre la misma cantidad o que, al menos, guarden alguna relación. Además, los meses no tienen todos el mismo número de días y los valores asociados a esta variable, al no guardar relación con un posible patrón real, empeoran las previsiones (no todos los días 1 de cada mes se compra lo mismo, ni los días 2..., además, cada mes se asociará un día distinto a los domingos que romperán los esquemas de cualquier valor medio que pudiera salvar el buen funcionamiento de esta variable). Similar ocurre con la variable **SemanaAño** o, incluso, sorprendentemente con la variable **MesAño**. Los efectos del cambio de semana entre semanas y meses distintos para cada año **perjudican el uso de estas variables como variables causales**. Asimismo, una tendencia, por ejemplo, creciente, sería difícilmente modelable con variables causales ya que estos modelos no detectan las tendencias.

Por el contrario, las variables que mejor explican el comportamiento de la demanda se justifican como sigue. Para el caso del **histórico inferior a 31 días**, la variable **Detalle_Dia** (0=Cerrado, 1=Abierto...) parece **la más indicada** para ofrecer un valor base estable a modo de valor medio de la demanda de los pocos registros históricos que se tienen. Esta misma variable también tiene un elevado uso para **históricos inferiores a un año**, acompañado de las **variables de oferta**. Finalmente, destacar también el elevado porcentaje de la variable **DiaSem** que indica que el patrón semanal de lunes a sábado suele seguir una ciclicidad (todos los lunes se compra similar, todos los martes...).

7.3.2 Comparación de las previsiones calculadas en el TFM con las calculadas por la empresa

El último análisis, que confirmará si la herramienta es viable en lo que respecta a la calidad de las previsiones, es la comparativa con las previsiones de la empresa. En este caso, sólo se tienen en cuenta en el análisis aquellas referencias para las que la empresa realiza previsiones (Tabla 7-3). Es por ello que los valores de error que muestra la citada tabla no coinciden con los de la Tabla 7-1 aunque cabe decir que son similares.

Tabla 7-3: Comparativa del error en la previsión (MAPE) de la empresa con los diferentes métodos de previsión (filas) para cada agrupación de referencias dependiendo de su histórico (columnas).

	Caso 1: Histórico inferior a 31 días		Caso 2: Histórico inferior a un año		Caso 3: Histórico superior a 365 días		Total Artículos analizados	Total Promedio de MAPE
	Artículos analizados	MAPE	Artículos analizados	MAPE	Artículos analizados	MAPE		
PREVISIONES EMPRESA*	10	132,35%	52	53,95%	274	45,71%	336	51,07%
1. Previsiones con Todas las Variables*	10	65,62%	52	116,54%	274	19,69%	336	36,06%
2. Previsiones con Método Experto	10	29,31%	52	95,74%	274	22,85%	336	34,27%
3. Previsiones con Método Heurístico	10	27,73%	52	37,97%	274	17,36%	336	20,86%

**Nota: Para el método de cálculo de previsiones de la empresa y con el método con todas las variables, no existe diferenciación de referencias según su histórico pero para este estudio se han dividido de esa manera para poder compararlas con los otros dos métodos.*

En líneas generales, las **previsiones que realiza la herramienta son mejores que las que realiza la empresa**. El peor método, con Todas las Variables (36,06%), reduce el error de previsión en un 15,02% con respecto a las previsiones de la Empresa (51,07%) . Valor similar se obtiene con el Método Experto

(34,27% de *MAPE*). Reduciendo más de la mitad el error de previsión de la Empresa tenemos el Método Heurístico con un 20,86%, un 30,21% inferior a ese 51,07% calculado para las previsiones de la empresa bajo las mismas condiciones.

Procediendo **al análisis por categorías**, con la **herramienta del TFM se reduce el error en prácticamente todas las categorías** excepto para históricos comprendidos entre 31 y 365 días en los que los Métodos Experto (95,74%) y el que se calcula con Todas las Variables (116,54%) tienen un error superior al que obtienen la Empresa (53,95%). En cambio, para esa misma categoría (histórico inferior a un año), con el Método Heurístico se obtienen mejores resultados que la empresa (37,97%). Cabe destacar los **buenos resultados que se obtienen con los tres métodos para históricos mayores a un año, mejorando más del doble el error de la empresa en todos los casos (19,69%, 22,85% y 17,36% con los Métodos con Todas las Variables, Experto y Heurístico, respectivamente, sobre un 45,71% de error de previsión de la Empresa)**. En este caso, se acentúa aún más esas diferencias que comentábamos en el apartado anterior entre los errores para el Método Experto (22,85%) y el método sin selección de variables (22,85%) para históricos superiores a un año. Que el método experto obtenga un error ligeramente superior se debe a que la misma solución óptima puede converger a valores diferentes de previsión asociados a cada variable. De ahí que, casualmente en este caso concreto, se asocie un error superior al método experto con respecto al método sin selección cuando, en la mayoría de los casos deberían obtenerse valores similares puesto que las combinaciones de variables utilizadas para históricos mayores a un año son las mismas (si se elimina alguna variable en el método experto para ese caso es porque no aporta información adicional). Resaltar, por último, que para **históricos muy cortos**, la **empresa obtiene unos errores inaceptables 132,35% de *MAPE*** y, sin embargo, **con el peor método de nuestra herramienta (sin eliminar variables), ya se mejora más de la mitad (65,62% de *MAPE*)**, siendo la mejora más sustancial con los métodos experto (29,31%) y heurístico (27,73%).

7.4 Eficiencia computacional: análisis de viabilidad

En este apartado se analizará, en primer lugar, el tiempo de cálculo empleado por la herramienta de previsión para sus tres métodos de selección de variable, obtenido para la sección de charcutería al corte y extrapolado después para el resto de las secciones. En segundo lugar se comparará con los tiempos utilizados actualmente por la empresa para el cálculo de previsiones para analizar la viabilidad en términos de tiempo de computación.

7.4.1 Tiempos de cálculo para la previsión con la herramienta

En este apartado se analizará el tiempo de cálculo empleado por la herramienta para realizar la previsión con objeto de comprobar si cumpliría las posibles restricciones reales de cálculo en la empresa en lo respectivo al tiempo de computación. En primer lugar, hay que dejar claro que **todos los tiempos** que se han calculado **incluyen** tanto el **tiempo de resolución óptima del modelo** como el **tiempo empleado en realizar el resto de etapas del proceso**. Si volvemos a la Ilustración 5-1 sería la duración del proceso para cada referencia desde el paso 4 hasta el paso 8 ambos incluidos. Teniendo en cuenta esta objeción, se muestran los datos reales de cálculo obtenidos con la herramienta diseñada para las referencias de la sección de charcutería libre servicio en la Tabla 7-4. Sobre esta tabla se pueden hacer una serie de comentarios que se desarrollan a continuación.

Tabla 7-4: Tiempos de cálculo para las previsiones obtenidas con la herramienta en la sección de charcutería libre servicio.

SECCIÓN DE CHARCUTERÍA LIBRE SERVICIO (datos reales de cálculo)								
	Nº total de artículos en el Histórico	Nº de Artículos con cálculo de previsiones	Nº total de ejecuciones óptimas del modelo causal	Promedio de ejecuciones óptimas por artículo	Promedio de Duracion por artículo (MM:SS)	Promedio de Duracion por artículo (s)	Promedio de Duracion por ejecución óptima (s)	Duracion Total (HH:MM:SS)
1. Previsiones con Todas las Variables	654	620	620	1	0:04	4,20	4,20	0:43:21
2. Previsiones con Método Experto	654	620	620	1	0:04	4,23	4,23	0:43:44
3. Previsiones con Método Heurístico	654	620	30.865	49,8	2:31	151,90	3,05	26:09:36

Cabe remarcar que todos los tiempos que incluyen la ejecución óptima del modelo causal, el modelo siempre alcanza la solución óptima. Recordemos que para referencias con histórico inferior a 7 días no se llega a realizar ese cálculo pero también se tienen en cuenta computacionalmente.

Se debe recordar que el número total de artículos en el histórico tan sólo refleja los artículos que actualmente (en realidad, a fecha en la que se actualice el listado maestro de referencias) se encuentran activos. Asimismo, en cuanto al número de referencias a las que se le calcula la previsión, se puede observar que es ligeramente inferior al número total de artículos que aparecen en el histórico. Esa diferencia se debe, con total seguridad, a **referencias cuyo histórico tiene una longitud inferior a 7 días** (entre la fecha mínima del histórico y la fecha de previsiones). Cabe destacar, que esas 34 referencias (diferencia entre 654 y 620), al estar activas también aparecerán en el proceso iterativo de cálculo pero, al no calcularse previsiones, pasarán directamente del paso 4 al paso 8 según el citado esquema de la Ilustración 5-1 y, por tanto, consumirán un cierto tiempo de computación prácticamente despreciable.

Como comentario acerca de estas referencias de nueva incorporación, hay que advertir que es el departamento de marketing el encargado de proporcionar las previsiones para las dos primeras semanas desde la incorporación del producto. Asimismo, el primer pedido vendrá condicionado, además, por un reparto de implantación que implica una cierta cantidad a todas las tiendas a las que se abastecerá. Sin embargo, este asunto no se contempla dentro de la planificación habitual y se trata de manera excepcional puesto que las nuevas incorporaciones no son demasiado frecuentes y, además, como se ha comentado, los técnicos de aprovisionamiento reciben indicaciones de cómo deben actuar. No es necesario tener en cuenta esas referencias, al menos, hasta la segunda semana de vida donde las previsiones proporcionadas por marketing comienza a no ser fiables y el técnico aprovisionador ya puede tomar decisiones por su propia iniciativa.

Tal y como está diseñado el método, solamente las previsiones calculadas con el método heurístico de selección de variables son las que realizarán más de una iteración por referencia. Además, para completar más en profundidad este análisis del método heurístico, se muestra en la Tabla 7-5 una comparación del número de ejecuciones óptimas empleadas en el cálculo para cada "caso" definido en el proceso de selección de variables. Se observa, para el caso 1, cómo la mayoría de las referencias tienen un **histórico mayor a un año** (498 del total de 654 artículos, lo que corresponde

a un 76,15%). Además, tal y como está planteado el **método heurístico de selección de variables**, es el caso que **más ejecuciones óptimas por referencia necesita**, en promedio, 53,82 ejecuciones óptimas por artículo. Lo que supone, como era de esperar, el mayor tiempo de cálculo por referencia (2 minutos y 50 segundos) para el caso del histórico superior a 365 días. En cambio, de la citada tabla se extrae que para los **casos 2 y 3** en los que se **reduce considerablemente el número de ejecuciones óptimas** por referencia, siendo de 36,53 (un 32% menos) y de 13,35 (un 75% menos) respectivamente, se obtienen **mejores tiempos de cálculo por referencia** (1 minuto y 27 segundos para el histórico inferior a un año y solamente 32 segundos para los de histórico inferior a 31 días). Finalmente, cabe comentar el parámetro “promedio de duración por ejecución óptima” para dejar claro que no se trata del promedio de tiempo de resolución óptima del modelo de previsión causal sino que es un parámetro que se utiliza para relativizar el tiempo empleado por cada tipo de referencia dependiendo de su histórico en realizar cada paso del bucle. Así pues, se observa que las referencias con un histórico mayor a un año son las que más tiempo por iteración realizada. Esto puede explicarse por el hecho de que tienen más registros con los que se tiene que realizar tanto el proceso de optimización como los procesos anexos a éste que deben manejar mayor cantidad de información y, por tanto, hacen el proceso más lento. Como se puede observar, para los casos 2 y 3 que tienen históricos más cortos, el tiempo promedio empleado por iteración es de alrededor de 2,4 segundos, ligeramente menor que el del caso 1. Podría llamar la atención que el tiempo por iteración empleado para el histórico más pequeño es ligeramente superior cuando cabría esperarse lo contrario. Este hecho podría razonarse desde el punto de vista que, un tiempo significativo es el que se emplea en cargar el histórico y guardar las previsiones desde y hasta la BBDD conectada con el archivo principal de la herramienta. Por tanto, ante un número pequeño de referencias y, también, de iteraciones, podría prevalecer ese tiempo frente al empleado para realizar cada iteración.

Tabla 7-5: Detalle del tiempo de cálculo para el método heurístico de selección de variables en los diferentes casos de histórico.

Caso	Desc. Caso	Nº artículos (% s/ Total)	Nº Mínimo de ejecuc. óptimas	Nº Máximo de ejecuc. óptimas	Nº de ejecuc. óptimas realizadas	Promedio de ejecuc. óptimas por artículo	Promedio de Duración por artículo (MM:SS)	Promedio de Duración por artículo (s)	Promedio de Duración por ejec. óptima (s)	Duración Total (HH:MM:SS)
1	Histórico superior a 365 días	498 (76,15%)	1	64	26.802	53,82	2:50	169,57	3,15	23:27:27
2	Histórico inferior a un año	105 (16,06%)	1	55	3.836	36,53	1:27	87,36	2,39	2:32:53
3	Histórico inferior a 31 días	17 (2,60%)	7	19	227	13,35	0:32	32,47	2,43	0:09:12
99	No calculado (histórico inferior a 7 días)	34 (5,20%)	0	0	0	0,00	0:00	0,12	0,00	0:00:04
Total general		654 (100%)	0	64	30.865	47,19	2:31	151,90	3,05	26:09:36

Este último hecho comentado en el párrafo anterior, ha quedado reflejado también en los datos de la Tabla 7-4 donde se observa que el parámetro de tiempo promedio por optimización o iteración es menor para el método heurístico de selección (que realiza varias optimizaciones por referencia) que para los otros dos métodos (que sólo realizan una optimización por referencia). Corrobora nuestra teoría de que el tiempo empleado en cargar los datos y calcular y guardar las previsiones toma un peso más significativo cuando sólo se realiza una optimización por referencia.

Siguiendo con el análisis de la viabilidad cabe resaltar que el método heurístico conlleva más de un día de cálculo para el número de artículos considerados mientras que los métodos que sólo realizan una optimización por artículo apenas emplean 44 minutos.

Con lo comentado hasta este punto no se podrían extraer más que conclusiones precipitadas. Por tanto, el siguiente paso para poder comparar los tiempos de ejecución con los de la empresa es estimar el tiempo de cálculo para el total de referencias, estimado a partir de la duración promedio por artículo de cada método de cálculo multiplicado por el número total de artículos activos y por las tres plataformas. Estos datos se muestran en la Tabla 7-6.

Tabla 7-6: Estimación de los tiempos de cálculo para el total de artículos de la empresa con los diferentes métodos.

	TODAS LAS REFERENCIAS (datos estimados)						
	Promedio de Duración por artículo (s)	Número total de artículos activos	Número de plataformas	Número total de artículos a calcular	Duración Total Estimada (s) = Núm. total artículos * Promedio Duración por artículo (s)	Duración Total Estimada (h)	Duración Total Estimada (días)
1. Previsiones con Todas las Variables	4,20	3.700	3	11.100	46.566	12,94	0,54
2. Previsiones con Método Experto	4,23	3.700	3	11.100	46.978	13,05	0,54
3. Previsiones con Método Heurístico	151,90	3.700	3	11.100	1.686.054	468,35	19,51

En el siguiente apartado se compararán estos datos con los que trabaja la empresa actualmente para poder extraer conclusiones sobre la viabilidad en cuanto a tiempos de computación se refiere.

7.4.2 Comparación con el método actual de previsión de la empresa

En la Tabla 7-7 se muestran los datos aproximados de los tiempos con los que trabaja la empresa en cuanto a cálculo de previsiones se refiere.

Tabla 7-7: Información aproximada del número de referencias y tiempo de cálculo de previsiones con los que trabaja la empresa objeto de estudio.

	SITUACIÓN ACTUAL EMPRESA (datos aproximados)		
	Número total de referencias calculadas por la empresa	Duración total del cálculo (h)	Promedio de Duración por referencia (s)
GPO (Herramienta de previsión de la empresa)	8.300	[4-8] h/semana	[1,73-3,47] s/semana
Herramienta de previsión de ofertas de la empresa	800	12 h/mes = 3 h/semana	54 s/mes = 13,5 s/semana
TOTAL	8300	[7-11] horas/semana	[3,04-4,77] s/semana

Analizando las dos tablas anteriores (Tabla 7-6 y Tabla 7-7) se llega a la conclusión de que, independientemente del método de selección empleado, el cálculo con la herramienta que se propone en este TFM emplearía más tiempo que el método actual de cálculo de la empresa. Sin embargo, eso no es del todo cierto y, por supuesto, no quiere decir que no sea viable, de hecho, no ocurre así. Se justifica seguidamente.

La empresa recalcula las previsiones una vez a la semana con su herramienta GPO, en concreto, los domingos. Recordemos que ese cálculo de previsiones lo realiza a nivel semanal y, posteriormente, lo desagrega diariamente a partir de los porcentajes asociados a cada día de la semana. Además, cada día de la semana se actualiza el horizonte rodante del DRP para avanzar ese plan de requerimientos de distribución hasta el día actual pero no se recalculan las previsiones diariamente. Así pues, siguiendo este mismo sistema, se deberían calcular previsiones los domingos de cada semana.

Actualmente, tal y como se observa en la Tabla 7-7, la herramienta GPO de la empresa tarda entre 4 y 8 horas en realizar el proceso de recálculo. Este proceso lo realiza automáticamente puesto que está integrada completamente en los sistemas de la empresa. En cambio, se debe recordar que GPO no tiene en cuenta los incrementos debidos a ofertas. Este proceso lo realiza manualmente el técnico de organización una vez al mes, solamente para las referencias en ofertas de carácter mensual y, normalmente, emplea un día de trabajo en preparar los datos para la herramienta de ofertas y otras 12 horas que tarda la herramienta en calcular las previsiones de incrementos. Con esto, si lleváramos el dato a nivel semanal, nos quedarían entre 7 y 11 horas el total de tiempo empleado en calcular previsiones cada semana. Según se muestra en la Tabla 7-6, la herramienta que propone este TFM emplearía 13 horas de cálculo para sus dos métodos de selección más rápidos. Pero sin dejarse engañar por tiempos totales, cabe destacar que la empresa no calcula previsiones para todos los artículos activos ya que hay secciones en las que no lo hace y, en las que sí calcula previsiones, no lo hace para todo su referenciado. Así pues, comparando los tiempos de cálculo por referencia, la empresa emplea entre 3,04 y 4,77 segundos para cada artículo calculado y los dos métodos más rápidos que proponemos emplean alrededor de 4,20 segundos. Estos tiempos se encuentran dentro del margen previsto por la empresa para el cálculo de previsiones. Asimismo, debe resaltarse el hecho de que el tiempo de cálculo sea inferior a 24 horas que sería, a priori, el tiempo máximo que podría emplearse si se estuviera calculando durante todo el domingo (incluso algunas horas más que pueden incluir la madrugada del domingo al lunes).

Sin embargo, el método heurístico de selección tardaría más de 19 días en realizar el cálculo de todas las referencias. Esto es, por supuesto, inviable para ser utilizado habitualmente. Este método quedaría, por tanto, relegado para ser usado a nivel de investigación para mejorar el método experto de selección. Esto es, con el método heurístico se podría comprobar qué variables son las que mejor funcionan para el cálculo de previsiones en función de las características de los históricos y así poder mejorar el método experto de selección y realizar en el tiempo requerido unas previsiones de mejor calidad.

En conclusión, la herramienta de cálculo propuesta sería viable para el uso del método de cálculo con todas las variables y el método de selección experto de variables puesto que sería posible realizar el cálculo de previsiones dentro de los tiempos necesarios durante el domingo de cada semana. Por su parte, el método heurístico es inviable por el excesivo tiempo computacional requerido y, en la

práctica, podría usarse para mejorar el método experto de selección de aquellos artículos cuyas previsiones no tengan la calidad esperada.

7.5 Consideraciones finales

Como se ha expuesto en el apartado anterior, la herramienta propuesta en este TFM se ha utilizado para realizar previsiones la sección de charcutería libre servicio. Sin embargo, **para su utilización generalizada en otras secciones de la empresa con diferentes tipologías de productos**, es necesario considerar ciertos aspectos.

En el caso de la sección objeto de estudio, se puede asegurar con certeza que los históricos de cantidad vendida que se han utilizado no están sometidos a ningún tipo de anomalía. Las referencias que se trabajan son productos envasados que no sufren transformación desde que se reciben por el proveedor en la plataforma hasta que se venden al cliente final. Sin embargo, las líneas de actuación propuestas en este TFM podrían verse dificultadas para su aplicación en otras secciones donde la gestión de stock se realiza de manera un tanto diferente debido, principalmente, debido a los **cambios de formato o transformaciones que sufre el producto** desde que se recibe desde el proveedor en plataforma hasta que se vende al cliente final en tienda.

Por ejemplo, en la sección de fruta, para algunos productos que se trabajan, la referencia disponible para el cliente final y que se vende al peso (formato kilogramos) tiene una codificación (una referencia de venta concreta) mientras que el código asociado a esa referencia para que la tienda solicite un pedido a plataforma (que será el código con el que se le haga el pedido al proveedor) es distinto y se refiere, en este caso, a la caja completa (formato unidades con peso medio). Esta problemática se detecta de forma similar en las secciones de charcutería al corte y carne al corte, por ejemplo, en las secciones de charcutería al corte y carne al corte. Recordemos que, en última instancia se pretende utilizar estas previsiones de venta en tienda, tratándolas convenientemente, para realizar el aprovisionamiento de las plataformas.

Otro problema añadido, similar al anterior, es el de aquellas referencias distintas que pueden encontrarse a **granel y el cliente puede mezclarlas** y pesarlas juntas bajo un mismo código de “graneles” en lo que respecta a la sección de panadería.

Más problemas referentes a cambios de formato (que no quedan registrados) o sustitución y cambio de códigos de artículos debidos a proyectos de mejoras en la gestión de la información en el seno de la empresa hacen que existan referencias cuyo **histórico de cantidad vendida no sea correcto** para fechas anteriores a la fecha concreta en la que se realizaron esos ajustes. A veces, es difícil de saber con exactitud esa fecha y es probable que se puedan encontrar datos históricos erróneos para datos demasiado antiguos.

Nótese que, aunque el problema asociado a los cambios de formato y transformación ya se haya comentado en el capítulo 3 (descripción del problema), según la forma actual de gestión de la empresa, no supone un problema añadido en cuanto a la gestión de stocks se refiere (solo conlleva un problema añadido a la hora de gestionar la información). Sin embargo, para hacer una gestión integral de stocks desde que se reciben por el proveedor hasta que se venden al cliente final, es necesario cambiar la forma de gestionar la información. Aun así, esta problemática se podría solventar en un futuro cercano gracias a un proyecto que ya está en marcha dentro de la empresa para la unificación de los códigos

asociados a cada producto y el control de esos cambios de formato. De hecho, ya ha habido mejoras que están facilitando esa gestión de la información que anteriormente era tan dificultosa.

Mientras tanto, la problemática asociada a **los diferentes códigos para un mismo producto** que va cambiando de formato, se podrían solventar a través de los listados de correlación entre códigos que dispone la propia empresa para esos artículos concretos. Supondría un problema añadido pero no sería inconveniente para agregarlo al futuro sistema global de gestión.

Sin embargo, con respecto a los últimos problemas comentados sobre la **posibilidad de encontrar datos erróneos en los históricos**, no quedaría más remedio que informarse a través de personal que esté al tanto de esos cambios y que puedan ofrecer más información sobre la fecha, los cambios y las referencias afectadas para intentar subsanar los históricos o, simplemente, tomarlos desde esa fecha.

Finalmente, cabe comentar aquí otro importante impacto, esta vez positivo, que tendría la implementación de la herramienta propuesta en este TFM en la empresa. Ya se ha reseñado en el capítulo 3 que una posible línea de actuación para la mejora de la gestión de pedidos de tienda a plataforma, sobre todo, en secciones que trabajan en flujo tenso como el pescado, sería **mejorar las previsiones a nivel de tienda (venta a cliente final)**. En esas secciones, la herramienta de previsiones de este TFM ya podría dar sus frutos y empezar a solventar ese problema. Hasta ahora, el departamento de gestión de tiendas, encargados de realizar los pedidos a tiendas, no tienen ninguna herramienta de previsión y sus estimaciones solamente se basan en las cantidades vendidas de las últimas semanas. Así pues, la herramienta con la que trabajan para hacer el pedido automático tiene grandes deficiencias, sobre todo, en periodos de oferta. Sin embargo, aunque este problema pertenezca a un departamento distinto, el departamento encargado de la gestión de las plataformas sufre estas deficiencias. Piénsese, por ejemplo, al inicio de una oferta las tiendas suelen incrementar el pedido de forma manual, normalmente con un sobre-stock considerable. En cambio, al final de la oferta, el pedido no lo suelen corregir a la baja y el pedido automático manda pedidos de elevadas cantidades como si de una oferta se tratase cuando, previsiblemente, después de la oferta el producto se volverá a vender de manera habitual. Si se multiplica el efecto por todas las tiendas servidas por plataforma (la que más, unas 400 tiendas desde la plataforma de Valencia), se tiene este comportamiento totalmente irracional para los técnicos de aprovisionamiento que dificulta sobremanera los ajustes sobre la previsión que ellos mismos realizan según su experiencia. Además, acentúa en la mayoría de ocasiones la mala gestión en tiendas por pérdida de producto percedero que sobrepasa su vida útil en tienda y debe ser retirado con los consecuentes costes que esto supone para la gestión total de la empresa. Por supuesto, mejorar las previsiones a nivel de tienda tal y como aquí se pretende, contribuiría a la mejora de la gestión de las tiendas y les proporcionaría otra herramienta con la que poder tomar mejores decisiones.

8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

8.1 Introducción

Este capítulo cierra el bloque de la Memoria y contiene la valoración final al conjunto del TFM. Se estructura en dos apartados. En el primero de ellos se analizan las conclusiones que se han alcanzado tras la realización de todo el proyecto, tanto de la Memoria como del Presupuesto. En el segundo apartado se exponen una serie de ideas que podrían ser estudiadas en un futuro, partiendo como base del desarrollo alcanzado en este TFM.

8.2 Conclusiones

La minuciosa elaboración de este TFM arroja una serie de conclusiones que recogen la esencia de cada una de las ideas que se han desarrollado. Sirva al lector para interesarse en el ámbito de la previsión de la demanda mediante Modelos de Programación Lineal que incorporan variables causales.

En cualquier empresa, todo proyecto que pretenda dar solución a un problema fehaciente o, análogamente, que trate de buscar alternativas para mejorar la eficiencia global, requiere de un profundo análisis de la situación actual para detectar dónde está la raíz de ese problema o esa mejora con la que poder generar el mayor beneficio posible. Por supuesto, el alumno, durante la duración de las prácticas, ha realizado ese análisis para acabar concluyendo que el **origen de buena parte de esas deficiencias se sitúa en la previsión de la demanda**. Aunque se hace un análisis más exhaustivo de la problemática observada en el capítulo 3, se puede decir que prevalece la enorme importancia de trabajar con unas previsiones acertadas con objeto de mejorar multitud de procesos que de ella dependen. Entre ellos, destaca la mejora en el trabajo de los técnicos de aprovisionamiento, los cuales, gracias a unas previsiones acertadas serán capaces de tomar mejores decisiones en su trabajo diario con el ahorro de tiempo y mejora sustancial de sus condiciones de trabajo. Asimismo, cabe destacar el ahorro en coste que está asociado a ese buen hacer del técnico aprovisionador: reducción de la rotura de stock y reducción del desecho por producto fresco (percedero) sobrante por excesivo stock.

De igual modo, una vez encontrada la causa fundamental del problema que se quiere tratar, el siguiente paso es analizar el mismo con el nivel de detalle suficiente que permita vislumbrar posibles soluciones factibles. En vista a los inaceptables errores de previsión con los que trabaja habitualmente la herramienta de cálculo de previsiones de la empresa (51,07%) y, por consiguiente, del derroche de recursos que esto supone (apenas un 15% de utilización de las previsiones por parte de los técnicos de aprovisionamiento y la ineficiencia, cuantificada en pérdida de tiempo -aproximadamente el doble de tiempo en realizar el mismo trabajo-, que eso supone en su trabajo diario), **se propone sustituir drásticamente el procedimiento y los métodos de cálculo de previsiones que utiliza la empresa actualmente**.

En línea con lo anterior, para proponer lo que a priori podría ser una solución acertada, se realizó una pequeña investigación, consultando artículos recientes relacionados con la previsión de la demanda y, más concretamente, con **modelos de programación matemática basados en factores causales**. A partir de aquí, con la escasa información encontrada sobre la aplicación de este tipo de modelos en el sector de la alimentación, se opta por contribuir al desarrollo de los mismos y probar su eficacia en este sector.

Tras el desarrollo y posterior aplicación de la metodología de cálculo propuesta, se concluye **que la aplicación, en el sector de la distribución y la venta al por menor, de modelos de programación matemática que incorporen variables causales es totalmente recomendable puesto que mejora considerablemente el acierto de las previsiones (reduce el error MAPE diario, aproximadamente a la mitad) frente a los métodos tradicionales.** En concreto, para la empresa objeto de estudio con sus herramientas de cálculo, se pasa de un MAPE del 51,07% a reducirse hasta un 20,86% para el mejor método de selección de variables, el Método Heurístico. Se tienen también mejoras considerables para los métodos Experto (34,27%) y sin selección - con Todas las Variables - (36,06%).

Tan importante es elegir un método de previsión, en este caso a partir de modelos causales, como **identificar y seleccionar las variables causales** que mejor puedan explicar la variación observada de la demanda y, por tanto, que contribuyan a un mayor nivel de acierto en la previsión final. Asimismo, aunque estudios recientes recojan métodos más elaborados de selección de variables, en este TFM ha quedado comprobado cómo, **a partir de métodos relativamente simples de selección de variables se pueden obtener unos resultados notablemente mejores que sin ningún criterio de selección.**

Completando lo anterior, en este estudio se proponen dos **métodos de selección de variables** propiamente dichos. El primero de ellos, el Método Experto, realiza la selección de variables causales a partir de una serie de criterios racionales que dependen tanto de las características propias de las variables causales como, también, de las propiedades del histórico, como la longitud del mismo o el número de ofertas que ha tenido históricamente para cada referencia. El segundo método que se define es el Método Heurístico. Este último parte de la selección anterior y simula a futuro las previsiones suponiendo una fecha de cálculo de previsiones anterior a la fecha de cálculo requerida. Se valoran los errores de acierto cometidos con cada combinación de variables, sacando una variable cada vez del modelo y, finalmente, se elimina aquella variable cuya combinación haya aportado los mejores valores de acierto simulados. Se repite el proceso hasta eliminar tres variables o hasta que el hecho de eliminar una variable adicional suponga empeorar el acierto simulado. Finalmente, de la comparación entre los dos métodos tanto a nivel de acierto como de viabilidad computacional, se deriva que el método que mejores resultados aporta es, como era de esperar, el Método Heurístico (21,30% de MAPE). Sin embargo, los elevados tiempos de computación que requiere este método (unos 2 minutos y medio por referencia) hace inviable su utilización habitual en el caso práctico considerado. Así pues, **se concluye que el Método Experto es el que obtiene unos resultados aceptables (29,10% de MAPE) en un tiempo razonable (4 segundos por referencia) y queda el Método Heurístico relevado a la investigación y la revisión de los criterios considerados en el Método Experto.** Es decir, podría utilizarse el Método Experto para el cálculo semanal de previsiones diarias (unas 13 horas) y emplear el Método Heurístico, por ejemplo, una vez al mes para ciertas secciones que se quieran mejorar sus previsiones, para comprobar qué variables son las que mejor explican la demanda y cuáles las candidatas a salir del modelo bajo ciertas condiciones.

Por último, cabe comentar, en lo referente al diseño y desarrollo de la herramienta de previsión, que se pretende ofrecer una posible **arquitectura y programación para dar cabida a todos los procesos considerados en la metodología conceptual** del capítulo 5. Es decir, el capítulo 6 tiene como objetivo que cualquier persona con conocimientos básicos de programación y BBDD sea capaz de crear y diseñar desde cero su propia herramienta de previsiones acorde a sus necesidades específicas, implementando la metodología conceptual explicada detalladamente en el capítulo 5.

Finalmente, en cuanto a la viabilidad económica de este proyecto, queda de manifiesto que la **inversión en este proyecto es totalmente recomendable para la empresa** objeto de estudio. Además, teniendo en cuenta el plan de implantación propuesto, **la herramienta comenzaría a dar beneficios netos**, aproximadamente, **a partir del segundo año**. Cabe enfatizar que, en lo referente a lo anterior, para estimar el periodo de retorno, solamente se ha tenido en cuenta el importante factor de mejora que supondría el uso de la herramienta de cálculo de previsiones propuesta en el trabajo de los técnicos de aprovisionamiento, cuantificando ese ahorro en tiempo de trabajo. Tan solo con ese aporte, ya se tienen unos resultados bastante buenos que hacen este proyecto atractivo para la empresa. Más interesante aún sería el ahorro que se conseguiría a través de los otros dos factores importantes que se mejorarían con la implantación de este proyecto en la empresa: **reducir la rotura de stock y reducir las pérdidas por desecho de stock percedero en exceso**. Por la dificultad de cuantificar estos dos parámetros, solo se tienen en cuenta a nivel cualitativo. Sin embargo, cabe destacar que estos dos últimos factores, dado el gran volumen con el que trabaja la empresa, contribuirían en gran medida a aumentar significativamente ese beneficio.

En definitiva, se puede concluir que la previsión de la demanda constituye, para empresas del sector de distribución de alimentación, un factor importante del que dependen multitud de procesos importantes y que, con la aplicación de herramientas de previsión que incorporen modelos causales y, también, métodos de selección que mejoren el acierto de las previsiones, puede conseguirse un aumento en la eficiencia global de la empresa.

8.3 Líneas futuras de investigación y desarrollo

En general, la metodología propuesta para el cálculo de previsiones y, en particular, el diseño de la herramienta que se propone en este TFM están concebidos para evolucionar e incorporar nuevas funcionalidades. Entre ellas, se destaca la posibilidad de **formular otras heurísticas y metaheurísticas para los métodos de selección de variables causales**. Además, se podrían incorporar diferentes opciones nuevas a la interfaz con el usuario como, por ejemplo, un filtro o **selector de referencias** de las que se quiere realizar el cálculo de previsiones, un selector de la **fecha más antigua del histórico** que se quiere considerar o una **interfaz** dinámica para que el usuario pueda **modificar** de manera sencilla e intuitiva los **criterios de selección del Método Experto y las variables causales a seleccionar** para cada caso considerado. Otra importante mejora sería otra interfaz que permita **definir nuevas variables causales** y pueda añadirse al cálculo sin la necesidad de realizar cambios significativos en el código principal y las funciones auxiliares así como las tablas y consultas.

Asimismo, se considera importante recordar que **este proyecto es la base de otro desarrollo adicional, necesario para la gestión integral de stock** que se propone en este TFM. Este último proyecto utilizará como input las previsiones que se calculan con la herramienta de este TFM, las tratará convenientemente y construirá el plan de requerimientos de distribución bajo los criterios de diseño que se definan. En última instancia, será el que permita automatizar el pedido a proveedor a partir de las previsiones. Asimismo, contrastada la calidad de las previsiones que se calculan con la herramienta de este TFM, sin lugar a duda, la rotura de stock se reducirá considerablemente y el trabajo de los técnicos de aprovisionamiento será mucho más efectivo, teniendo tiempo extra para realizar tareas de mayor valor añadido.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Arunraj, N. S., & Ahrens, D. (2015). A hybrid seasonal autoregressive integrated moving average and quantile regression for daily food sales forecasting. *Int. J. Production Economics*, 170, 321-335.
- Beutel, A.-L., & Minner, S. (2012). Safety Stock planning under causal demand forecasting. *Int. J. Production Economics*, 140, 637-645.
- Cheikhrouhou, N., Marmier, F., Ayadi, O., & Wieser, P. (2011). A collaborative demand forecasting process with event-based fuzzy judgements. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 409-421.
- COITI Bizkaia. (29 de diciembre de 2014). *¿Sabes calcular el precio por hora de tu trabajo?* Recuperado el 7 de septiembre de 2016, de <http://www.coitibi.net/ventanilla-unica/noticias/sabes-calcular-precio-por-hora-de-tu-trabajo>
- Doganis, P., Alexandridis, A., Patrinos, P., & Sarimveis, H. (2006). Time series sales forecasting for short shelf-life food products based on artificial neural networks and evolutionary computing. *Journal of Food Engineering*, 75, 196-204.
- Donselaar, K. v., Peters, J., Jong, A. d., & Broekmeulen, R. (2016). Analysis and forecasting of demand during promotions for perishable items. *Int. J. Production Economics*, 172, 65-75.
- Eksoz, C., Mansouri, S. A., & Bourlakis, M. (2014). Collaborative forecasting in the food supply chain: A conceptual framework. *Int. J. Production Economics*, 158, 120-135.
- Fildes, R., Goodwin, P., Lawrence, M., & Nikolopoulos, K. (2009). Effective forecasting and judgmental adjustments: an empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning. *International Journal of Forecasting*, 25, 3-23.
- García-Sabater, J. (2016). *Como estructurar y escribir una Tesis Fin de Máster, Proyecto Fin de Carrera o Trabajo Fin de Grado*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de http://jpgarcia.webs.upv.es/?page_id=34
- Gür Ali, Ö., Sayin, S., Woensel, T., & Fransoo, J. (2009). SKU demand forecasting in the presence of promotions. *Expert Systems with Applications*, 36, 12340-12348.
- GUROBI.com. (17 de junio de 2016). *Commercial Pricing*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016, de <http://www.gurobi.com/products/licensing-pricing/commercial-pricing>
- Hoyos, C., & Poler, R. (2013). Propuesta metodológica para la previsión de la demanda con modelos causales. *Dirección y Organización*, 51, 44-54.
- Huang, T., Fildes, R., & Soopramanien, D. (2014). The value of competitive information in forecasting FMCG retail product sales and the variable selection problem. *European Journal of Operational Research*, 237, 78-748.
- Kolassa, S. (2016). Evaluating predictive count data distributions in retail sales forecasting. *International Journal of Forecasting*, 32, 788-803.
- Lucas, A. D. (2014/15). *Encuesta de Salarios y Actividad Profesional. Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales de Álava, Bizkaia, Gipúzkoa y Navarra*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016, de http://www.coiib.es/Sec_NT/wf_noticia.aspx?idMenu=93&idReg=1157
- Ma, S., Fildes, R., & Huang, T. (2016). Demand forecasting with high dimensional data: The case of SKU retail sales forecasting with intra- and inter-category promotional information. *European Journal of Operational Research*, 249, 245-257.

- MaximalSoftware.com. (2016). *Maximal Software Pricing Programs*. Recuperado el 6 de septiembre de 2016, de <http://www.maximalsoftware.com/sales/>
- Poler, R. (2015/16). *Apuntes del curso: Gestión Avanzada en Sistemas de Producción Inventario*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Poler, R., Hernández, J. E., Mula, J., & Lario, F. C. (2008). Collaborative forecasting in networked manufacturing enterprises. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(4), 514-528.
- Poler, R., Mula, J., & Peidro, D. (2009). Determinación de parámetros de modelos de previsión de demanda a través de los errores de acierto en horizonte rodante. *XII Congreso de Ingeniería de Organización - Dirección y Organización*, 37, 76-82.
- Ramanathan, U., & Muijldermans, L. (2010). Identifying demand factors for promotional planning and forecasting: A case of a soft drink company in the UK. *Int. J. Production Economics*, 128, 538-545.
- Ramanathan, U., & Muijldermans, L. (2011). Identifying the underlying structure of demand during promotions: A structural equation modelling approach. *Expert Systems with Applications*, 38, 5544-5552.
- Ramos, P., Santos, N., & Rebelo, R. (2015). Performance of state space and ARIMA models for consumer retail sales forecasting. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 34, 151-163.
- Sepúlveda-Rojas, J. P., Rojas, F., Valdés-González, H., & Martín, M. S. (2015). Forecasting Models Selection Mechanism for Supply Chain Demand Estimation. *Procedia Computer Science*, 55, 1060-1068.
- Shimizu, S., Hoyer, P. O., & Hyvärinen, A. (2009). Estimation of linear non-Gaussian acyclic models for latent factors. *Neurocomputing*, 72, 2024-2027.
- Syntetos, A. A., Babai, Z., Boylan, J. E., Kolassa, S., & Nikolopoulos, K. (2016). Supply chain forecasting: Theory, practice, their gap and the future. *European Journal of Operational Research*, 252, 1-26.
- Tanaka, K. (2010). A sales forecasting model for new-released and nonlinear sales trend products. *Expert Systems with Applications*, 37, 7387-7393.
- Taylor, J. W. (2007). Forecasting daily supermarket sales using exponentially weighted quantile regression. *European Journal of Operational Research*, 178, 154-167.
- Taylor, J. W. (2008). Exponentially weighted information criteria for selecting among forecasting models. *International Journal of Forecasting*, 24, 513-524.
- Universidad Politécnica de Valencia. (julio de 2015). *Proyecto competencias transversales*. Obtenido de <http://www.upv.es/entidades/ICE/info/U0724624.pdf>
- Veiga, C. P., Veiga, C. R., Puchalski, W., Coelho, L. d., & Tortato, U. (2016). Demand forecasting based on natural computing approaches applied to the foodstuff retail segment. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 31, 174-181.
- Vlajic, J. V., Vorst, J. G., & Haijema, R. (2012). A framework for designing robust food supply chains. *Int. J. Production Economics*, 137, 176-189.
- Zhang, X., YongHu, KangXie, ShouyangWang, E.W.T.Ngai, & MeiLiu. (2014). A causal feature selection algorithm for stock prediction modeling. *Neurocomputing*, 142, 48-59.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Máster en Ingeniería Industrial

(Acceso desde Grado en Ingeniería Mecánica)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PRESUPUESTO

Diseño de una herramienta para la previsión de la demanda basada en modelos causales para una empresa del sector de distribución de alimentos

Estudiante	Andrés Fuentes Pinel
Tutor	María del Mar Alemany Díaz
Cotutor	Raúl Poler Escoto
Curso académico	2015/16
Entrega y defensa	Septiembre, 2016



Índice del Presupuesto

1	INTRODUCCIÓN	93
2	PRESUPUESTO.....	93
2.1	INVERSIÓN INICIAL	93
2.1.1	Coste de software.....	94
2.1.2	Coste de hardware.....	94
2.1.3	Coste de personal	95
2.2	COSTE ANUAL.....	95
2.2.1	Coste de software.....	96
2.2.2	Coste de hardware.....	96
2.2.3	Coste de personal	97
2.3	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	97
3	IMPLANTACIÓN.....	99
3.1	PLAN DE IMPLANTACIÓN	99
3.2	CONSIDERACIONES RESPECTIVAS A LA IMPLANTACIÓN	100
4	CONSIDERACIONES FINALES	101

Índice de tablas

<i>Tabla 2-1: Coste de la inversión inicial del proyecto.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 2-2: Tabla salarial empleada en el cálculo de los costes de personal.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 2-3: Coste anual asociado a la herramienta de previsión del TFM.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 2-4: Coste anual actual estimado de la empresa objeto de estudio.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3-1: Plan de implantación del proyecto con las principales fases, duración y personal implicado.</i>	<i>99</i>

1 Introducción

El bloque referente al Presupuesto contiene el plan presupuestario estimado para poner en marcha, en la empresa objeto de estudio, la herramienta para el cálculo de previsiones desarrollada en el presente TFM, así como su plan de implantación.

Este bloque se divide en cuatro capítulos. En el presente capítulo se ofrece una breve introducción en el que se comenta la estructura y los aspectos relevantes de este documento. A continuación, en el segundo capítulo, se analiza y comenta el presupuesto propiamente dicho, diferenciando el coste de inversión inicial, el coste anual y el periodo de recuperación de la inversión. El tercer capítulo propone un plan de implantación acorde a las características de la empresa objeto de estudio en este TFM. Finalmente, se concluye el bloque con un capítulo de consideraciones finales.

2 Presupuesto

El plan presupuestario se dividirá en tres bloques que se desarrollarán en diferentes apartados:

1. Inversión inicial.
2. Coste anual
3. Recuperación de la inversión y estimación de beneficio anual.

2.1 Inversión inicial

Se muestra en la Tabla 2-1 un resumen de la inversión inicial que se debería invertir en el proyecto y se detallan a continuación cada una de las partidas.

Tabla 2-1: Coste de la inversión inicial del proyecto.

	Cantidad (unidades/horas)	Coste unitario (€)	Coste total (€)
1. INVERSIÓN INICIAL			
1.1. Coste de software			69.020,00
<i>Windows</i>			0,00
<i>Access</i>			0,00
<i>Herramienta de previsión</i>			16.520,00
Trabajo de diseño (horas)	300,00	55,00	16.500,00
Otros	1,00	20,00	20,00
<i>GUROBI</i>	1,00	42.700,00	42.700,00
<i>MPL</i>	1,00	9.800,00	9.800,00
1.2. Coste de hardware			0,00
<i>Servidor interno</i>			0,00
1.3. Coste de personal			13.654,46
<i>Desarrollo</i>			1.979,50
Técnico de Organización (horas)	20,00	31,20	623,94
Informático (horas)	20,00	31,20	623,94
Ingeniero externo (horas)	20,00	36,58	731,62
<i>Implantación</i>			9.699,56
Técnico de Organización (horas)	48,00	31,20	1.497,45

Informático (horas)	148,00	31,20	4.617,15
Ingeniero externo (horas)	98,00	36,58	3.584,96
Formación			1.975,39
Personal formador (horas)	4,00	25,89	103,57
Técnicos de Aprovisionamiento (horas)	60,00	31,20	1.871,82
Total general			82.674,46

2.1.1 Coste de software

No será necesario invertir en nuevas licencias para el sistema operativo Windows ni para el software Microsoft Access puesto que todos los equipos usados por la empresa ya disponen de ellas. El coste asociado a estas es, por tanto, nulo.

El precio asociado a la **herramienta de previsión** se compondrá del coste que se ha estimado para el diseño y prueba de la herramienta elaborada en este TFM así como de la redacción del presente proyecto. Se ha considerado que el trabajo se ha realizado fuera del horario de prácticas, tal y como ha ocurrido, y supuesto un trabajador autónomo ejerciendo la profesión oficialmente. El coste unitario de las horas de trabajo autónomo se ha estimado siguiendo las indicaciones de COITIBI Bizkaia (2014). Se puede considerar que en ese coste se incluye el coste asociado a las horas de trabajo de los tutores del proyecto en la revisión del mismo. Asimismo, en el apartado "Otros" se incluye el material de oficina (folios, bolígrafos...) así como el coste de impresión del documento.

La licencia del *solver* **GUROBI** para su instalación en un servidor compartido de la empresa para poder ser utilizado por cualquier número de usuarios simultáneamente (podrían lanzarse optimizaciones en paralelo y así reducir el tiempo total de ejecución) tiene un coste de 48.000\$ \approx (42.700 €) según lo que se puede consultar en su web (GUROBI.com, 2016). Hay que registrarse gratuitamente para poder consultar esta web. Se ha optado por una licencia inicial sin restricción de tiempo ya que sería más barata que una suscripción anual durante 2 años (22.750€/año \cdot 2 años = 45.500€).

Los precios de la licencia para el software **MPL** no son de acceso público y, en su página web (MaximalSoftware.com, 2016) se emplaza a enviar un email solicitándolo. Recibida la atenta respuesta en la que agradecen el uso de MPL en este TFM, se lista un precio de 9.800 € para una copia de acceso ilimitado del software que se instale en un servidor multiusuario como es este caso. En este caso, a diferencia de Gurobi, la licencia incluye coste de mantenimiento. Para el primer año habrá que pagar un 15% del coste de la licencia y, para los siguientes, el coste será del 20% del precio de la licencia. Este punto se tendrá en cuenta posteriormente en la estimación anual del coste.

La **inversión en nuevo software** supondría para la empresa un total de **69.020,00 €**.

2.1.2 Coste de hardware

La herramienta se implantaría en **servidores ya existentes** en la empresa por lo que no supondrá un coste adicional.

2.1.3 Coste de personal

Será necesario un **desarrollo inicial** para **evolucionar esta herramienta** que en este TFM ha sido concebida como prototipo. Así pues, se estima que serán necesarias **4 reuniones de 5 horas** cada una entre el **técnico de organización** (que representa los intereses y solicitudes de los técnicos de aprovisionamiento), **el informático** (que será el que la implante en los sistemas de la empresa) y el **ingeniero externo** (que será el que ha desarrollado la herramienta, en este caso, el estudiante).

Los costes asociados al personal se han calculado teniendo en cuenta un estudio de Lucas, 2014/15 para diferentes actividades relacionadas con el sector de la ingeniería. Se suponen 1650 horas facturables anuales, teniendo en cuenta un calendario laboral estándar descontando vacaciones y días festivos. Se muestran los datos en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Tabla salarial empleada en el cálculo de los costes de personal.

	Salario anual (€)*	Honorarios por hora suponiendo 1650 horas anuales (€)
INGENIERO	60.359,00	36,58
INFORMÁTICO	51.475,00	31,20
TÉCNICO (Org. y Aprov.)	51.475,00	31,20
FORMADOR	42.723,00	25,89

*Fuente: Lucas, 2014/15.

Para la **fase de implantación** y pruebas, que involucrará a las mismas personas que la fase de desarrollo inicial, serán necesarias **16 reuniones de seguimiento de 3 horas** cada una. Asimismo, se prevén otras 100 horas de trabajo para el informático y la mitad de ellas, 50 horas, para el ingeniero de manera que puedan dar solución de forma consensuada los problemas propios de esta fase.

Finalmente, una vez la herramienta esté en funcionamiento, será necesaria una **fase de formación** para los técnicos de aprovisionamiento con objeto de que puedan hacer uso de la herramienta correctamente. Se prevé una **clase de 4 horas con un formador para los 15 técnicos de aprovisionamiento**.

El **coste asociado al personal** es en total de 13.654,46€.

El **PRESUPUESTO DE INVERSIÓN INICIAL** asciende a un total de **OCHENTA Y DOS MIL SEISCIENTOS SETENTA Y CUATRO COMA CUARENTA Y SEIS EUROS (82.674,46 €)**.

2.2 Coste anual

De igual manera, se resume en la Tabla 2-3, el presupuesto estimado para el coste anual asociado al uso y mantenimiento de la herramienta de previsión. Se analiza cada punto de la partida presupuestaria seguidamente.

Tabla 2-3: Coste anual asociado a la herramienta de previsión del TFM.

	Cantidad (unidades/horas)	Coste unitario (€)	Coste total (€)
2. COSTE ANUAL			
2.1. Coste de software			1.960,00
<i>Herramienta de previsión</i>	1,00	0,00	0,00
<i>GUROBI</i>	1,00	0,00	0,00
<i>MPL **</i>	1,00	1.960,00	1.960,00
2.2. Coste de hardware			636,64
<i>Servidor interno</i>	1.384,00	0,46	636,64
2.3. Coste de personal			126.814,89
<i>Utilización</i>			121.668,18
Técnicos de Aprovisionamiento (horas)	3.900,00	31,20	121.668,18
<i>Mantenimiento</i>			5.146,71
Ingeniero externo (horas)	52,00	36,58	1.902,22
Informático (horas)	104,00	31,20	3.244,48
Total general	5.443,00	99,44	129.411,53

**El coste anual para el primer año será algo inferior puesto que sólo hay que pagar un 15% del valor de la licencia. El coste que se muestra se imputará a partir del segundo año e incluye el 20% del coste de la licencia. Esta diferencia no es significativa con respecto al total y se justificará en el texto debidamente.

2.2.1 Coste de software

La **herramienta de previsión no tendrá ningún coste anual** asociado como tal. El coste de mantenimiento se incluirá en costes de personal.

Como se ha explicado anteriormente, la licencia para el *solver Gurobi* será perpetua y no necesitará de una suscripción anual, por tanto, solamente **se imputa como inversión inicial**.

La licencia del MPL tendría un coste de mantenimiento anual del 20% del precio de la licencia según nos ha informado el equipo de MPL por correo electrónico. Sin embargo, este mantenimiento solo será del 15% durante el primer año ya que parte de ese mantenimiento viene incluido en el precio de la licencia.

Con esto, el **coste anual de software** sería de **1.960,00 € a partir del segundo año (el primer año sería 1.470,00 €)**.

2.2.2 Coste de hardware

Se estima que las **horas de utilización de los sistemas por parte de la herramienta** serán de 10 h/semana · 52 semanas/año para el cálculo semanal de previsiones con el método experto de selección y otras 72 horas/mes · 12 meses/año para investigar y ajustar ese método experto a través del método heurístico de selección. Para hallar el coste horario de los sistemas se ha supuesto una inversión en servidores informáticos de 20.000 € cada 5 años y se ha dividido entre el total de horas naturales de esos 5 años (5 años · 365 días/año · 24 horas/día) lo que da un coste unitario de 0,46 €/h.

El **coste asociado al hardware** asciende a **636,64 €**.

2.2.3 Coste de personal

En primer lugar, el **la utilización de la herramienta por los proveedores** se ha estimado como $15 \text{ técn aprovisionam} \cdot 1 \text{ hora/día} \cdot 5 \text{ días/semana} \cdot 52 \text{ semanas/año} = 3.900 \text{ horas/año}$. En cuanto al **mantenimiento de la herramienta**, se han previsto **2 horas a la semana para el informático** para posibles tareas semanales rutinarias de mantenimiento **y la mitad de ellas al ingeniero** que la ha desarrollado para solventar algún problema que pueda surgir con el uso continuado, no previsto en la partida inicial. Finalmente, el **coste total asociado al personal** es de **126.814,89 €**.

El **COSTE ANUAL DE LA HERRAMIENTA DE PREVISIÓN** asciende a **CIENTO VEINTINUEVE MIL CUATROCIENTOS ONCE COMA CINCUENTA Y TRES EUROS (129.411,53 €)**.

2.3 Recuperación de la inversión

Para calcular el periodo de retorno de este proyecto, habría que considerar, entre otros, factores tan difíciles de estimar como: ¿Cuánto descendería el coste de rotura de stock a raíz de la mejora en el acierto de las previsiones? Dada la complejidad de este cálculo, se ha optado por estimar el retorno de la inversión al contrario. Así pues, se supondrá un periodo de retorno de un año y se valorará cuánto debe reducir la empresa los costes asociados a la falta de servicio (pérdida de ventas). Se podrían incluir otros factores como la pérdida de stock percedero pero son datos muy difíciles de estimar y solamente se comentan aquí a nivel cualitativo.

En primer lugar, se estimará el **coste anual actual** asociado a las herramientas de previsión que actualmente posee la empresa. Se muestra resumidamente en la Tabla 2-4 y se justifica a continuación.

Tabla 2-4: Coste anual actual estimado de la empresa objeto de estudio.

	Cantidad (unidades/horas)	Coste unitario (€)	Coste total (€)
3. COSTE ANUAL ACTUAL			
3.1. Coste de software			0,00
<i>Herramienta Previsión GPO</i>	1,00	0,00	0,00
<i>Herramienta Previsión Ofertas</i>	1,00	0,00	0,00
3.2. Coste de hardware			636,64
<i>Servidor interno</i>	1.384,00	0,46	636,64
3.3. Coste de personal			239.734,46
<i>Utilización</i>			18.250,23
Técnico de Aprovisionamiento (horas)	585,00	31,20	18.250,23
<i>No Utilización/Mala previsión</i>			206.835,91
Técnico de Aprovisionamiento (horas)	6.630,00	31,20	206.835,91
<i>Mantenimiento GPO</i>			5.146,71
Personal externo (horas)	52,00	36,58	1.902,22
Informático (horas)	104,00	31,20	3.244,48
<i>Mantenimiento Hta. Prev. Ofertas</i>			9.501,61
Personal externo (horas)	96,00	36,58	3.511,80
Técnico de Organización (horas)	192,00	31,20	5.989,82
Total general	9.045,00	198,41	240.371,10

En cuanto a los **costes de software**, ya están implantados y en funcionamiento y son, además, propiedad de la empresa. Por tanto, el coste anual asociado a los mismos es **nulo**.

El apartado de **coste de hardware** se ha tomado idéntico al coste anual calculado para la herramienta que se propone en este TFM. Sin embargo, aunque las 10 horas semanales sí coinciden aproximadamente con el tiempo de cálculo empleado por GPO para realizar las previsiones ya que son tiempos similares, las otras 72 horas al mes se imputan, en este caso, a la herramienta de cálculo de previsiones de oferta. El coste de hardware se estima en **636,64 €**

En lo referente a los **costes de personal**, en este caso sí que existen mayores diferencias con respecto al proyecto propuesto. Se desglosan a continuación.

Para las horas de **utilización de GPO** por parte de los técnicos de aprovisionamiento se estima como un 15% de lo anteriormente estimado: $15 \text{ técn aprovisionam} \cdot 1 \text{ hora/día} \cdot 5 \text{ días/semana} \cdot 52 \text{ semanas/año} = 3.900 \text{ horas/año} \rightarrow 15\% \text{ de } 3.900 \text{ horas/año} = 585 \text{ horas/año}$. En cambio, el 85% restante de las horas que emplearía con la herramienta de previsión se estima que podría llegar a multiplicarse por dos. Tardaría dos veces más en realizar el mismo trabajo sin estar en disposición de las previsiones o, mejor dicho, de unas buenas previsiones. Se justifica a partir de la observación de cómo realizan el trabajo. De ahí, entre otros factores ya comentados, de la necesidad de tener unas previsiones de calidad. Así pues, **el coste de la no utilización por la mala previsión** se calcula a partir de las horas asociadas al trabajo de los técnicos de aprovisionamiento por este hecho. Se asocian $2 \text{ (factor incremental)} \cdot 0,85 \text{ (\% de no utilización actual)} \cdot 15 \text{ técn aprovisionam} \cdot 1 \text{ hora/día} \cdot 5 \text{ días/semana} \cdot 52 \text{ semanas/año} = 6.630 \text{ horas/año}$.

Como puede verse, la improductividad asociada al manejo de malas previsiones o al tener que calcularlas manualmente, supone coste anual importante para la empresa.

En cuanto a los **costes de mantenimiento**, para la herramienta **GPO** se asocian costes análogos a los asociados para la herramienta de este TFM. Sin embargo, para la **herramienta de previsiones de oferta** que, recordemos, debe ser manejada por el técnico de organización una vez al mes para incluir los incrementos de oferta en GPO, se estiman $2 \text{ días/mes} \cdot 8 \text{ horas/día} \cdot 12 \text{ meses/año} = 192 \text{ horas/año}$. Se asocian la mitad de horas para posibles problemas o dudas que le puedan surgir al técnico de aprovisionamiento y deba consultar al desarrollador externo de la herramienta.

El coste total anual asociado al personal es de 239.734,46 €.

EL COSTE ANUAL CON LAS HERRAMIENTAS DE PREVISIÓN ACTUALES de la empresa asciende a un total de **DOS CIENTOS CUARENTA MIL TRECIENTOS SETENTA Y UNO COMA DIEZ EUROS (240.371,10€)**.

Comparando este coste anual en la actualidad con el presupuestado para la nueva herramienta, se tiene un **ahorro de** (sin tener en cuenta la mejora del nivel de servicio o, lo que es lo mismo, la reducción de la rotura de stock que produciría) de 111.449,57 € para el primer año y de 110.959,57 € a partir del segundo ejercicio. Con este ahorro, **la inversión inicial de 82.674,46 € se recuperaría durante el primer año, en concreto, en menos de 9 meses.**

En relación a lo anterior se tiene que la herramienta comenzaría a ofrecer beneficio neto a partir del décimo mes desde su implantación y, a partir del segundo ejercicio incluido, **el beneficio anual sería de 110.959,57 €**. Cabe destacar que este ahorro es teórico puesto que la mayor parte de la

partida presupuestaria ahorrada se refiere a gastos de personal. Es decir, el beneficio no se haría efectivo si no se redujera la masa salarial asociada a los técnicos de aprovisionamiento. En este caso, como despedir a trabajadores resultará complicado, ese tiempo extra que obtienen los empleados podría aprovecharse para involucrarlos en cursos de formación que fomenten su crecimiento profesional dentro de la empresa y aporten más valor añadido a su trabajo.

Sin embargo, cabe resaltar que el periodo de retorno podría ser aún menor ya que, al **mejorar el acierto en las previsiones** y, también, al incrementar el porcentaje de uso que los técnicos aprovisionadores hacen de las previsiones, se podría **reducir la rotura de stock** considerablemente. Puesto que la inversión ya se recupera antes de un año, no será necesario realizar una estimación del ahorro necesario. Asimismo, cabe destacar que todo el **ahorro asociado a la mejora del nivel de servicio** del técnico aprovisionador irá íntegramente como beneficio desde el primer ejercicio en el que la herramienta esté implantada.

3 Implantación

Se presenta un plan básico de implantación con las fases y las tareas más importantes que se deberán realizar en cada una de ellas así como su extensión en el tiempo. Por último, se reseñan algunas dificultades que deben tenerse en cuenta para la implantación.

3.1 Plan de implantación

En la Tabla 3-1 se resume el plan de implantación propuesto. Seguidamente se justifican las tareas más importantes de cada fase y cómo se ha estimado la duración para éstas.

Tabla 3-1: Plan de implantación del proyecto con las principales fases, duración y personal implicado.

Tarea	Descripción de la tarea	Inicio	Fin	Duración (semanas)	Personal implicado	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
1	Fase de propuesta	S1	S2	2	Ingeniero externo, Directivos de la empresa, Técnico de Organización	■	■														
2	Fase de desarrollo	S3	S6	4	Ingeniero externo, Técnico de Organización, Informático			■	■	■	■										
3	Fase de implantación y pruebas	S7	S14	8	Ingeniero externo, Técnico de Organización, Informático							■	■	■	■	■	■	■	■	■	
4	Fase de formación y puesta en marcha	S15	S15	1	Formador, Técnicos de Aprovisionamiento																■

- 1. Fase de propuesta:** Se presenta el proyecto y se justifican sus necesidades y presupuesto. El equipo que ha desarrollado la herramienta, en este caso el alumno, mantiene una reunión con los directivos de la empresa (que serán en última instancia quienes tomen la decisión de invertir o no en el proyecto) y, también, con los técnicos de organización (que valorarán los aspectos técnicos de la propuesta). La reunión se realizaría la semana 1 y se proporciona un tiempo de una semana para la toma de la decisión (podría variar en función de las circunstancias).

2. **Fase de desarrollo:** Se planifican 4 reuniones de 5 horas entre el ingeniero diseñador de la herramienta, el informático que la implementará en los sistemas de la empresa y el técnico de organización. Las reuniones tendrán lugar a razón de una a la semana y en ellas se definirá en detalle la herramienta y se propondrán las modificaciones necesarias para adaptarse a los sistemas de la empresa. Se recogen también las peticiones específicas del técnico de organización que hará las veces de portavoz de los requisitos que le han transmitido los técnicos de aprovisionamiento a quienes proporciona apoyo.
3. **Fase de implantación y pruebas:** Periodo en el que el informático debe implementar la herramienta en los sistemas de la empresa. Dispondrá del apoyo del ingeniero diseñador para solventar dudas y problemas que puedan surgir durante el proceso. Puesto que esta fase suele tratarse de un proceso iterativo de prueba y error para detectar los problemas habituales que surgen en esta fase, se prevén 16 reuniones de seguimiento de 3 horas a razón de dos reuniones a la semana. A las reuniones asistirán el informático, el ingeniero y el técnico de organización. En ellas se debatirá el estado de avance del proyecto y se valorará si los recursos empleados en él son suficientes o habría que reajustar el presupuesto y plan de implantación inicial.
4. **Fase de formación y puesta en marcha:** Una vez la herramienta esté instalada y funcione correctamente, se prevé una clase de formación de 4 horas a la que asistirán los 15 técnicos de aprovisionamiento.

Cabe resaltar que el plan de implantación que se propone ha sido diseñado a medida de la empresa. De esa manera, ha prevalecido la compatibilidad de los trabajadores de la empresa empleados en el proyecto ante la rapidez de ejecución. Así pues, por las horas presupuestadas para cada fase, si los participantes del proyecto se emplearan a tiempo completo, podrían reducir a 1 semana la fase de desarrollo, a 2 semanas y media la fase de implantación y a media semana la fase de formación y puesta en marcha. Como mínimo, desde su aprobación, el proyecto podría ejecutarse en 4 semanas. Sin embargo, se ha respetado el trabajo habitual de los empleados de la empresa implicados en el proyecto tal y como es habitual y de ahí que solamente se les solicite emplearse a tiempo parcial para la consecución del proyecto según el plan de implantación propuesto.

3.2 Consideraciones respectivas a la implantación

En cuanto a los inconvenientes, el primer problema que puede encontrarse a la hora de implantar el proyecto tiene que ver con las etapas previas a la implantación de la herramienta propiamente dicha. Así pues, la presentación y justificación del presupuesto que será el primer paso para poder aprobar la implantación de la herramienta supone una etapa crítica en el proceso. Los pertinentes responsables valorarán todos los recursos que han invertido en la herramienta de previsión actual tanto en su fase de implantación como en los proyectos de mejora que ha ido teniendo. Aunque se intente interponer el dinero en la justificación, en este caso, es de vital importancia recalcar el hecho de que la actual herramienta proporciona unos errores de previsión demasiado elevados ($MAPE > 50\%$) lo que implica, como es obvio, un reducido nivel de utilización de la misma por parte de los técnicos de aprovisionamiento (apenas un 15% de utilización). Así pues, en la fase de propuesta y justificación del proyecto, hay que destacar estos parámetros así como los beneficios que proporcionaría la herramienta a partir de la mejora en las previsiones: en lo económico, reducir la rotura de stock y el

desecho de producto excedente (aunque es difícil de cuantificar) y, en lo personal, mejorar el trabajo diario de los técnicos de aprovisionamiento.

Otros problemas podrían aparecer al implementar la herramienta en secciones que no estén preparadas para ello o necesiten proyectos paralelos de mejora para poder hacer uso de la herramienta de manera eficaz. Es el caso de secciones que utilicen diferentes codificaciones para la referencia de venta al cliente final y la que se le solicita al proveedor. En ese caso, se puede tener en cuenta en la fase de desarrollo ya que no supondría demasiado inconveniente incluir esta objeción en el proyecto. Sin embargo, más complicado sería para aquellas referencias que tengan históricos erróneos. En ese caso, se podría intentar elaborar un listado con las referencias concretas y la fecha desde la que se podrían considerar sus históricos.

4 Consideraciones finales

Queda de manifiesto en este capítulo que la **inversión en este proyecto es totalmente recomendable para la empresa** objeto de estudio. Teniendo en cuenta las cifras con las que opera, el montante de la inversión inicial, casi con total certeza, **no necesitaría financiación**. Además, el periodo de retorno se ha estimado en 9 meses desde la fecha de puesta en marcha en real. Si se considera, además, el plan de implantación propuesto, **la herramienta comenzaría a dar beneficios netos, aproximadamente, a partir del segundo año** natural desde la fecha de inicio del proyecto.

Cabe remarcar que en este proyecto no se está teniendo en cuenta el posible ahorro que supondría la reducción de rotura de stock. Asimismo, se considera importante recordar que **este proyecto es la base de otro desarrollo adicional, necesario para la gestión integral de stock** que se propone en este TFM. Este último proyecto utilizará como input las previsiones que se calculan con la herramienta de este TFM, las tratará convenientemente y construirá el plan de requerimientos de distribución bajo los criterios de diseño que se definan. En última instancia, será el que permita automatizar el pedido a proveedor a partir de las previsiones. Desde aquí, nos atrevemos a estimar que este posible proyecto futuro supondría una inversión inicial similar ya que se podría utilizar software de nueva creación, diseñado a medida desde cero como es este caso que, aunque pueda suponer más horas de trabajo, no necesitaría de ningún solver comercial que no olvidemos se lleva más de la mitad de la partida presupuestaria inicial. Asimismo, contrastada la calidad de las previsiones que se calculan con la herramienta de este TFM, sin lugar a duda, la rotura de stock se reducirá considerablemente y el trabajo de los técnicos de aprovisionamiento será mucho más efectivo, teniendo tiempo extra para realizar tareas de mayor valor añadido.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Máster en Ingeniería Industrial

(Acceso desde Grado en Ingeniería Mecánica)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANEXOS

Diseño de una herramienta para la
previsión de la demanda basada en
modelos causales para una empresa del
sector de distribución de alimentos

Estudiante	Andrés Fuentes Pinel
Tutor	María del Mar Alemany Díaz
Cotutor	Raúl Poler Escoto
Curso académico	2015/16
Entrega y defensa	Septiembre, 2016



Índice de Anexos

ANEXO I: MODELO CAUSAL PROGRAMADO EN LENGUAJE MPL	106
ANEXO II: CÓDIGO VBA PARA LA GENERACIÓN DEL HISTÓRICO CON LAS VARIABLES CAUSALES (ARCHIVO “HISTORICO.MDB”)	110
II.1 CÓDIGO PRINCIPAL PARA LA GENERACIÓN DEL HISTÓRICO (MÓDULO “00_CODIGO_PRINCIPAL”).....	110
II.2 FUNCIONES AUXILIARIES PARA LA GENERACIÓN DEL HISTÓRICO	111
II.2.1 <i>Funciones para ejecutar consultas y macros (Módulo “01_Funcion_ejecutarMacro_ejecutarConsulta)</i>	<i>111</i>
II.2.2 <i>Función para leer fecha (Módulo “02_Funcion_leerFecha”)</i>	<i>112</i>
II.2.3 <i>Función para leer y almacenar en un vector los datos de un campo de una tabla (Módulo “03_Funcion_LeerVector_CampoTabla”).....</i>	<i>112</i>
II.2.4. <i>Función para evitar y habilitar ventanas de Access (Módulo “04_Funcion_evitar_habilitarVentanas”).....</i>	<i>113</i>
II.2.5 <i>Función para anexas datos de variables causales de calendario al histórico y crear registros futuros (Módulo “05_Funcion_anexarNuevosRegistros”).....</i>	<i>113</i>
ANEXO III: CÓDIGO VBA PARA EL CÁLCULO DE (ARCHIVO “00_ARCHIVO_BASE.MDB”).....	115
III.1 CÓDIGO PRINCIPAL PARA EL CÁLCULO DE PREVISIONES CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE SELECCIÓN	115
III.1.1. <i>Método de cálculo sin eliminar variables (Módulo “00_1_Codigo_Principal_1_conTodasVariables”).....</i>	<i>115</i>
III.1.2 <i>Método de cálculo mediante selección experta (Módulo “00_2_Codigo_Principal_2_Experto”)</i>	<i>117</i>
III.1.3 <i>Método de cálculo mediante selección heurística (Módulo “00_3_Codigo_Principal_3_Heuristico”).....</i>	<i>119</i>
III.2 FUNCIONES AUXILIARES PARA LA APLICACIÓN DE CÁLCULO DE PREVISIONES	124
III.2.1 <i>Funciones para ejecutar consultas y macros (Módulo “01_Funciones_ejecutarMacro_ejecutarConsulta”)</i>	<i>124</i>
III.2.2 <i>Función para actualizar el valor del artículo a calcular en cada paso iterativo (Módulo “03_Funcion_cambiarArticuloActual)</i>	<i>124</i>
III.2.3 <i>Función para leer y almacenar en un vector los datos de un campo de una tabla (Módulo “03_Funcion_LeerVector_CampoTabla”).....</i>	<i>124</i>
III.2.4 <i>Función para leer la fecha de previsiones almacenada en la tabla correspondiente (Módulo “04_Funcion_leer_fechaprev”).....</i>	<i>124</i>
III.2.5 <i>Función para actualizar la fecha de previsiones en la tabla correspondiente (Módulo “05_cambiarFechaPrev”)</i>	<i>125</i>
III.2.6 <i>Funciones para calcular la fecha y hora actual y almacenar los datos de cálculo (Módulo “06_Funcion_fecha_hora_duracion_grabarTODO”).....</i>	<i>125</i>
III.2.7 <i>Función para crear las diferentes combinaciones de variables según la combinación inicial considerada (Módulo “07_Funcion_crearIteraciones”).....</i>	<i>127</i>

III.2.8 Función para leer las diferentes iteraciones de la tabla correspondiente (Módulo "08_Funcion_IteracionesTabla").....	129
III.2.9 Función para actualizar el valor de la iteración actual en la tabla correspondiente (Módulo "09_Funcion_cambiarIteracionActual").....	130
III.2.10 Función para ejecutar la optimización del modelo MPL desde Access (Módulo "10_Funcion_EjecutarMPL").....	130
III.2.11 Función para calcular la función objetivo de acierto utilizada para la selección heurística de variables (Módulo "11_Funcion_CalcFuncionObjetivoACIERTO").....	131
III.2.12 Función para almacenar el valor calculado con la función anterior en la tabla correspondiente (Módulo "12_Funcion_GuardarFuncionObjetivo").....	132
III.2.13 Función para seleccionar la función objetivo con menor valor de todas las calculadas y almacenadas en su correspondiente tabla (Módulo "13_Funcion_SelecMejorFO").....	132
III.2.14 Función que devuelve el vector con la combinación de variables seleccionada con la función anterior (Módulo "14_Funcion_vectorIteracion").....	134

ANEXO I: Modelo causal programado en lenguaje MPL

```
!Modelo causal para cálculo de previsiones  
!Autor: Andrés Fuentes Pinel  
!TFM: "Diseño de una herramienta para la previsión de la demanda basada en modelos causales para una empresa del sector de  
distribución de alimentos"  
!Tutores: Raúl Poler Escoto  
! María del Mar Alemany Díaz  
!Máster en Ingeniería Industrial - Universidad Politécnica de Valencia  
!Curso: 2015/16  
  
!Modelo basado en...  
!(CC BY-NC-SA 3.0) Raul Poler 2012  
  
TITLE  
modelo_lineal_calculo_previsiones;  
  
OPTIONS  
DatabaseType=Access  
DatabaseAccess="00_archivo_base.mdb" !Nombre del fichero Access que contiene las tablas y código VBA.  
!Para el correcto funcionamiento, los ficheros:  
! modelo.mpl (el actual)  
! 00_archivo_base.mdb  
! Mplwin.exe (el ejecutable del software MPL)  
!se deben colocar en la misma carpeta, en una ruta que no contenga espacios ni caracteres especiales, en un directorio raíz  
del tipo C:\ o D:\  
  
ModelType=Linear; !Se trabaja con un modelo lineal.  
ParserType=Extended; !Para poder trabajar con paréntesis más fácilmente.  
  
INDEX  
t := DATABASE("DATOS", "t"); !índice de los valores observados en cada periodo a nivel diario.  
  
!!!!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!  
!!!!!! Calendario general !!!!!!! -> Valores genéricos para la fecha diaria  
dm := DATABASE("DiaMesT", "DiaMes"); !Número de día del mes (valor comprendido entre 1 y 31)  
ma := DATABASE("MesAnoT", "MesAno"); !Número de mes del año (valor comprendido entre 1=enero y 12=diciembre).  
a := DATABASE("AnoT", "Ano"); !Número del año (2013, 2014...)  
ds := DATABASE("DiaSemT", "DiaSem"); !Número de día de la semana (valor comprendido entre 1=lunes y 7=domingo)  
sa := DATABASE("SemAnoT", "SemAno"); !Número de semana del año (calculado mediante la fórmula "NUM.DE.SEMANA"  
de Excel)  
!!!!!! Festividades !!!!!!! -> Valores que dependen de las fechas a las que corresponda cada festividad considerada.  
fes := DATABASE("FestivoBinT", "FestivoBin"); !Índice que toma el valor 1 si el día es  
festivo. Valor nulo en cualquier otro caso.  
fesant:= DATABASE("FestivoAntT", "FestivoAnt") !Índice que toma los valores del  
1=falta 1 día para el día festivo al 3=faltan 3 días para el día festivo. Valor nulo en cualquier otro caso.  
fespos:= DATABASE("FestivoPosT", "FestivoPos"); !Índice que toma los valores del 1=ha pasado 1  
día desde el día festivo al 3=han pasado 3 días desde el día festivo. Valor nulo en cualquier otro caso.  
ss := DATABASE("SemanaSantaT", "SemanaSanta"); !Índice que toma los valores del 1 al 21 desde el  
lunes correspondiente a la semana de Domingo de Ramos hasta 3 semanas en adelante. Valor nulo en cualquier otro caso.  
fa := DATABASE("FallasT", "Fallas"); !Índice que toma los valores  
correspondientes al día del mes durante marzo (solamente de marzo). Valor nulo en cualquier otro caso.  
navid:= DATABASE("NavidadT", "Navidad"); !Índice que toma los valores del 1 al 32 desde el  
15 de diciembre hasta el 15 de enero del siguiente año, ambos incluidos. Valor nulo en cualquier otro caso.  
detall:=DATABASE("DetalleDiaT", "DetalleDia"); !Índice que toma los valores  
siguientes (0=Cerrado; 1=Abierto; 2=Festivo abierto; 3=Tiendas verano; 4=Domingo abierto)  
  
!!!!!!!!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!  
par := DATABASE("OfertaT", "IdOferta"); !índice que toma el valor 1 si el día se ve  
afectado por oferta. Valor nulo en cualquier otro caso.  
!NOTA: Las siguientes variables sólo tomarán valores distintos de cero si este parámetro tiene valor 1.  
dtoP := DATABASE("DescuentoOfertaPrecioT", "DescuentoOfertaPrecio"); !Índice que toma los valores siguientes  
(1=descuento de precio menor a un 5%; 2=descuento de precio entre un 5% y un 10%; 3=descuento de precio entre un 10% y un 15%;  
4=descuento de precio entre un 15% y un 20%; 5=descuento de precio mayor o igual a un 20%). Valor nulo en cualquier otro caso.  
dtoC := DATABASE("DescuentoOfertaChequeT", "DescuentoOfertaCheque"); !Índice que toma los valores  
siguientes (1=descuento de cheque menor a un 5%; 2=descuento de cheque entre un 5% y un 10%; 3=descuento de cheque entre un  
10% y un 15%; 4=descuento de cheque entre un 15% y un 20%; 5=descuento de cheque mayor o igual a un 20%). Valor nulo en  
cualquier otro caso.  
tipo := DATABASE("TipoOfertaT", "TipoOferta"); !Índice que toma el valor 1 si la oferta es de  
precio y el valor 2 si la oferta es de cheque ahorro.
```

```

iniof := DATABASE("InicioOfertaT", "InicioOferta");           !Índice que indica los días que han pasado desde que
empieza la oferta en curso (se indica solamente hasta el ecuador de la oferta). Valor nulo en cualquier otro caso.
finof := DATABASE("FinOfertaT", "FinOferta");               !Índice que indica los días que faltan para que
termine la oferta en curso (se indica solamente desde el ecuador de la oferta). Valor nulo en cualquier otro caso.
foll := DATABASE("FolletoT", "Folleto");                   !Índice que toma el valor 1 si la referencia aparece en el
folleto de la oferta.
port := DATABASE("PortadaT", "Portada");                   !Índice que toma el valor 1 si la referencia aparece en la
portada del folleto de la oferta.
dest := DATABASE("DestacadoT", "Destacado");               !Índice que toma el valor 1 si la referencia aparece como
destacada en el folleto de la oferta.
    
```

!!! Variables auxiliares !!!

```

iter:= DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "Iteracion");       !Índice con el número de iteraciones de las
diferentes combinaciones de variables consideradas.
    
```

DATA

```

V[t] := DATABASE("DATOS", "CantidadVendida");              !Cantidad vendida en el periodo t
    
```

!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!

!!!! Calendario general !!!!!

```

DiaMes[t] := DATABASE("DATOS", "DiaMes");
MesAño[t] := DATABASE("DATOS", "MesAño");
Año[t] := DATABASE("DATOS", "Año");
DiaSem[t] := DATABASE("DATOS", "DiaSemana");
SemAño[t] := DATABASE("DATOS", "SemanaAño");
    
```

!!!!!!! Festividades !!!!!!!!

```

FestivoBin[t] := DATABASE("DATOS", "FestivoBin");
FestivoAnt[t] := DATABASE("DATOS", "FestivoAnt");
FestivoPos[t] := DATABASE("DATOS", "FestivoPos");
SemanaSanta[t] := DATABASE("DATOS", "SemanaSanta");
Fallas[t] := DATABASE("DATOS", "Fallas");
Navidad[t] := DATABASE("DATOS", "Navidad");
DetalleDia[t] := DATABASE("DATOS", "DetalleDia");
    
```

!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!

```

Oferta[t] := DATABASE("DATOS", "Oferta_binario");
DescuentoOfertaPrecio[t] := DATABASE("DATOS", "DescuentoOfertaPrecio");
DescuentoOfertaCheque[t] := DATABASE("DATOS", "DescuentoOfertaCheque");
TipoOferta[t] := DATABASE("DATOS", "TipoOferta");
InicioOferta[t] := DATABASE("DATOS", "InicioOferta");
FinOferta[t] := DATABASE("DATOS", "FinalOferta");
Folleto[t] := DATABASE("DATOS", "Folleto");
Portada[t] := DATABASE("DATOS", "Portada");
Destacado[t] := DATABASE("DATOS", "Destacado");
    
```

!DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LA PREVISIÓN SELECCIONANDO VARIABLES DEL MODELO MEDIANTE ITERACIONES:

```

iterActual := DATABASE("05_IteracionActual", "Iteracion"); !Valor de la iteración actual
    
```

!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!

!!!! Calendario general !!!!!

```

itDiaMes[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "DiaMes");
itMesAño[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "MesAño");
itAño[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "Año");
itDiaSem[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "DiaSemana");
itSemAño[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "SemanaAño");
    
```

!!!!!!! Festividades !!!!!!!!

```

itFestivoBin[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "FestivoBin");
itFestivoAnt[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "FestivoAnt");
itFestivoPos[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "FestivoPos");
itSemanaSanta[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "SemanaSanta");
itFallas[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "Fallas");
itNavidad[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "Navidad");
itDetalleDia[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "DetalleDia");
    
```

!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!

```

itOferta[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "Oferta_binario");
itDescuentoOfertaPrecio[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "DescuentoOfertaPrecio");
itDescuentoOfertaCheque[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "DescuentoOfertaCheque");
itTipoOferta[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "TipoOferta");
itInicioOferta[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo", "InicioOferta");
    
```

```

itFinOferta[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo","FinalOferta");
itFolleto[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo","Folleto");
itPortada[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo","Portada");
itDestacado[iter] := DATABASE("05_FuncionesObjetivo","Destacado");

DECISION VARIABLES
!!!!!!! Variables para el cálculo del Error y el Error Absoluto !!!!!!!!!!!!!!!
Err[t] -> ERR_!Error
ErrA[t] -> ERA_ EXPORT TO DATABASE("DATOS","ErrorAbsoluto");

!!!!!!! Valores de previsión asociados a cada variable: !!!!!!!!!!!!!!!

!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!!!!!!!!
!!!! Calendario general !!!!!!!
DMc[dm] -> DMc_ EXPORT TO DATABASE("DiaMesT","DiaMesC");
MAc[ma] -> MAc_ EXPORT TO DATABASE("MesAnoT","MesAnoC");
Ac[a] -> Ac_ EXPORT TO DATABASE("AñoT","AñoC");
DSc[ds] -> DSc_ EXPORT TO DATABASE("DiaSemT","DiaSemC");
SAC[sa] -> SAC_ EXPORT TO DATABASE("SemAñoT","SemAñoC");

!!!!!!! Festividades !!!!!!!!
FestivoBinPrev[fes] -> FEBc_ EXPORT TO DATABASE("FestivoBinT","FestivoBinC");
FestivoAntPrev[fesant] -> FEAc_ EXPORT TO DATABASE("FestivoAntT","FestivoAntC");
FestivoPosPrev[fespos] -> FEPC_ EXPORT TO DATABASE("FestivoPosT","FestivoPosC");
SemanaSantaC[ss] -> SSc_ EXPORT TO DATABASE("SemanaSantaT","SemanaSantaC");
FallasPrev[fa] -> FAc_ EXPORT TO DATABASE("FallasT","FallasC");
NavidadPrev[navid] -> NAVc_ EXPORT TO DATABASE("NavidadT","NavidadC");
DetalleDiaPrev[detail] -> DetDc_ EXPORT TO DATABASE("DetalleDiaT","DetalleDiaC");

!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!!!!!!!!
OfertaPrev[par] -> AF1_ EXPORT TO DATABASE("OfertaT","OfertaPrev");
DescuentoOfertaPrevP[dtoP]-> DOPc_ EXPORT TO DATABASE("DescuentoOfertaPrecioT","DescuentoOfertaPrecioC");
DescuentoOfertaPrevC[dtoC]-> DOCC_ EXPORT TO DATABASE("DescuentoOfertaChequeT","DescuentoOfertaChequeC");
TipoOfertaPrev[tipo] -> TOc_ EXPORT TO DATABASE("TipoOfertaT","TipoOfertaC");
InicioOfertaPrev[iniof] -> IOc_ EXPORT TO DATABASE("InicioOfertaT","InicioOfertaC");
FinOfertaPrev[finof] -> FOC_ EXPORT TO DATABASE("FinOfertaT","FinOfertaC");
FolletoPrev[fol] -> FOLLc_ EXPORT TO DATABASE("FolletoT","FolletoC");
PortadaPrev[port] -> PORc_ EXPORT TO DATABASE("PortadaT","PortadaC");
DestacadoPrev[dest] -> DESTc_ EXPORT TO DATABASE("DestacadoT","DestacadoC");

P[t] -> P_ EXPORT TO DATABASE("DATOS","Prevision"); !Valor total de la previsión

MACROS
Errt:=SUM(t: ErrA); !Suma del error absoluto diario.

MODEL
MIN z = Errt; !Función objetivo: minimizar la suma de error absoluto

SUBJECT TO

!Restricción para el cálculo de la Previsión:
!Sólo se utilizan las variables para el cálculo de la previsión cuando no aparecen como cero en la tabla de
iteraciones.
!Para que no se asocie ningún valor para los índices iguales a cero de las variables, se multiplica por los propios
índices para así asegurar un cero en los índices nulos.
RCalculoP[t] -> RCP: P[t] =
!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!!!!!!!!
!!!! Calendario general !!!!!!!
DMc[dm:=DiaMes[t]] EXCEPT WHERE (itDiaMes[iter:=iterActual]=0.0 )
+ MAc[ma:=MesAno[t]] EXCEPT WHERE (itMesAno[iter:=iterActual]=0.0 )
+ Ac[a:=Año[t]] EXCEPT WHERE (itAño[iter:=iterActual]=0.0 )
+ DSc[ds:=DiaSem[t]] EXCEPT WHERE (itDiaSem[iter:=iterActual]=0.0 )
+ SAC[sa:=SemAño[t]] EXCEPT WHERE (itSemAño[iter:=iterActual]=0.0 )

!!!!!!! Festividades !!!!!!!!
!Con la multiplicación de las variables por sus índices se asegura que no habrá previsión para el valor 0.
+ FestivoBin[t]*FestivoBinPrev[fes:=FestivoBin[t]] EXCEPT WHERE (itFestivoBin[iter:=iterActual]=0.0 )
+ FestivoAnt[t]*FestivoAntPrev[fesant:=FestivoAnt[t]] EXCEPT WHERE (itFestivoAnt[iter:=iterActual]=0.0 )
+ FestivoPos[t]*FestivoPosPrev[fespos:=FestivoPos[t]] EXCEPT WHERE (itFestivoPos[iter:=iterActual]=0.0 )
+ SemanaSanta[t]*SemanaSantaC[ss:=SemanaSanta[t]] EXCEPT WHERE(itSemanaSanta[iter:=iterActual]=0.0 )

```

```

+ Fallas[t]*FallasPrev[fa:=Fallas[t]]                EXCEPT WHERE (itFallas[iter:=iterActual]=0.0 )
+ Navidad[t]*NavidadPrev[navid:=Navidad[t]]         EXCEPT WHERE (itNavidad[iter:=iterActual]=0.0 )
+ DetalleDia[t]*DetalleDiaPrev[detall:=DetalleDia[t]] EXCEPT WHERE (itDetalleDia[iter:=iterActual]=0.0 )
!!!!!!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!Con la multiplicación de las variables por sus índices se asegura que no habrá previsión para el valor 0.
+ Oferta[t] *OfertaPrev[par:=1]                     EXCEPT WHERE (itOferta[iter:=iterActual]=0.0 )
+ DescuentoOfertaPrecio[t]*DescuentoOfertaPrevP[dtOP:=DescuentoOfertaPrecio[t]] EXCEPT WHERE
(itDescuentoOfertaPrecio[iter:=iterActual]=0.0 )
+ DescuentoOfertaCheque[t] *DescuentoOfertaPrevC[dtOC:=DescuentoOfertaCheque[t]] EXCEPT WHERE
(itDescuentoOfertaCheque[iter:=iterActual]=0.0 )
+ TipoOferta[t] *TipoOfertaPrev[tipo:=TipoOferta[t]] EXCEPT WHERE (itTipoOferta[iter:=iterActual]=0.0 )
+ InicioOferta[t] *InicioOfertaPrev[iniof:=InicioOferta[t]] EXCEPT WHERE (itInicioOferta[iter:=iterActual]=0.0 )
+ FinOferta[t] *FinOfertaPrev[finof:=FinOferta[t]] EXCEPT WHERE (itFinOferta[iter:=iterActual]=0.0 )
+ Folleto[t] *FolletoPrev[fol:=Folleto[t]] EXCEPT WHERE (itFolleto[iter:=iterActual]=0.0 )
+ Portada[t] *PortadaPrev[port:=Portada[t]] EXCEPT WHERE (itPortada[iter:=iterActual]=0.0 )
+ Destacado[t] *DestacadoPrev[dest:=Destacado[t]] EXCEPT WHERE (itDestacado[iter:=iterActual]=0.0 )
;

!Restricciones para el cálculo del error absoluto:
RCalculoError[t] -> RCE: Err[t] = (P[t]-V[t]);
RCalculoErrorA1[t] -> RA1: Err[t] <= ErrA[t];
RCalculoErrorA2[t] -> RA2: -Err[t] <= ErrA[t];

FREE                                !Para que puedan tomar valores negativos.

Err[t];                                !El error de previsión puede tomar valores negativos.

!Se deja que todas las variables puedan tomar valores negativos para que sea el propio modelo el que seleccione los valores que ofrecen la mejor optimización.

!!!!!!!!!!!! EVENTOS DE CALENDARIO !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!! Calendario general !!!!!!!
DMC[dm];
Ac[a];
MAc[ma];
DSc[ds];
SAC[sa];
!!!!!! Festividades !!!!!!!
FestivoBinPrev[fes];
FestivoAntPrev[fesant];
FestivoPosPrev[fespos];
SemanaSantaC[ss];
FallasPrev[fa];
NavidadPrev[navid];
DetalleDiaPrev[detall];
!!!!!!!!!!!!!! EVENTOS DE OFERTA !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
OfertaPrev[par];
DescuentoOfertaPrevP[dtOP];
DescuentoOfertaPrevC[dtOC];
TipoOfertaPrev[tipo];
InicioOfertaPrev[iniof];
FinOfertaPrev[finof];
FolletoPrev[fol];
PortadaPrev[port];
DestacadoPrev[dest];

END
    
```

ANEXO II: Código VBA para la generación del Histórico con las variables causales (Archivo "HISTORICO.mdb")

II.1 Código principal para la generación del histórico (Módulo "00_CODIGO_PRINCIPAL")

```
''''''''''Función CODIGO_PRINCIPAL()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Genera las tablas "HISTORICO_ok" y "01_Ref_Activas" con los datos necesarios para el cálculo de previsiones.

Function CODIGO_PRINCIPAL()

'Se pregunta al usuario si está seguro que desea continuar tras mostrarle información sobre el proceso que va a realizar.
Dim respuesta As Integer
respuesta = MsgBox("Se van a cargar los datos del histórico. Esta acción puede tardar varios minutos. " & vbNewLine & " ¿Desea continuar?", vbYesNo, "Cargar Histórico")

If respuesta = vbNo Then
    MsgBox ("No se ha cargado el histórico.")
    Exit Function 'Si el usuario pulsa "No", termina la función.
Else
    'Si el usuario acepta continuar, se ejecuta el código principal.
    Call evitarVentanasAccess 'Evita la creación de mensajes emergentes de confirmación por parte de Access para las consultas.

'Se actualizan (eliminar-anexar) las fechas límite del calendario, histórico y la fecha máxima de previsiones a través de las consultas creadas para tal fin.
Call ejecutarConsulta("01_1_1_Eliminar_limite_calendario_fecha")
Call ejecutarConsulta("01_2_1_Eliminar_limite_historico_fecha")
Call ejecutarConsulta("01_3_1_Eliminar_Fecha_Max_Previsiones")
Call ejecutarConsulta("01_1_2_Actualizar_limite_calendario_fecha")
Call ejecutarConsulta("01_2_2_Actualizar_limite_historico_fecha")
Call ejecutarConsulta("01_3_2_Actualizar_Fecha_Max_Previsiones")

'Se leen los valores que se acaban de actualizar para esas fechas:
fechalimitesup = leerFecha("01_Fecha_limite_calendario", "Fecha_maxima")
fechamaxhist = leerFecha("01_Fecha_limite_historico", "FechaMaxHistorico")
fechalimiteinf = leerFecha("01_Fecha_limite_calendario", "Fecha_minima")
fechaminhist = leerFecha("01_Fecha_limite_historico", "FechaMinHistorico")

'En el caso de que la fecha mínima mantenida en CALENDARIO.xls sea superior a la fecha mínima del histórico cargado,
'se avisa al usuario de que sólo se cargarán registros a partir de la fecha mínima mantenida en CALENDARIO ya que, en
'caso contrario, no se tendrían datos sobre los eventos de CALENDARIO.
'Se pregunta al usuario si desea continuar, informándole de las fechas en cuestión.

If fechaminhist < fechalimiteinf Then
    Dim respuesta2 As Integer
    respuesta2 = MsgBox("Fecha mínima del histórico introducido: " & fechaminhist & _
        vbNewLine & "Fecha mínima mantenida en la tabla Excel vinculada CALENDARIO: " & fechalimiteinf & _
        vbNewLine & " Si continúa, solamente se añadirán registros a partir del " & fechalimiteinf & _
        vbNewLine & "¿Desea continuar? ", vbYesNo, "Mantener CALENDARIO")
    If respuesta2 = vbNo Then 'Si el usuario responde "No", termina la ejecución.
        Call habilitarVentanasAccess
        MsgBox ("No se ha cargado el histórico.")
        Exit Function
    End If
End If

'En el caso de que la fecha máxima mantenida en CALENDARIO.xls sea inferior a la fecha máxima del histórico cargado,
'se avisa al usuario de que no se cargarán registros ya que no hay información sobre eventos de calendario futuros.
'Como normalmente las previsiones se deberán calcular a futuro a partir de la fecha máxima del histórico, no se deja continuar hasta
'que el usuario no añada datos futuros de calendario.
'Se avisa al usuario que debe mantener el archivo CALENDARIO.xls informándole de las fechas en cuestión y termina la ejecución.

If fechalimitesup < fechamaxhist Then
    Call MsgBox("Fecha máxima del histórico introducido: " & fechamaxhist & _
        vbNewLine & "Fecha máxima mantenida en la tabla Excel vinculada CALENDARIO: " & fechalimitesup & _
        vbNewLine & " Por favor, actualice la tabla CALENDARIO. ", vbExclamation, "Mantener CALENDARIO")
```

```

Call habilitarVentanasAccess
MsgBox ("No se ha cargado el histórico.")
Exit Function
Else 'Caso en el que la fecha máxima de CALENDARIO.xls sea mayor a la fecha máxima del Histórico:
'En el caso de que la fecha máxima mantenida en CALENDARIO.xls sea mayor a la fecha máxima del histórico cargado, pero sea
inferior a 60 días, se avisa al usuario de que es probable que se necesiten más registros de fecha para calcular las previsiones hasta, al
menos, 60 días después de la fecha máxima del histórico.
'Se permite al usuario continuar si así lo desea pero se le informa de las fechas en cuestión.

If fechalimitesup < (fechamaxhist + 60) Then
Dim respuesta3 As Integer
respuesta3 = MsgBox("Fecha máxima del histórico introducido: " & fechamaxhist & _
vbNewLine & "Fecha máxima mantenida en la tabla Excel vinculada CALENDARIO: " & fechalimitesup & _
vbNewLine & "¿Desea continuar? (Se calcularán previsiones hasta el " & fechalimitesup & ")", vbYesNo, "Cargar Histórico")
If respuesta3 = vbNo Then 'Si el usuario pulsa "No", termina la ejecución.
Call habilitarVentanasAccess
MsgBox ("No se ha cargado el histórico.")
Exit Function
End If
End If
End If

'Una vez asegurados que los datos a cargar serán los correctos (no se comprueban los datos de Ofertas porque son más complejos),
'se procede a cargar el histórico previamente importado desde .csv a la tabla "HISTORICO".
Call ejecutarConsulta("99_Eliminar_HISTORICO_ok") 'Se eliminan todos los registros anteriores.
Call ejecutarConsulta("99_Anexar_HISTORICO_ok") 'Se anexan todos los registros de referencias activas en el MAESTRO.xls
Call ejecutarConsulta("01_Eliminar_Ref_Activas") 'Se eliminan todos los registros anteriores.
Call ejecutarConsulta("01_Anexar_Ref_Activas") 'Se anexan únicamente las referencias anexadas a "HISTORICO_ok"
Call ejecutarConsulta("99_1_Crear_Aux_Num_Ofertas_Articulo") 'Consulta auxiliar 1 para el cálculo del número de ofertas distintas
que ha tenido cada referencia a lo largo del histórico anexado.
Call ejecutarConsulta("99_2_Crear_Aux_Num_Ofertas_Articulo") 'Consulta auxiliar 2 para el cálculo del número de ofertas distintas
que ha tenido cada referencia a lo largo del histórico anexado.
Call ejecutarConsulta("99_Actualizar_Num_Ofertas_Articulo") 'Consulta que anexa el dato calculado de ofertas a la tabla
"01_Ref_Activas".
Call ejecutarMacro("01_Anexar_nuevos_Registros_con_CALEND") 'Macro que ejecuta la función "anexarNuevosRegistros" (se
podría llamar directamente a la función en esta línea.
Call ejecutarMacro("02_Act_HIST_con_OFERTA") 'Macro que ejecuta las diferentes consultas que actualizan los datos de
oferta en los registros de "HISTORICO_ok" a partir de "OFERTA.xls"

Call habilitarVentanasAccess 'Restaura la configuración habitual de cuadros de diálogo de Access.

MsgBox ("Ha finalizado el proceso de carga del histórico correctamente.") 'Mensaje de confirmación final.

End If
End Function
    
```

II.2 Funciones auxiliares para la generación del histórico

II.2.1 Funciones para ejecutar consultas y macros (Módulo

"01_Funcion_ejecutarMacro_ejecutarConsulta)

```

''''''''''Función ejecutarMacro(nombreMacro)''''''''''
'Entradas: nombreMacro (cadena de texto)= Nombre de la macro que se quiere ejecutar (entre comillas)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Simplemente ejecuta la macro programada en el archivo actual. Sirve para hacer más legible el código principal.

Function ejecutarMacro(nombreMacro_entrecomillas As String)

    DoCmd.RunMacro nombreMacro_entrecomillas

End Function

''''''''''Función ejecutarConsulta(nombreConsulta)''''''''''
'Entradas: nombreMacro (cadena de texto)= Nombre de la consulta que se quiere ejecutar (entre comillas)
'Salidas: (no tiene)
    
```

'FUNCIONAMIENTO: Simplemente ejecuta la consulta programada en el archivo actual. Sirve para hacer más legible el código principal.

```
Function ejecutarConsulta(nombreConsulta_entrecomillas As String)
    DoCmd.OpenQuery nombreConsulta_entrecomillas
End Function
```

II.2.2 Función para leer fecha (Módulo "02_Funcion_leerFecha")

```
''''''''''Función leerFecha(nombreTabla , nombreCampo )''''''''''
'Entradas: nombreCampo (tipo cadena - entre comillas) - Nombre entre comillas del campo perteneciente a la tabla sobre el que se quiere leer sus datos.
' nombreTabla (tipo cadena - entre comillas) - Nombre entre comillas de la tabla a la que pertenece el campo del que se quiere leer sus datos.
'Salidas: valor del primer (y único en teoría) registro del campo y tabla dados como entrada.
'FUNCIONAMIENTO: Función genérica usada para hacer más legible el código. Se usa para leer y almacenar en una variable las fechas de las tablas en las que se almacenan las fechas.

Function leerFecha(nombreTabla, nombreCampo)

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset(nombreTabla)

tabla.MoveFirst          'Poner el puntero en el primer registro (asegurar que se lee el primer registro)

Dim fecha As Date
fecha = tabla(nombreCampo) 'Se lee el valor almacenado

tabla.Close              'Cerrar tabla

leerFecha = fecha

End Function
```

II.2.3 Función para leer y almacenar en un vector los datos de un campo de una tabla (Módulo "03_Funcion_LeerVector_CampoTabla")

```
''''''''''Función LeerVector_CampoTabla(campo , tabla )''''''''''
'Entradas: campo (tipo cadena - entre comillas) - Nombre entre comillas del campo perteneciente a la tabla "tabla" sobre el que se quiere leer sus datos.
' tabla (tipo cadena - entre comillas) - Nombre entre comillas de la tabla a la que pertenece el campo "campo" del que se quiere leer sus datos.
'Salidas: vector con todos los datos del campo "campo" de la tabla "tabla".
'FUNCIONAMIENTO: Función genérica usada para hacer más legible el código. Se usa para leer y almacenar en un vector los datos correspondientes a un campo concreto de una tabla que se da como entrada.

Function LeerVector_CampoTabla(campo As String, tabla As String) As Variant

Dim idtabla As DAO.Recordset
Set idtabla = CurrentDb.OpenRecordset(tabla)

Dim i As Long
i = 0
Dim a() As Variant

'Comprobamos previamente si tiene datos
If Not (idtabla.EOF And idtabla.BOF) Then
    idtabla.MoveFirst          'Poner el puntero en el primer registro
    Do Until idtabla.EOF = True
        ReDim Preserve a(0 To i) As Variant 'Redimensionar el tamaño del array a() en cada paso el bucle
        a(i) = idtabla(campo)

        idtabla.MoveNext          'Mover puntero al siguiente registro
        i = i + 1                'actualizar el contador
    Loop
End Function
```



```

Loop
Else
    MsgBox "La tabla " & tabla & " está vacía."
End If

idtabla.Close      'Cerrar tabla
LeerVector_CampoTabla = a
End Function
    
```

II.2.4. Función para evitar y habilitar ventanas de Access (Módulo "04_Funcion_evitar_habilitarVentanas")

```

''''''''''Función evitarVentanasAccess()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Evita la creación de cuadros de diálogo de confirmación para las consultas.
' También deshabilita los cuadros de confirmación al guardar objetos (tablas, consultas, formularios...), por lo tanto,
' conviene volver a habilitarlas al finalizar el código.

Function evitarVentanasAccess()
DoCmd.SetWarnings False      'Evita la creación de cuadros de diálogo por Access.
End Function

''''''''''Función habilitarVentanasAccess()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Restaura el funcionamiento normal de los cuadros de diálogo de Access.

Function habilitarVentanasAccess()
DoCmd.SetWarnings True      'Habilita la creación de cuadros de diálogo por Access.
End Function
    
```

II.2.5 Función para anexar datos de variables causales de calendario al histórico y crear registros futuros (Módulo "05_Funcion_anexarNuevosRegistros")

```

''''''''''Función anexarNuevosRegistros()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Genera los nuevos registros futuros desde la fecha máxima del histórico hasta la fecha máxima de previsiones.
' Se actualizan los valores de los campos correspondientes a CALENDARIO y se ponen a cero todos los campos de OFERTA.
' Nota: La fecha máxima de previsiones será la fecha máxima del histórico más 60 días. En caso de que en el Excel
' de CALENDARIO.xls no esté mantenida hasta esa fecha, se generará solamente hasta la fecha máxima mantenida en
CALENDARIO.xls.

Function anexarNuevosRegistros()

fechamaxhist = leerFecha("01_Fecha_limite_historico", "FechaMaxHistorico")      'Fecha máxima del histórico.
fechamaxprev = leerFecha("01_Fecha_Max_Previsiones", "Fecha_max_prev")      'Fecha máxima hasta la que se anexarán nuevos
registros (se genera mediante la consulta "01_3_2_Actualizar_Fecha_Max_Previsiones".
' Esta fecha será el máximo entre la fecha disponible en el Excel "CALENDARIO" y la fecha
máxima del histórico más 60 días.

artAct = LeerVector_CampoTabla("Cod_Art", "01_Ref_Activas")      'Se leen todas las referencias activas encontradas en el
histórico (almacenadas en "01_Ref_Activas".

' Se leen todos los campos necesarios existentes en la tabla vinculada desde el Excel CALENDARIO.xls:
fechas_Cal = LeerVector_CampoTabla("Fecha", "CALENDARIO")
DetalleDia_Cal = LeerVector_CampoTabla("Detalle_Dia", "CALENDARIO")
fechaData_Cal = LeerVector_CampoTabla("Fecha_DATA", "CALENDARIO")
t_Cal = LeerVector_CampoTabla("t", "CALENDARIO")
diames_Cal = LeerVector_CampoTabla("DiaMes", "CALENDARIO")
mesano_Cal = LeerVector_CampoTabla("MesAno", "CALENDARIO")
ano_Cal = LeerVector_CampoTabla("Ano", "CALENDARIO")
diasem_Cal = LeerVector_CampoTabla("DiaSem", "CALENDARIO")
semano_Cal = LeerVector_CampoTabla("SemanaAno", "CALENDARIO")
festivobin_Cal = LeerVector_CampoTabla("FestivoBin", "CALENDARIO")
festivoant_Cal = LeerVector_CampoTabla("FestivoAnt", "CALENDARIO")
    
```

```
festivopost_Cal = LeerVector_CampoTabla("FestivoPost", "CALENDARIO")
semanasanta_Cal = LeerVector_CampoTabla("SemanaSanta", "CALENDARIO")
fallas_Cal = LeerVector_CampoTabla("Fallas", "CALENDARIO")
navidad_Cal = LeerVector_CampoTabla("Navidad", "CALENDARIO")
desc_detalledia_Cal = LeerVector_CampoTabla("Desc_Detalle_Dia", "CALENDARIO")

'Los nuevos registros se anexarán a la tabla "HISTORICO_ok"
Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("HISTORICO_ok")
Dim j As Long
j = 0
Dim k As Long
k = 0
tamj = UBound(artAct) 'Tamaño del vector que contiene las referencias.
tamk = UBound(fechas_Cal) 'Tamaño de los vectores que contienen los datos de CALENDARIO.xls

For j = 0 To tamj 'Bucle para recorrer todos los artículos.
'Comprobamos previamente si la tabla "HISTORICO_ok" tiene datos (en caso contrario, no se habrá anexado el histórico correctamente
y saltará un mensaje de error.
If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then
    For k = 0 To tamk 'Bucle para recorrer todos los registros de calendario, comprobar si la fecha del registro es mayor a la fecha
máxima del calendario y menor a la fecha máxima de previsiones.
        'Si se cumple, se anexa el registro correspondiente.
        If ((fechas_Cal(k) > fechamaxhist) And (fechas_Cal(k) < fechamaxprev) And (DetalleDia_Cal(k) > 0)) Then
            tabla.Edit
            tabla.MoveLast 'Llevamos el puntero al último registro para que anexe los nuevos registros al final.
            tabla.AddNew 'Instrucción para anexar nuevos registros.
            'Escribimos todos los nuevos campos de CALENDARIO (Los campos CALENDARIO en los registros existentes ya se han escrito en la
consulta de creación de HISTORICO_ok.
            tabla("Código Artículo") = artAct(j) 'Para cada paso del bucle en "j" hay que anexar todos los registros de Calendario.
            tabla("Fecha") = fechas_Cal(k)
            tabla("Fecha Venta (AAAAMMDD)") = fechaData_Cal(k)
            tabla("t") = t_Cal(k)
            tabla("DiaMes") = diames_Cal(k)
            tabla("MesAño") = mesano_Cal(k)
            tabla("Año") = ano_Cal(k)
            tabla("DiaSem") = diasem_Cal(k)
            tabla("SemanaAño") = semana_Cal(k)
            tabla("FestivoBin") = festivobin_Cal(k)
            tabla("FestivoAnt") = festivoant_Cal(k)
            tabla("FestivoPost") = festivopost_Cal(k)
            tabla("SemanaSanta") = semanasanta_Cal(k)
            tabla("Fallas") = fallas_Cal(k)
            tabla("Navidad") = navidad_Cal(k)
            tabla("Detalle_Dia") = DetalleDia_Cal(k)
            tabla("Desc_Detalle_Dia") = desc_detalledia_Cal(k)
            'Se ponen a cero los campos de Oferta (posteriormente solo se actualizarán los registros afectados por oferta.
            tabla("Oferta_binario") = 0
            tabla("DescuentoOfertaPrecio") = 0
            tabla("DescuentoOfertaCheque") = 0
            tabla("TipoOferta") = 0
            tabla("Follete") = 0
            tabla("Portada") = 0
            tabla("Destacado") = 0
            tabla("InicioOferta") = 0
            tabla("FinalOferta") = 0
            tabla.Update
        End If
    Next k
Else
    MsgBox "La tabla HISTORICO_ok está vacía."
End If
Next j
tabla.Close
End Function
```

ANEXO III: Código VBA para el cálculo de (Archivo "00_archivo_base.mdb")

Contiene las rutinas necesarias para interactuar con el resto de elementos y calcular previsiones con los diferentes métodos de selección de variables.

III.1 Código principal para el cálculo de previsiones con los diferentes métodos de selección

III.1.1. Método de cálculo sin eliminar variables (Módulo "00_1_Codigo_Principal_1_conTodasVariables")

```

''''''''''Función CODIGO_PRINCIPAL_conTodasVariables()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Ejecuta el código principal del BOTÓN 3 con todas las variables independientemente del tamaño del histórico o
el número de ofertas de cada referencia.

Function CODIGO_PRINCIPAL_1_conTodasVariables()

Forms!Menu_INICIO.Refresh      'Actualizar los campos introducidos en el formulario (Fecha Previsiones)

fechaminhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMin", "01_Ref_Activas")
fechamaxhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMax", "01_Ref_Activas")

'Inicio del código que muestra el mensaje inicial de confirmación.
fechaminmin = fechaminhist(0)
fechamaxmax = fechamaxhist(0)
For cont = 0 To UBound(fechamaxhist)
    If fechaminhist(cont) < fechaminmin Then
        fechaminmin = fechaminhist(cont)    'Se calcula la fecha mínima del histórico con datos.
    End If

    If fechamaxhist(cont) > fechamaxmax Then
        fechamaxmax = fechamaxhist(cont)    'Se calcula la fecha máxima del histórico con datos.
    End If
Next cont

fechahist = LeerVector_CampoTabla("Fecha", "HISTORICO_ok")

fechalimiteprev = fechahist(0)
For cont2 = 0 To UBound(fechahist)
    If fechahist(cont2) > fechalimiteprev Then
        fechalimiteprev = fechahist(cont2)    'Se calcula la fecha máxima del histórico hasta donde se calcularán previsiones.
    End If
Next cont2

fechaprev = leer_fechaprev()
numartic = UBound(fechamaxhist) + 1      'El número de artículos vendrá dado directamente por el tamaño del vector fechamaxhist
o fechaminhist de la tabla "01_Ref_Activas".

tiempoestim = Round(numartic * 4.2 / 60, 0) '(minutos)    'El valor constante 4.2 segundos se ha obtenido como promedio de los
artículos ensayados.

Dim respuesta As Integer
respuesta = MsgBox("Se van a calcular previsiones desde el " & fechaprev & " hasta el " & fechalimiteprev & ". " & _
    vbNewLine & "(Nota: Fecha máxima del histórico: " & fechamaxmax & ")." & _
    vbNewLine & "(Nota: Fecha mínima del histórico: " & fechaminmin & ")." & _
    vbNewLine & "Se han encontrado " & numartic & " artículos. " & _
    vbNewLine & "Tiempo estimado de cálculo: " & tiempoestim & " minutos. " & _
    vbNewLine & "¿Desea continuar?", _
    vbYesNo, "Cálculo de previsiones")

'Fin del código que muestra el mensaje inicial.

If respuesta = vbNo Then
    
```

```
Exit Function      'Si el usuario pulsa "No", sale de la función y no se realiza el cálculo.

Else      'El usuario pulsa "Si".

    DoCmd.SetWarnings False      'Evita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

    'Se usarán todas las variables en todas las referencias.
    variables = vectorvariables(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    crearIteraciones (variables) 'Se crean las iteraciones aunque solo se utilizará la primera que contiene todas las variables.

    'La iteracion 1 será la que incluya todas las variables explicativas.
    iteracionActual = 1      'Solo se usará la primera iteración
    cambiarIteracionActual (iteracionActual)

    b = LeerVector_CampoTabla("Cod_Art", "01_Ref_Activas")
    Dim tamB As Integer
    tamB = UBound(b)      'Será condición de parada del bucle For general (índice en i) para cada referencia. (OJO: ¡¡¡Si hay 6
referencias, tamB=5 porque el vector va de 0 a 5!!!

    Dim numitera As Integer
    numitera = 1      'Se inicializa el numero de iteraciones a 1 que será el que finalmente se grabe porque en este código sólo se
hace una iteración por referencia.

    Dim i As Integer
    For i = 0 To tamB      'Bucle que recorre todos los artículos

        'Grabamos la fecha y hora actual del sistema para almacenar posteriormente los tiempos de cálculo empleados en cada referencia.
        fecha1 = fechaActual()
        hora1 = horaActual()

        cambiarArticuloActual (b(i))      'Pone el artículo "b(i)" en la tabla auxiliar 01_ArticuloActual

        tamhist = fechaprev - fechaminhist(i)      'El tamaño con el que se trabaja será desde la fecha mínima del histórico hasta la fecha
requerida de previsiones (en teoría, debería ser la fecha máxima del histórico).

        If tamhist >= 7 Then      'Aseguramos que hay más de una semana para realizar los cálculos, en caso contrario, no se calcularán
previsiones

            ejecutarMacro ("00_Limpiar_DATOS")      'Elimina los registros de DATOS y 00 - DATOS sin previsiones

            ejecutarMacro ("01_Anexar_nuevos_DATOS")      'Importa desde la tabla del histórico los datos, solamente, de la
referencia activa en 01_ArticuloActual

            ejecutarMacro ("00_Limpiar_prev_tablas")      'Inicializa los valores de todas las tablas necesarias para el cálculo de
previsiones
            Call EjecutarMPL      'Abrir MPL y ejecutar optimización
            ejecutarMacro ("03_Cal_Prev")
            ejecutarMacro ("04_Exportar_Previsiones")

            metodo = 0
            desc_met = "Todas las variables"

        Else      'Si la diferencia entre la fecha mínima del histórico y la fecha de previsiones es inferior a 7 días, no se calculan previsiones.

            numitera = 0

            ejecutarConsulta ("00_Limpiar_EXPORTACION_Prev")      'Ponemos los datos de previsión a cero.
            metodo = 99
            desc_met = "No calculado (histórico inferior a 7 días)"

        End If

        fecha2 = fechaActual()
        hora2 = horaActual()

        Call grabarTODO(b(i), fecha1, hora1, fecha2, hora2, metodo, desc_met, numitera)      'Guardamos en la tabla "01_Ref_Activas" las
estadísticas de cálculo: fecha y hora inicial y final de cálculo, tiempo de cálculo, identificador del método (en este caso 0) y descripción
del método (en este caso "Todas las variables").
```

```

Next i

DoCmd.SetWarnings True      'Habilita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

End If

MsgBox ("El cálculo ha finalizado correctamente.")

End Function
    
```

III.1.2 Método de cálculo mediante selección experta (Módulo "00_2_Codigo_Principal_2_Experto")

```

'*****Función CODIGO_PRINCIPAL_sin_iterar()*****
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Ejecuta el código principal del BOTÓN 1 (con los métodos definidos pero sin realizar las iteraciones quitando
variables explicativas).

Function CODIGO_PRINCIPAL_2_Experto()

Forms!Menu_INICIO.Refresh      'Actualizar los campos introducidos en el formulario (Fecha Previsiones)

fechaminhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMin", "01_Ref_Activas")
fechamaxhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMax", "01_Ref_Activas")

'Inicio del código que muestra el mensaje inicial de confirmación.
fechaminmin = fechaminhist(0)
fechamaxmax = fechamaxhist(0)
For cont = 0 To UBound(fechamaxhist)
    If fechaminhist(cont) < fechaminmin Then
        fechaminmin = fechaminhist(cont)      'Se calcula la fecha mínima del histórico con datos.
    End If

    If fechamaxhist(cont) > fechamaxmax Then
        fechamaxmax = fechamaxhist(cont)      'Se calcula la fecha máxima del histórico con datos.
    End If
Next cont

fechahist = LeerVector_CampoTabla("Fecha", "HISTORICO_ok")

fechalimiteprev = fechahist(0)
For cont2 = 0 To UBound(fechahist)
    If fechahist(cont2) > fechalimiteprev Then
        fechalimiteprev = fechahist(cont2)      'Se calcula la fecha máxima del histórico hasta donde se calcularán previsiones.
    End If
Next cont2

fechaprev = leer_fechaprev()
numartic = UBound(fechamaxhist) + 1      'El número de artículos vendrá dado directamente por el tamaño del vector fechamaxhist
o fechaminhist de la tabla "01_Ref_Activas".

tiempoestim = Round(numartic * 4.2 / 60, 0) '(minutos)      'El valor constante 4.2 segundos se ha obtenido como promedio de los
artículos ensayados.

Dim respuesta As Integer
respuesta = MsgBox("Se van a calcular previsiones desde el " & fechaprev & " hasta el " & fechalimiteprev & ". " & _
vbNewLine & "(Nota: Fecha máxima del histórico: " & fechamaxmax & ")." & _
vbNewLine & "(Nota: Fecha mínima del histórico: " & fechaminmin & ")." & _
vbNewLine & "Se han encontrado " & numartic & " artículos. " & _
vbNewLine & "Tiempo estimado de cálculo: " & tiempoestim & " minutos. " & _
vbNewLine & "¿Desea continuar?", _
vbYesNo, "Cálculo de previsiones")

'Fin del código que muestra el mensaje inicial.

If respuesta = vbNo Then
Exit Function      'Si el usuario pulsa "No", sale de la función y no se realiza el cálculo.
    
```

```
Else 'El usuario pulsa "Si".

DoCmd.SetWarnings False 'Evita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

b = LeerVector_CampoTabla("Cod_Art", "01_Ref_Activas")
numofertas = LeerVector_CampoTabla("NumDeOfertasHistorico", "01_Ref_Activas")

Dim tamB As Integer
tamB = UBound(b) 'Será condición de parada del bucle For general (índice en i) para cada referencia. (OJO: ¡¡¡Si hay 6
referencias, tamB=5 porque el vector va de 0 a 5!!!

Dim numitera As Integer
numitera = 1 'Se inicializa el numero de iteraciones a 1 que será el que finalmente se grabe porque en este código sólo se
hace una iteración por referencia.

''''''''BUCLE PARA CADA ARTÍCULO''''''''
Dim i As Long
For i = 0 To tamB

'Grabamos la fecha y hora actual del sistema para almacenar posteriormente los tiempos de cálculo empleados en cada referencia.
fecha1 = fechaActual()
hora1 = horaActual()

cambiarArticuloActual (b(i)) 'Pone el artículo "i" en la tabla auxiliar 01_ArticuloActual

tamhist = fechaprev - fechaminhist(i)

If tamhist >= 7 Then 'Aseguramos que hay más de una semana para realizar los cálculos, en caso contrario, no se calcularán
previsiones

'Se definen las combinaciones de variables explicativas según el tamaño del histórico y el número de ofertas de cada artículo.
If ((tamhist > 365) And numofertas(i) > 1) Then
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 1
    desc_met = "Histórico superior a 365 días"
Elseif ((tamhist > 365) And numofertas(i) = 1) Then
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 1
    desc_met = "Histórico superior a 365 días"
Elseif ((tamhist > 365) And numofertas(i) = 0) Then
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 1
    desc_met = "Histórico superior a 365 días"

Elseif ((tamhist < 31) And numofertas(i) > 0) Then
    fechaprev2 = fechaprev - 7
    variables = vectorvariables(1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1)
    metodo = 3
    desc_met = "Histórico inferior a 31 días"
Elseif ((tamhist < 31) And numofertas(i) = 0) Then
    fechaprev2 = fechaprev - 7
    variables = vectorvariables(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1)
    metodo = 3
    desc_met = "Histórico inferior a 31 días"

Elseif numofertas(i) = 0 Then 'Caso en el que el histórico es menor a 365 días y mayor a 31 días.
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 2
    desc_met = "Histórico inferior a un año"
Elseif numofertas(i) = 1 Then
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 2
```

```

desc_met = "Histórico inferior a un año"
Elseif numofertas(i) > 1 Then
    fechaprev2 = fechaprev - 14
    variables = vectorvariables(1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
    metodo = 2
    desc_met = "Histórico inferior a un año"
End If

ejecutarMacro ("00_Limpiar_DATOS")           'Elimina los registros de DATOS y 00 - DATOS sin previsiones

ejecutarMacro ("01_Anexar_nuevos_DATOS")     'Importa desde la tabla del histórico los datos, solamente, de la
referencia activa en 01_ArticuloActual

crearIteraciones (variables)

iteracionActual = 1 'Solo se usará la iteración 1 que contiene todas las variables de cada método.
cambiarIteracionActual (iteracionActual)     'Pone el valor contenido en iteracion(j) en la tabla auxiliar 05_iteracionActual
ejecutarMacro ("00_Limpiar_prev_tablas")     'Inicializa los valores de todas las tablas necesarias para el cálculo de
previsiones

Call EjecutarMPL                             'Abrir MPL y ejecutar optimización

ejecutarMacro ("03_Cal_Prev")                 'Calculamos previsiones a partir de los valores por el MPL en las tablas de cada
variable

ejecutarMacro ("04_Exportar_Previsiones")     'Exportamos las previsiones calculadas (tanto a pasado - ajuste como a
futuro - acierto a la BBDD general del histórico.

Else 'Si la diferencia entre la fecha mínima del histórico y la fecha de previsiones es inferior a 7 días, no se calculan previsiones.

    numitera = 0

    ejecutarConsulta ("00_Limpiar_EXPORTACION_Prev") 'Ponemos los datos de previsión a cero.
    metodo = 99
    desc_met = "No calculado (histórico inferior a 7 días)"

End If

fecha2 = fechaActual()
hora2 = horaActual()

Call grabarTODO(b(i), fecha1, hora1, fecha2, hora2, metodo, desc_met, numitera)

Next i

DoCmd.SetWarnings True                       'Habilita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

End If

MsgBox ("El cálculo ha finalizado correctamente.")

End Function
    
```

III.1.3 Método de cálculo mediante selección heurística (Módulo "00_3_Codigo_Principal_3_Heuristico")

```

*****Función CODIGO_PRINCIPAL_Iterando()*****
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Ejecuta el código principal del BOTÓN 2 (con los métodos definidos realizando las iteraciones
' para quitar las variables explicativas que empeoren el nivel de acierto).

Function CODIGO_PRINCIPAL_3_Heuristico()

Forms!Menu_INICIO.Refresh                   'Actualizar los campos introducidos en el formulario (Fecha Previsiones)

fechaminhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMin", "01_Ref_Activas")
    
```

```
fechamaxhist = LeerVector_CampoTabla("FechaMax", "01_Ref_Activas")

'Inicio del código que muestra el mensaje inicial de confirmación.
fechaminmin = fechaminhist(0)
fechamaxmax = fechamaxhist(0)
For cont = 0 To UBound(fechamaxhist)
  If fechaminhist(cont) < fechaminmin Then
    fechaminmin = fechaminhist(cont)   'Se calcula la fecha mínima del histórico con datos.
  End If

  If fechamaxhist(cont) > fechamaxmax Then
    fechamaxmax = fechamaxhist(cont)   'Se calcula la fecha máxima del histórico con datos.
  End If
Next cont

fechahist = LeerVector_CampoTabla("Fecha", "HISTORICO_ok")

fechalimiteprev = fechahist(0)
For cont2 = 0 To UBound(fechahist)
  If fechahist(cont2) > fechalimiteprev Then
    fechalimiteprev = fechahist(cont2)   'Se calcula la fecha máxima del histórico hasta donde se calcularán previsiones.
  End If
Next cont2

fechaprev = leer_fechaprev()
numartic = UBound(fechamaxhist) + 1      'El número de artículos vendrá dado directamente por el tamaño del vector fechamaxhist
o fechaminhist de la tabla "01_Ref_Activas".

tiempoestim = "(Varios minutos por referencia)"

Dim respuesta As Integer
respuesta = MsgBox("Se van a calcular previsiones desde el " & fechaprev & " hasta el " & fechalimiteprev & ". " & _
vbNewLine & "(Nota: Fecha máxima del histórico: " & fechamaxmax & ")." & _
vbNewLine & "(Nota: Fecha mínima del histórico: " & fechaminmin & ")." & _
vbNewLine & "Se han encontrado " & numartic & " artículos." & _
vbNewLine & "Tiempo estimado de cálculo: " & tiempoestim & " " & _
vbNewLine & "¿Desea continuar?", _
vbYesNo, "Cálculo de previsiones")

'Fin del código que muestra el mensaje inicial.

If respuesta = vbNo Then
  Exit Function      'Si el usuario pulsa "No", sale de la función y no se realiza el cálculo.

Else      'El usuario pulsa "Si".

  DoCmd.SetWarnings False      'Evita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

  b = LeerVector_CampoTabla("Cod_Art", "01_Ref_Activas")
  numofertas = LeerVector_CampoTabla("NumDeOfertasHistorico", "01_Ref_Activas")

  Dim tamB As Integer
  tamB = UBound(b)      'Será condición de parada del bucle For general (índice en i) para cada referencia. (OJO: ¡¡¡Si hay 6
referencias, tamB=5 porque el vector va de 0 a 5!!!

  Dim numitera As Integer

  """"""BUCLE PARA CADA ARTÍCULO en "i" """"""
  Dim i As Integer
  For i = 0 To tamBB

    fecha1 = fechaActual()      'Grabamos la fecha y hora actual del sistema para almacenar posteriormente los
tiempos de cálculo empleados en cada referencia.
    hora1 = horaActual()

    cambiarArticuloActual (b(i))      'Pone el artículo "b(i)" en la tabla auxiliar 01_ArticuloActual
```



```
'Una vez anexados los datos, este paso no afecta al cálculo.
'''''' BUCLE PARA SACAR VARIABLES DEL CÁLCULO DE PREVISIONES ''''''''
For k = 1 To 3 'Realizar el cálculo 3 veces para cada artículo (se pueden sacar hasta 3 variables del modelo).

    crearIteraciones (variables) 'Inicialmente se alimentará de la combinación inicial según las combinaciones anteriores.
        'En los siguientes pasos se alimentará de la combinación que mejor resultado ha ofrecido tras las
iteraciones.

        iteracion = IteracionesTabla() 'Crear vector iteracion con las Iteraciones contenidas en la tabla
05_FuncionesObjetivo
        Dim tamA As Integer
        tamA = UBound(iteracion) 'Se define el tamaño del bucle con todas las iteraciones a realizar para cada
referencia.
        Dim FunObj As Double

        'Bucle que recorre todas las iteraciones almacenadas en la tabla 05_FuncionesObjetivo, las ejecuta y guarda el valor de la FO
de ACIERTO entre fechaprev2 y fechaprev.
        Dim j As Integer
        For j = 1 To tamA 'La iteración 0 no se utiliza

            numitera = numitera + 1 'Contador del número de iteraciones realizadas para cada artículo.

            Dim iteracionActual As Integer
            iteracionActual = iteracion(j)
            cambiarIteracionActual (iteracionActual) 'Pone el valor contenido en iteracion(j) en la tabla auxiliar
05_IteracionActual
            ejecutarMacro ("00_Limpiar_prev_tablas") 'Inicializa los valores de todas las tablas necesarias para el cálculo de
previsiones

            Call EjecutarMPL 'Abrir MPL y ejecutar optimización

            ejecutarMacro ("03_Cal_Prev") 'Calculamos previsiones a partir de los valores por el MPL en las tablas de
cada variable

            FunObj = CalcFuncionObjetivoAcierto(fechaprev2, fechaprev) 'Se calcula el valor de la Función Objetivo (suma de errores
absolutos) desde la fechaprev2 hasta fechaprev.

            Call GuardarFuncionObjetivo(FunObj, iteracionActual) 'Almacena el valor de la Función Objetivo en la tabla
05_FuncionesObjetivo

            Next j

            mejorIteracion = SelecMejorFO() 'Devuelve el registro o "Iteracion" con mejor valor de FO almacenado en
la tabla "05_FuncionesObjetivo"

            variables2 = vectorIteracion(mejorIteracion) 'Devuelve el vector que contiene las variables utilizadas en la mejor
iteración obtenida en este paso.

            'Bucle para comprobar que este paso no es igual al anterior. Si fuera igual, termina el bucle for en "k"
            Dim cuenta As Integer
            cuenta = 0

            For m = 0 To 20
                If variables2(m) = variables(m) Then
                    cuenta = cuenta + 1
                End If
                variables(m) = variables2(m) 'A la misma vez, preparamos el vector "variables" para la siguiente iteración con los valores
almacenados en "variables2" que es la mejor iteración actual.
            Next m

            If cuenta = 21 Then
                Exit For 'Si la combinación de variables obtenida en este paso es la misma que en el paso anterior, sale del bucle en
k (ahorro computacional).
            End If

            Next k

''''''GRABAR LA MEJOR ITERACIÓN ''''''''
```

```

'Hay que volver a ejecutar la optimización con el mejor valor hallado para almacenar los valores de previsión en las tablas y
poder calcular previsiones futuras y exportarlos a la BDD general
numitera = numitera + 1 'Contador con el número de iteraciones (sumamos 1 más aunque se tenga que calcular una
iteración que ya se ha calculado anteriormente).

    cambiarIteracionActual (mejorIteracion)          'Pone el indicador de la mejor iteración en la tabla auxiliar
05_IteracionActual
    ejecutarMacro ("00_Limpiar_prev_tablas")        'Inicializa los valores de todas las tablas necesarias para el cálculo de
previsiones

    ejecutarMacro ("00_Limpiar_DATOS")              'Elimina los registros de DATOS y 00 - DATOS sin previsiones
    ejecutarMacro ("00_Limpiar_prev_tablas")        'Inicializa los valores de todas las tablas necesarias para el cálculo de
previsiones
'Recordar que ahora se anexarán los DATOS hasta la fecha de previsión que el usuario ha seleccionado.
    ejecutarMacro ("01_Anexar_nuevos_DATOS")        'Importa desde la tabla del histórico los datos, solamente, de la
referencia activa en 01_ArticuloActual

    Call EjecutarMPL                                'Abrir MPL, ejecutar optimización y esperar a que termine

    ejecutarMacro ("03_Cal_Prev")                    'Calculamos previsiones a partir de los valores por el MPL en las tablas de cada
variable
    ejecutarMacro ("04_Exportar_Previsiones")        'Exportamos las previsiones calculadas (tanto a pasado - ajuste como a
futuro - acierto a la BBDD general del histórico.

Else 'En el caso de que el histórico no sea reciente, no se pueden realizar iteraciones para comprobar el acierto. Se
calculan directamente con todas las variables.

    numitera = 1 'El número de iteraciones en este caso es 1

    ejecutarMacro ("00_Limpiar_DATOS")

    crearIteraciones (variables)

    iteracionActual = 1 'Solo se usará la primera iteración
    cambiarIteracionActual (iteracionActual)

    cambiarArticuloActual (b(i))                    'Pone el artículo "i" en la tabla auxiliar 01_ArticuloActual

    ejecutarMacro ("01_Anexar_nuevos_DATOS")        'Importa desde la tabla del histórico los datos, solamente, de la
referencia activa en 01_ArticuloActual

    Call EjecutarMPL                                'Abrir MPL, ejecutar optimización y esperar a que termine

    ejecutarMacro ("03_Cal_Prev")                    'Calculamos previsiones a partir de los valores por el MPL en las tablas de cada
variable
    ejecutarMacro ("04_Exportar_Previsiones")        'Exportamos las previsiones calculadas (tanto a pasado - ajuste como a
futuro - acierto a la BBDD general del histórico.

End If

Else 'En el caso de que la fecha mínima del histórico no sea inferior a 7 días por debajo de la fecha de previsiones requeridas, no
se pueden calcular previsiones.

    numitera = 0 'No se llegan a realizar iteraciones.

    ejecutarConsulta ("00_Limpiar_EXPORTACION_Prev") 'Ponemos los datos de previsión a cero.
    metodo = 99
    desc_met = "No calculado (histórico inferior a 7 días)"

End If

'Calculamos la fecha y hora de cálculo final y posteriormente guardamos los datos del cálculo en la tabla 01_Ref_Activas.
fecha2 = fechaActual()
hora2 = horaActual()

Call grabarTODO(b(i), fecha1, hora1, fecha2, hora2, metodo, desc_met, numitera)
    
```

```
Next i

DoCmd.SetWarnings True      'Habilita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

End If

MsgBox ("El cálculo ha finalizado correctamente.")

End Function
```

III.2 Funciones auxiliares para la aplicación de cálculo de previsiones

III.2.1 Funciones para ejecutar consultas y macros (Módulo "01_Funciones_ejecutarMacro_ejecutarConsulta")

Ídem a las funciones del apartado II.2.1 del Anexo II.

III.2.2 Función para actualizar el valor del artículo a calcular en cada paso iterativo (Módulo "03_Funcion_cambiarArticuloActual")

```
''''''''''Función cambiarArticuloActual(Referencia)''''''''''
'Entradas: Referencia (entero) = código de la referencia que se quiere escribir en la tabla "01_ArticuloActual".
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Escribe el valor dado como entrada en la tabla "01_ArticuloActual". Previamente, ese valor ha sido
'leído en la tabla "01_Ref_Activas" a través de otra sub-rutina. Posteriormente, este valor servirá para traer
'el histórico de la referencia en cuestión sobre las tablas "DATOS" y "00 - Datos sin previsiones".

Function cambiarArticuloActual(Referencia)

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("01_ArticuloActual")

tabla.MoveFirst      'Poner el puntero en el primer registro (asegurar que se escribe en el primer registro)
tabla.Edit           'Abrir en modo edición
tabla("Articulo") = Referencia  'Se escribe el valor dado como entrada en el único campo de la tabla ("Articulo")
tabla.Update
tabla.MoveNext      'Mover puntero al siguiente registro (No es necesario en este caso puesto que la tabla solo tiene un
registro.
tabla.Close         'Cerrar tabla

End Function
```

III.2.3 Función para leer y almacenar en un vector los datos de un campo de una tabla (Módulo "03_Funcion_LeerVector_CampoTabla")

Ídem a la función del apartado II.2.3 del Anexo II.

III.2.4 Función para leer la fecha de previsiones almacenada en la tabla correspondiente (Módulo "04_Funcion_leer_fechaprev")

```
''''''''''Función leer_fechaprev()''''''''''
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: Fecha almacenada en la tabla "01_FechaCalculoPrevisiones". En realidad, esta fecha se dará como entrada a través
'del formulario INICIO.
'FUNCIONAMIENTO: Lee y devuelve como salida la fecha desde la que se calcularán previsiones (almacenada en la tabla
"01_FechaCalculoPrevisiones").

Function leer_fechaprev()

Forms!Menu_INICIO.Refresh 'Instrucción necesaria para que actualice el registro de la tabla con la fecha introducida en el formulario.
```

```

fechaprev = LeerVector_CampoTabla("FechaCalculoPrev", "01_FechaCalculoPrevisiones") 'Utilizamos la función creada para leer
vectores y nos quedamos con el primer registro.

```

```

leer_fechaprev = fechaprev(0)

```

```

End Function

```

III.2.5 Función para actualizar la fecha de previsiones en la tabla correspondiente (Módulo "05_cambiarFechaPrev")

```

''''''''''Función cambiarArticuloActual(Referencia)''''''''''

```

```

'Entradas: Referencia (entero) = código de la referencia que se quiere escribir en la tabla "01_ArticuloActual".

```

```

'Salidas: (no tiene)

```

```

'FUNCIONAMIENTO: Escribe el valor dado como entrada en la tabla "01_ArticuloActual". Previamente, ese valor ha sido

```

```

'leído en la tabla "01_Ref_Activas" a través de otra sub-rutina. Posteriormente, este valor servirá para traer

```

```

'el histórico de la referencia en cuestión sobre las tablas "DATOS" y "00 - Datos sin previsiones".

```

```

Function cambiarFechaPrev(fecha)

```

```

Dim tabla As DAO.Recordset

```

```

Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("01_FechaCalculoPrevisiones")

```

```

tabla.MoveFirst           'Poner el puntero en el primer registro (asegurar que se escribe en el primer registro)

```

```

tabla.Edit                'Abrir en modo edición

```

```

tabla("FechaCalculoPrev") = fecha 'Se escribe el valor dado como entrada en el único campo de la tabla ("Articulo")

```

```

tabla.Update

```

```

tabla.MoveNext           'Mover puntero al siguiente registro (No es necesario en este caso puesto que la tabla solo tiene un
registro.

```

```

tabla.Close              'Cerrar tabla

```

```

End Function

```

III.2.6 Funciones para calcular la fecha y hora actual y almacenar los datos de cálculo (Módulo "06_Funcion_fecha_hora_duracion_grabarTODO")

```

''''''''''Función horaActual()''''''''''

```

```

'Entradas: (no tiene)

```

```

'Salidas: Devuelve la hora actual del sistema en formato "HH:MM:SS".

```

```

'FUNCIONAMIENTO: Lee y devuelve la hora actual del sistema. Se utilizará para grabar los datos de ejecución y calcular la duración.

```

```

Function horaActual()

```

```

hora = Hour(Now())

```

```

min = Minute(Now())

```

```

seg = Second(Now())

```

```

hora_min_seg = TimeSerial(hora, min, seg)

```

```

horaActual = hora_min_seg

```

```

End Function

```

```

''''''''''Función fechaActual()''''''''''

```

```

'Entradas: (no tiene)

```

```

'Salidas: Devuelve la fecha actual del sistema en formato "DD/MM/AAAA".

```

```

'FUNCIONAMIENTO: Lee y devuelve la fecha actual del sistema. Se utilizará para grabar los datos de ejecución y calcular la duración.

```

```

Function fechaActual()

```

```

dia = Day(Now())

```

```

mes = Month(Now())

```

```

Año = Year(Now())

```

```

fecha = DateSerial(Año, mes, dia)

```

```

fechaActual = fecha

```

```

End Function

```

```
*****Función diferencia_tiempo(fecha_ini, hora_ini, fecha_fin, hora_fin)*****
'Entradas: fecha_ini (formato fecha "DD/MM/AAAA") de la fecha inicial desde la que se quiere calcular el tiempo.
' hora_ini (formato hora "HH:MM:SS") de la hora inicial desde la que se quiere calcular el tiempo.
' fecha_fin (formato fecha "DD/MM/AAAA") de la fecha final hasta la que se quiere calcular el tiempo.
' hora_fin (formato hora "HH:MM:SS") de la hora final hasta la que se quiere calcular el tiempo.
' NOTA: La función no está preparada para calcular duraciones con diferencias entre fecha_ini y fecha_fin de más de un día.
' NOTA 2: Si la fecha - hora inicial es superior a la fecha - hora final, no dará error pero el cálculo de la duración no será correcta.
'Salidas: Devuelve la duración calculada a partir de las fechas y hora inicial y final pasadas como entrada en formato "HH:MM:SS".
'FUNCIONAMIENTO: Función concebida para calcular el tiempo de cálculo de cada referencia.

Function diferencia_tiempo(fecha_ini, hora_ini, fecha_fin, hora_fin)

If fecha_ini = fecha_fin Then
    diferencia_tiempo = hora_fin - hora_ini
    diferencia_tiempo = Format(diferencia_tiempo, "HH:mm:ss")
Else
    diferencia_tiempo = hora_fin + (#11:59:59 PM# - hora_ini + #12:00:01 AM#) 'Aseguramos que si hay diferencias de día, el tiempo de
ejecución se
    diferencia_tiempo = Format(diferencia_tiempo, "HH:mm:ss") 'calcula teniendo en cuenta
que son días diferentes para hacer la operación.
End If

End Function

*****Función grabarTODO(articulo, fecha_inicio, hora_inicio, fecha_fin, hora_fin, num_metodo, desc_metodo,
num_iteracion)*****
'Entradas: articulo (entero largo) con el código del artículo del que se quieren guardar la información del cálculo
' fecha_inicio (formato fecha "DD/MM/AAAA") de la fecha inicial desde la que se quiere calcular el tiempo.
' hora_inicio (formato hora "HH:MM:SS") de la hora inicial desde la que se quiere calcular el tiempo.
' fecha_fin (formato fecha "DD/MM/AAAA") de la fecha final hasta la que se quiere calcular el tiempo.
' hora_fin (formato hora "HH:MM:SS") de la hora final hasta la que se quiere calcular el tiempo.
' num_metodo (entero) que representa el identificador del método de cálculo utilizado.
' desc_metodo (cadena de texto - entre comillas) que describe el método de cálculo.
' num_iteracion (entero) que representa el número de iteraciones utilizadas para calcular el artículo dado como entrada
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Guarda toda la información dada como entrada en la referencia concreta de la tabla "01_Ref_Activas".

Function grabarTODO(articulo, fecha_inicio, hora_inicio, fecha_fin, hora_fin, num_metodo, desc_metodo, num_iteracion)

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("01_Ref_Activas")

Dim i As Integer
i = 0
Dim a() As Variant

If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then

    tabla.MoveFirst 'Poner el puntero en el primer registro

    Do Until tabla.EOF = True

        If tabla("Cod_Art") = articulo Then
            tabla.Edit

            tabla("FechaInicioUltimaEjecucion") = fecha_inicio
            tabla("HoraInicioUltimaEjecucion") = hora_inicio
            tabla("FechaFinUltimaEjecucion") = fecha_fin
            tabla("HoraFinUltimaEjecucion") = hora_fin
            tabla("DuracionUltimaEjecucion") = diferencia_tiempo(fecha_inicio, hora_inicio, fecha_fin, hora_fin)

            tabla("MetodoCalculo") = num_metodo
            tabla("Desc_Metodo") = desc_metodo

            tabla("IteracionFinal") = num_iteracion

            tabla.Update
```

```

End If
tabla.MoveNext           'Mover puntero al siguiente registro
i = i + 1                'actualizar el contador
Loop
Else
MsgBox "La tabla 01_Ref_Activas está vacía. Comprobar que el histórico no está vacío y que se han ejecutado correctamente las macros y consultas anteriores."
End If

tabla.Close             'Cerrar tabla

End Function
    
```

III.2.7 Función para crear las diferentes combinaciones de variables según la combinación inicial considerada (Módulo "07_Funcion_crearIteraciones")

```

''''''''''Función vectorvariables(DiaSemana, DiaMes, MesAno, Ano, SemanaAno, Oferta_binario, DescuentoOfertaPrecio, _
'
'           DescuentoOfertaCheque, TipoOferta, Folleto, Portada, Destacado, InicioOferta, _
'           FinalOferta, FestivoBin, FestivoAnt, FestivoPos, SemanaSanta, Fallas, Navidad, DetalleDia)''''''''''
'Entradas: valor binario (0 o 1) para cada variable explicativa.
'Salidas: vector generado con los valores introducidos.
'FUNCIONAMIENTO: Función auxiliar que agrupa en un vector los valores introducidos como entrada. Esta función se ha creado para
' hacer
'           más fácil la programación y no dar lugar a errores durante la introducción de variables en cada caso considerado.

Function vectorvariables(DiaSemana, DiaMes, MesAno, Ano, SemanaAno, Oferta_binario, DescuentoOfertaPrecio, _
'           DescuentoOfertaCheque, TipoOferta, Folleto, Portada, Destacado, InicioOferta, _
'           FinalOferta, FestivoBin, FestivoAnt, FestivoPos, SemanaSanta, Fallas, Navidad, DetalleDia)

Dim vector(0 To 20) As Variant
vector(0) = DiaSemana
vector(1) = DiaMes
vector(2) = MesAno
vector(3) = Ano
vector(4) = SemanaAno
vector(5) = Oferta_binario
vector(6) = DescuentoOfertaPrecio
vector(7) = DescuentoOfertaCheque
vector(8) = TipoOferta
vector(9) = Folleto
vector(10) = Portada
vector(11) = Destacado
vector(12) = InicioOferta
vector(13) = FinalOferta
vector(14) = FestivoBin
vector(15) = FestivoAnt
vector(16) = FestivoPos
vector(17) = SemanaSanta
vector(18) = Fallas
vector(19) = Navidad
vector(20) = DetalleDia

vectorvariables = vector

End Function

''''''''''Función crearIteraciones(vector)
'Entradas: vector (variant) que contiene los valores binarios a tener en cuenta para la generación de las diferentes combinaciones
' (iteraciones).
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Genera las distintas iteraciones sobre la tabla "05_FuncinesObjetivo" a partir de una combinación inicial de
' variables.
'           'Si inicialmente, todas las variables son =1, se generarán una iteración por cada variable sacando de 1 en 1 cada variable
'           además de la iteración
'           'con todas las variables dadas como entrada.
    
```

Function crearIteraciones(vector As Variant)

```
Dim k As Integer
Dim contcero As Integer

For k = 0 To 20
    If vector(k) = 0 Then
        contcero = contcero + 1
    End If
Next k

If contcero = 21 Then
    Exit Function
Else 'El vector dado como entrada no son todo zeros.

    ejecutarConsulta ("01_Eliminar_Iteraciones")      'Limpiamos previamente la tabla "05_FuncionesObjetivo" (dejando la iteración
0 con todos los valores a cero para evitar errores).

    Dim tabla As DAO.Recordset
    Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_FuncionesObjetivo")

    tabla.Edit
    tabla.MoveLast      'Llevamos el puntero al último registro para que anexe los nuevos registros al final.
    tabla.AddNew

    'La iteración 1 contendrá todos los valores dados como entrada tal cual.
    tabla("Iteracion") = 1

    tabla("DiaSemana") = vector(0)
    tabla("DiaMes") = vector(1)
    tabla("MesAño") = vector(2)
    tabla("Año") = vector(3)
    tabla("SemanaAño") = vector(4)
    tabla("Oferta_binario") = vector(5)
    tabla("DescuentoOfertaPrecio") = vector(6)
    tabla("DescuentoOfertaCheque") = vector(7)
    tabla("TipoOferta") = vector(8)
    tabla("Folleto") = vector(9)
    tabla("Portada") = vector(10)
    tabla("Destacado") = vector(11)
    tabla("InicioOferta") = vector(12)
    tabla("FinalOferta") = vector(13)
    tabla("FestivoBin") = vector(14)
    tabla("FestivoAnt") = vector(15)
    tabla("FestivoPos") = vector(16)
    tabla("SemanaSanta") = vector(17)
    tabla("Fallas") = vector(18)
    tabla("Navidad") = vector(19)
    tabla("DetalleDia") = vector(20)

    tabla.Update

    'A partir de la iteración 2, se irá quitando para cada paso una de las variables distintas de cero según los valores de entrada.
    Dim iter As Long
    iter = 2
    Dim pos As Integer
    pos = -1      'Definimos un valor inicial negativo para que entre en el primer condicional inicialmente.
    Dim auxpos As Integer
    auxpos = -2      'Definimos un valor inicial negativo para que entre en el primer condicional.

    'Bucle de 0 a 20 que recorre los 21 valores dados como entrada en el vector.
    'Si todas las variables están a 1, el máximo de iteraciones a crear son 21+1.
    For i = 0 To 20

        For j = 0 To 20
            'Si la variable es 1 y no ha sido puesta a cero en las iteraciones anteriormente, se pone a cero (y rompe el bucle for)
            If (vector(j) = 1 And j > pos) Then
```



```

vector(j) = 0 'Pone a cero la posición correspondiente.
pos = j      'Guarda la posición actual que se pone a cero para tenerla en cuenta en el siguiente paso.
Exit For
End If
Next j

If Not auxpos = pos Then 'Evita crear dos veces la misma iteración al ser recorrida por el bucle for en "i" y encontrarse una variable a
cero dada como entrada.
    auxpos = pos      'Guarda en otra variable auxiliar la posición actual de la variable puesta a cero para tenerla en cuenta en el
siguiente paso.
    'Se graba el valor actual de la iteración (empezando por 2).
    tabla.AddNew
    tabla("Iteracion") = iter
    tabla("DiaSemana") = vector(0)
    tabla("DiaMes") = vector(1)
    tabla("MesAno") = vector(2)
    tabla("Ano") = vector(3)
    tabla("SemanaAno") = vector(4)
    tabla("Oferta_binario") = vector(5)
    tabla("DescuentoOfertaPrecio") = vector(6)
    tabla("DescuentoOfertaCheque") = vector(7)
    tabla("TipoOferta") = vector(8)
    tabla("Folleto") = vector(9)
    tabla("Portada") = vector(10)
    tabla("Destacado") = vector(11)
    tabla("InicioOferta") = vector(12)
    tabla("FinalOferta") = vector(13)
    tabla("FestivoBin") = vector(14)
    tabla("FestivoAnt") = vector(15)
    tabla("FestivoPos") = vector(16)
    tabla("SemanaSanta") = vector(17)
    tabla("Fallas") = vector(18)
    tabla("Navidad") = vector(19)
    tabla("DetalleDia") = vector(20)
    tabla.Update
    vector(pos) = 1      'Se pone de nuevo el vector como estaba inicialmente
    iter = iter + 1     'Se incrementa el valor de iteración.
End If

Next i

tabla.Close      'Cerrar tabla
End If

End Function
    
```

III.2.8 Función para leer las diferentes iteraciones de la tabla correspondiente (Módulo "08_Funcion_IteracionesTabla")

```

Funcion IteracionesTabla() As Variant

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_FuncionesObjetivo")

Dim i As Integer
i = 0
Dim a() As Variant
'Comprobamos previamente si tiene datos
If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then

    tabla.MoveFirst          'Poner el puntero en el primer registro (aunque no es necesario - venía escrito en el código ayuda
Do Until tabla.EOF = True
    tabla.Edit              'Abrir en modo edición (aunque en realidad se va a modificar nada en esta tabla)
    ReDim Preserve a(0 To i) As Variant 'Redimensionar el tamaño del array a() en cada paso el bucle
    a(i) = tabla("Iteracion") 'Escribimos el valor de los sucesivos registros del campo "Iteracion" de la tabla
    "05_FuncionesObjetivo" en el array "a" (empezando por 0)
    tabla.Update
    
```

```
tabla.MoveNext      'Mover puntero al siguiente registro
i = i + 1           'actualizar el contador
Loop
Else
  MsgBox "La tabla 04_FuncionesObjetivo está vacía. Comprobar que se han incluido correctamente las distintas combinatorias de
variables en la tabla."
End If

tabla.Close        'Cerrar tabla

IteracionesTabla = a  'ACTUALIZAR EL VALOR DE SALIDA DE LA FUNCIÓN

End Function
```

III.2.9 Función para actualizar el valor de la iteración actual en la tabla correspondiente (Módulo “09_Funcion_cambiarIteracionActual”)

```
''''''''''Función cambiarIteracionActual(iteracionAct)''''''''''
'Entradas: iteracionAct (entero)= Valor de la iteración que se quiere escribir en la tabla "05_IteracionActual"
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Escribe el valor dado como entrada en la tabla "05_IteracionActual". Será un simple contador que será definido
'en el bucle general del programa y que, en la tabla "05_IteracionActual" define unívocamente la combinatoria de variables
explicativas
'con las que se desea realizar la optimización. Este valor lo leerá el modelo.mpl como entrada de datos para realizar la optimización
con
'esa combinación de variables.

Function cambiarIteracionActual(iteracionAct As Integer)

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_IteracionActual")

tabla.MoveFirst      'Poner el puntero en el primer registro (asegurar que se escribe en el primer registro)
tabla.Edit           'Abrir en modo edición
tabla("Iteracion") = iteracionAct 'Se escribe el valor dado como entrada en el único campo de la tabla ("Iteracion")
tabla.Update
tabla.MoveNext      'Mover puntero al siguiente registro
tabla.Close        'Cerrar tabla

End Function
```

III.2.10 Función para ejecutar la optimización del modelo MPL desde Access (Módulo “10_Funcion_EjecutarMPL”)

Nota: En este código se deberá cambiar la línea perteneciente a la ruta del archivo “modelo.mpl” y el ejecutable del programa (dependiendo del sistema operativo), en este caso “Mplwin.exe”. Leer comentario inicial en la declaración de la función para más información.

```
'Se declaran previamente una serie de funciones necesarias para ejecutar el MPL y esperar a que termine correctamente.
'Declare PtrSafe Function WaitForSingleObject Lib "kernel32" (ByVal hHandle As LongPtr, ByVal dwMilliseconds As Long) As Long
Declare PtrSafe Function OpenProcess Lib "kernel32" (ByVal dwDesiredAccess As Long, ByVal bInheritHandle As Long, ByVal
dwProcessId As Long) As LongPtr
Declare PtrSafe Function CloseHandle Lib "kernel32" (ByVal hObject As LongPtr) As Long
Declare PtrSafe Function GetExitCodeProcess Lib "kernel32" (ByVal hProcess As LongPtr, lpExitCode As Long) As Long
Private Const PROCESS_QUERY_INFORMATION = &H400
Private Const STATUS_PENDING = &H103

''''''''''Función EjecutarMPL()''''''''''
''''''''''NOTA: NO FUNCIONA SI LA RUTA DE LOS ARCHIVOS NO ESTÁ EN C:\ o D:\ ''''''''''
'Entradas: (no tiene). Pero para que se pueda ejecutar en cualquier ordenador hay que asegurarse que el nombre del modelo en mpl
(en este caso "modelo.mpl") y el del ejecutable del programa (en este caso "Mplwin.exe") están bien definidos sin espacios y
```

```

' en la ruta C:\ o D:\. Comprobar en la línea correspondiente de código de esta función.
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Ejecuta el modelo "modelo.mpl" con el software MPL "Mplwin.exe" y espera a que termine para poder seguir
con la siguiente instrucción.

Function EjecutarMPL()

DoCmd.SetWarnings False      'Evita la creación de cuadros de diálogo en las consultas.

Dim id_shell As Long

'La siguiente línea es la que se debe cambiar si el nombre de los archivos o la unidad de disco cambia.
'Sólo funciona si los nombres no contienen espacios y se encuentran ubicados en C:\ o D:\.

id_shell = Shell("D:\Mplwin.exe SOLVE D:\modelo.mpl", vbMinimizedNoFocus) 'Instrucción que ejecuta el MPL y lanza la optimización
del modelo.

'A continuación, instrucciones necesarias para que la función EjecutarMPL() espere a que finalice la optimización antes de devolver
respuesta.
Dim b As LongPtr
b = OpenProcess(PROCESS_QUERY_INFORMATION, 0, id_shell)      'Se obtiene el identificador del proceso abierto con la función
Shell.

Dim lp_ExitCode As Long
'Bucle que espera a que el proceso esté listo para cerrarse (esperar a que realice la optimización)
Do
    Call GetExitCodeProcess(b, lp_ExitCode)
    DoEvents

Loop While lp_ExitCode = STATUS_PENDING
CloseHandle (b)      'Cierra el proceso (ventana del MPL y modelo)

End Function
    
```

III.2.11 Función para calcular la función objetivo de acierto utilizada para la selección heurística de variables (Módulo "11_Funcion_CalcFuncionObjetivoACIERTO")

```

'*****Función CalcFuncionObjetivoAcierto(fechaini, fechafin)*****
'Entradas: fechaini (fecha en formato "DD/MM/AAAA") fecha desde la que se quiere calcular la Función Objetivo (suma de errores
absolutos) en la tabla "01 - DATOS sin previsiones".
'      fechafin (fecha en formato "DD/MM/AAAA") fecha hasta la que se quiere calcular la Función Objetivo (suma de errores
absolutos) en la tabla "01 - DATOS sin previsiones".
'Salidas: valor de la función objetivo (FO) a partir de los valores contenidos actualmente en la tabla "01 - DATOS sin previsiones" (tipo
Double) desde fechaini hasta fechafin.
'FUNCIONAMIENTO: Recordemos que la FO con la que se trabaja es la suma de los valores absolutos del error de previsión (Suma de
(Abs(previsión_t - cantidadvendida_t))).
'      Por tanto, se utiliza esta la función para leer los valores absolutos de error de acierto calculados sobre la tabla "01 - DATOS
sin previsiones" (sobre la que se calculan las previsiones)
'      y los suma entre las fechas indicadas como entrada.
'En etapas posteriores, este valor servirá para incluirlas en la tabla "05_FuncionesObjetivo" y decidir,
'como último paso, la combinación de variables que aporta el mejor valor de FO bajo las hipótesis consideradas.

Function CalcFuncionObjetivoAcierto(fechaini, fechafin) As Double

Dim a As Double
a = 0      'Es importante inicializar el valor a cero para que se haga la suma dentro del bucle correctamente.

fechas = LeerVector_CampoTabla("Fecha", "00 - DATOS sin previsiones")
errabs = LeerVector_CampoTabla("ErrorAbsoluto", "00 - DATOS sin previsiones")

tam = UBound(fechas)

For i = 0 To tam
    'Solo se sumarán los Errores Absolutos si los registros se encuentran entre las fechas fechaini y fechafin dadas como entrada.
    If ((fechas(i) > fechaini) And (fechas(i) < fechafin)) Then
        a = a + errabs(i)
    End If
Next i
    
```

```
Next i
CalcFuncionObjetivoAcierto = a 'ACTUALIZAR EL VALOR DE SALIDA DE LA FUNCIÓN
End Function
```

III.2.12 Función para almacenar el valor calculado con la función anterior en la tabla correspondiente (Módulo "12_Funcion_GuardarFuncionObjetivo")

```
*****Función GuardarFuncionObjetivo(ValorFO,iteracion)*****
'Entradas: ValorFO (tipo Double) = El valor calculado para la FO realizada en la iteración "iteración". Este valor nos lo devolverá la
función CalcFuncionObjetivoAcierto(fechaini,fechafin).
' iteracion (entero) = Número de iteración sobre la que se desea escribir el valor de la FO en el registro correspondiente. Será el
mismo que exista en la tabla "05_IteracionActual"
'Salidas: (no tiene)
'FUNCIONAMIENTO: Escribe el "ValorFO" en el registro correspondiente a "iteracion" en la tabla "05_FuncionesObjetivo".

Function GuardarFuncionObjetivo(ValorFO As Double, iteracion As Integer)

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_FuncionesObjetivo")

'Comprobamos previamente si tiene datos
If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then

    tabla.MoveFirst 'Poner el puntero en el primer registro (aunque no es necesario - venía escrito en el código ayuda)

    Do Until tabla.EOF = True 'Para recorrer toda la tabla buscando el registro deseado en el que escribir el valor de la FO

        tabla.Edit 'Abrir en modo edición

        If (tabla("Iteracion") = iteracion) Then
            tabla("FuncionObjetivo") = ValorFO 'Escribimos el valor de la FO en el registro correspondiente
        End If
        tabla.Update
        tabla.MoveNext 'Mover puntero al siguiente registro

    Loop
Else
    MsgBox "La tabla 05_FuncionesObjetivo está vacía."
End If

tabla.Close 'Cerrar tabla
End Function
```

III.2.13 Función para seleccionar la función objetivo con menor valor de todas las calculadas y almacenadas en su correspondiente tabla (Módulo "13_Funcion_SelectMejorFO")

```
*****SelectMejorFO()*****
'Entradas: (no tiene)
'Salidas: Devuelve el número de iteración de la tabla "05_FuncionesObjetivo" que contiene la mejor optimización
'FUNCIONAMIENTO: Calcula el mínimo distinto de cero que reside actualmente en el campo "FuncionObjetivo" de
'la tabla "05_FuncionesObjetivo" y devuelve el número de iteración correspondiente.

Function SelectMejorFO() As Integer

Dim tabla As DAO.Recordset
Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_FuncionesObjetivo") 'Se leerán valores de la tabla "05_FuncionesObjetivo"

Dim i As Integer
i = 0
Dim iter() As Variant
Dim FO() As Variant

'Comprobamos previamente si tiene datos
If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then
```

```

tabla.MoveFirst 'Poner el puntero en el primer registro

Do Until tabla.EOF = True

    tabla.Edit          'Abrir en modo edición (aunque en realidad no vamos a modificar nada en esta tabla)

    ReDim Preserve iter(0 To i) As Variant
    ReDim Preserve FO(0 To i) As Variant

    iter(i) = tabla("Iteracion")    'Guardamos en el vector "iter" los sucesivos valores del campo "Iteracion" para cada registro.
                                     'Nota: En un caso ideal iter(i)=i+1 si los registros de la tabla "05_FuncionesObjetivo" están
                                     'ordenados del 1 en adelante, sin duplicados ni valores ausentes. Para asegurar, mejor como se ha
programado.
    FO(i) = tabla("FuncionObjetivo") 'Guardamos en el vector "FO" los sucesivos valores del campo "FuncionesObjetivo"

    tabla.Update

    tabla.MoveNext          'Mover puntero al siguiente registro
    i = i + 1              'actualizar el contador
Loop
Else
    MsgBox "La tabla 05_FuncionesObjetivo está vacía."
End If

tabla.Close    'Cerrar tabla

'Cálculo del mínimo almacenado en FO distinto de cero. A priori, los ceros indicarán iteraciones no calculadas ya que,
'obtener un valor de FO = 0.0 sería el caso extremo de una optimización perfecta.
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim aux As Double
Dim aux2 As Integer
aux = 0
aux2 = 0

tam = UBound(iter)
Dim contcero As Integer

'Inicializamos aux y aux2 con el primer valor no nulo de FO que encuentre en la tabla
For j = tam To 0 Step -1
    If (FO(j) > 0) Then
        aux = FO(j)
        aux2 = iter(j)
    Else
        contcero = contcero + 1
    End If
Next j

If ((contcero = tam + 1) And (tam > 0)) Then 'Todas las FO almacenadas son cero y existe al menos una iteración en la tabla
    aux2 = 1 'En ese caso nos quedamos con la primera iteración que contiene todas las variables.
Else

    For k = 0 To tam
        If (FO(k) > 0) Then 'No se tienen en cuenta los ceros ya que a priori indicarán iteraciones no calculadas y no valores de la FO=0
            If (FO(k) + 0.0001 < aux) Then 'Con el 0.0001 evitamos que salte en iteraciones posteriores que son idénticas (queremos que nos
dé la más reciente por si hay coincidencia para que salga antes del bucle
                aux = FO(k)
                aux2 = iter(k)
            End If
        End If
    Next k

End If

SeleccMejorFO = aux2

End Function
    
```

III.2.14 Función que devuelve el vector con la combinación de variables seleccionada con la función anterior (Módulo "14_Funcion_vectorIteracion")

```
*****Funcion vectorIteracion(iteracion)*****  
'Entradas: iteracion (entero) - Valor de la iteración de la que se quiere obtener la combinación de variables explicativas.  
'Salidas: vector de la tabla "05_FuncionesObjetivo" que contiene las variables explicativas con la que se ha calculado la iteración  
'iteracion".  
'FUNCIONAMIENTO: Devuelve un vector con la combinación de variables explicativas de la iteración dada como entrada.  
  
Function vectorIteracion(iteracion) As Variant  
If iteracion > 0 Then  
  
    Dim tabla As DAO.Recordset  
    Set tabla = CurrentDb.OpenRecordset("05_FuncionesObjetivo")  
    Dim v(0 To 20) As Variant 'Se sabe que serán 21 variables explicativas.  
  
    If Not (tabla.EOF And tabla.BOF) Then  
  
        tabla.MoveFirst          'Poner el puntero en el primer registro.  
        Do Until tabla.EOF = True  
  
            If (tabla("Iteracion") = iteracion) Then  
  
                v(0) = tabla("DiaSemana")  
                v(1) = tabla("DiaMes")  
                v(2) = tabla("MesAño")  
                v(3) = tabla("Año")  
                v(4) = tabla("SemanaAño")  
                v(5) = tabla("Oferta_binario")  
                v(6) = tabla("DescuentoOfertaPrecio")  
                v(7) = tabla("DescuentoOfertaCheque")  
                v(8) = tabla("TipoOferta")  
                v(9) = tabla("Folleto")  
                v(10) = tabla("Portada")  
                v(11) = tabla("Destacado")  
                v(12) = tabla("InicioOferta")  
                v(13) = tabla("FinalOferta")  
                v(14) = tabla("FestivoBin")  
                v(15) = tabla("FestivoAnt")  
                v(16) = tabla("FestivoPos")  
                v(17) = tabla("SemanaSanta")  
                v(18) = tabla("Fallas")  
                v(19) = tabla("Navidad")  
                v(20) = tabla("DetalleDia")  
  
            End If  
  
            tabla.MoveNext  
        Loop  
    Else  
        MsgBox "La tabla 05_FuncionesObjetivo está vacía."  
    End If  
  
    tabla.Close          'Cerrar tabla  
  
Else 'Cuando iteración=0 o inferior, se devuelve un vector de ceros.  
  
    For j = 0 To 20  
        v(j) = 0  
    Next j  
End If  
  
vectorIteracion = v  
End Function
```