



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

**Cálculo de elasticidades para la predicción de la
demanda y la optimización de precios en el sector
retail**

Autor

Guillermo José Aldrey Pastor

Dirigido por

Miguel Carpintero Rentería

Madrid

Junio 2023



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

**Cálculo de elasticidades para la predicción de la
demanda y la optimización de precios**

Autor

Guillermo José Aldrey Pastor

Dirigido por

Miguel Carpintero Rentería

Madrid

Junio 2023

Resumen

En el sector *retail*, el precio representa una variable clave, con especial relevancia en las decisiones de compra de un consumidor. Pequeñas modificaciones en el precio de un producto pueden derivar en reacciones inmediatas por parte de los compradores. La estrategia de precios conocida como *Pricing Dinámico* (Dynamic Pricing) consiste en ajustar los precios de productos o servicios en tiempo real con el objetivo de reflejar la demanda actual existente en el mercado.

El presente trabajo tiene por objetivo el desarrollo de un modelo de *Pricing Dinámico* dentro del sector *retail* para el análisis de precios de un supermercado. La herramienta debe permitir fijar los precios idóneos para cada artículo en los distintos puntos de venta de operación.

El desarrollo del trabajo se divide en dos grandes módulos. Se llevará a cabo el cálculo de elasticidades para los distintos grupos de familias de productos que forman parte del inventario, y se utilizarán los resultados de estas para predecir las ventas futuras y optimizar los precios de los productos que se ofrecen. Posteriormente, se diseñará un modelo de optimización de precios con el fin de maximizar el margen operativo.

Por último, se van a explorar los logros y las conclusiones obtenidas a partir del proyecto de optimización de precios implementado. Se analizarán los efectos y las mejoras observadas en la rentabilidad tras la implementación de las estrategias de optimización de precios.

Abstract

Price represents a key variable in retail sector, with special relevance in a consumer's purchasing decisions. Small changes in the price of a product can lead to immediate reactions from buyers. The pricing strategy known as Dynamic Pricing consists of adjusting the prices of products or services in real time in order to reflect the current demand in the market.

The objective of this work is to develop a Dynamic Pricing model within the retail sector for the price analysis of a supermarket. The tool should allow setting the ideal prices for each item in the different operating points of sale.

The development of the work is divided into two main modules. The calculation of elasticities will be carried out for the different groups of product families that are part of the inventory, and the results of these will be used to predict future sales and optimize the prices of the products offered. Subsequently, a price optimization model will be designed in order to maximize the operating margin.

Finally, the achievements and conclusions obtained from the price optimization project implemented will be explored. The effects and improvements observed in profitability after the implementation of the price optimization strategies will be analyzed.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director de proyecto por haberme ofrecido su ayuda y los medios necesarios para poder desarrollar este proyecto.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi familia, por haberme brindado la oportunidad de realizar este Máster en esta Universidad, al que hoy pongo punto y final con este proyecto, y a mis amigos, por haberme ayudado en los momentos más difíciles.

Por último, quiero agradecer a la Universidad Pontificia Comillas y a todos sus profesores, por haberme dado los conocimientos, la fuerza y la confianza necesaria para afrontar mis estudios.

Muchas gracias a todos, de corazón.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motivación	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Estructura del documento	4
2. Estado del Arte	5
2.1. Historia del Dinero	5
2.2. Valor Percibido	7
2.3. ¿Qué es el <i>Pricing</i> Dinámico?	7
2.4. Elasticidad de la demanda	10
3. Metodología	15
3.1. Fases del Proyecto	16
3.1.1. Definición de la estrategia	16
3.1.2. Desarrollo de la solución e implementación	20
3.2. Cronograma del Proyecto	29
3.3. Recursos a emplear	30
3.4. Datos Utilizados	32
3.4.1. Artículos	32
3.4.2. Puntos de venta	33
3.4.3. Flujo de Datos	34

4. Simulación de Resultados	35
4.1. Modelo de Cálculo de Elasticidades	35
4.1.1. Estructura del Modelo	35
4.1.2. Proceso de selección de modelo	36
4.1.3. Ejemplo: Cálculo de Elasticidades para todas las familias . .	38
4.1.4. Caso de Estudio: Familia de Refrescos	39
5. Conclusiones	43
Appendix	48
A. Objetivos de Desarrollo Sostenible	49
A.1. Alineación del proyecto con los ODS	51

Índice de figuras

1.1. Retail Data Analytics	2
2.1. Evolución del dinero a lo largo de la historia	6
2.2. Valor Percibido	8
2.3. Métodos de fijación de precios	9
2.4. Pricing Dinámico - Implementación	10
2.5. Curva de Elasticidad General	11
2.6. Tipos de Elasticidad de la demanda	12
2.7. Escenarios ante la elasticidad de la demanda	12
3.1. Fases del Proyecto	16
3.2. Modelo 5C del Marketing Estratégico	18
3.3. Entendimiento de la estrategia de precios actual	19
3.4. Caracterización de Productos	20
3.5. Cualificación de los Puntos de Venta	21
3.6. Tratamiento de Datos - Carga Inicial	22
3.7. Tratamiento de Datos - Función de Limpieza	22
3.8. Tratamiento de Datos - Filtro por Familias	23
3.9. Tratamiento de Datos - Resultado Final	23
3.10. Resultado del Cálculo de Tendencias	25
3.11. Código Modelo Regresión Lineal	26
3.12. Machine Learning	27
3.13. Diagrama de Gantt del proyecto	29

3.14. Recursos - Visual Studio Code	30
3.15. Recursos - Python	30
3.16. Recursos - Excel	31
3.17. Recursos - Power BI	31
3.18. Flujo de Datos	34
A.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible	50

Índice de cuadros

3.1. Hitos del Proyecto	29
3.2. Tabla de Artículos	32
3.3. Tabla de Puntos de Venta	33
4.1. Estructura de la fase dos del modelo	37
4.2. Estructura de la fase tres del modelo	37
4.3. Resumen del cálculo de elasticidades para todas las familias	38
4.4. Resumen de cálculo de elasticidades para la familia Refrescos	39
4.5. Casuística I. R2 elevado	40
4.6. Casuística II. Número de ventas elevado	40
4.7. Casuística III. Márgenes elevados	41

Acrónimos

<i>ICAI</i>	Instituto Católico de Artes e Industrias
<i>PFC</i>	Proyecto Fin de Carrera
<i>PVP</i>	Precio de venta al público
<i>SKU</i>	Código de referencia
<i>BBDD</i>	Base de Datos
<i>DF</i>	DataFrame
<i>CdM</i>	Cuadro de mando
<i>ODS</i>	Objetivos de Desarrollo Sostenible

Capítulo 1

Introducción

En esta introducción se va a establecer una visión clara y un enfoque definido del proyecto, identificando y abordando los puntos claves. Cada uno de estos puntos desempeña un papel crucial en el logro del éxito del proyecto. Además, se va a desarrollar la motivación del mismo, y se van a tratar los distintos objetivos a cumplir. También se define la estructura del documento.

1.1. Introducción

Hoy en día, la creciente disponibilidad de información, junto con el uso del análisis y explotación de los datos, suponen un recurso de gran valor para todo tipo de organizaciones, capaces de identificar áreas de mejora, optimizar sus operaciones y lograr una ventaja competitiva.

Dentro de todas las posibilidades que ofrece la Analítica Avanzada, *Retail Data Analytics*, es conocido por aplicar metodologías y herramientas *Big Data* con el objetivo de optimizar los precios y la cadena de suministro aumentando la fidelización del cliente. [1]

Modelos de predicción de ventas, segmentación personalizada de clientes, predicción del abandono y detección de fraude son algunas de las aplicaciones prácticas de técnicas *Big Data* y *Machine Learning* que pueden optimizar los procesos e impulsar el sector *Retail*.

Cuando el negocio maneja datos de millones de productos (productos de baja rotación, de alta rotación, de gran consumo, frescos. . .), segmentados por secciones, lo inteligente es usarlos para mejorar el servicio mediante la optimización de los procesos. Pueden usarse para detectar el fraude interno, cruzarlos, por ejemplo, con

datos de meteorología para mejorar la predicción de ventas, planificar la demanda o hacer perfilado de clientes.

Como se puede observar en 1.1 hay diversos escenarios donde aplicar *Retail Data Analytics*, y distintas soluciones, como previsión de ventas, detección de riesgos u optimización de inventario.



Figura 1.1: Retail Data Analytics

En la actualidad, es posible contar con toda la información necesaria para agregar valor al negocio. Gracias a la predicción de la demanda de productos, la planificación y el abastecimiento de tiendas con cantidades justas y en el momento indicado, las empresas pueden contar con los volúmenes necesarios para dar cobertura a los requerimientos específicos del negocio acorde a temporadas, campañas o promociones estacionales. De esta manera, se reducen los tiempos en logística, distribución o abastecimiento, que muchas veces implica desplazamiento y hasta cargos adicionales en relación al tiempo, dinero y personal a cargo.

En este trabajo se lleva a cabo el cálculo de las elasticidades de la demanda para los productos de una cadena de supermercados. Se utilizará el resultado de las elasticidades para predecir las ventas futuras y optimizar los precios de los productos que se ofrecen. Para conseguir esto, se analizarán las implicaciones de la elasticidad en la estrategia de precios y se llevará a cabo un modelo de optimización que permita fijar los precios idóneos para cada artículo en los distintos puntos de venta de operación.

1.2. Motivación

La motivación de este proyecto surge para dar respuesta a la creciente necesidad de las empresas pertenecientes al sector *retail* de comprender la demanda y necesidades de sus consumidores, para así poder ofrecer precios competitivos al mismo tiempo que maximizan sus beneficios y la competitividad dentro del mercado.

Se ha elegido el caso concreto de una cadena de supermercados en el que el surtido de productos se ofrece en distintas ciudades, y dentro de estas, en distintos puntos de venta. Los artículos se pueden agrupar a nivel familia o nivel enseña, es decir, signo distintivo que se utiliza para distinguir un establecimiento mercantil.

Al comprender mejor la elasticidad de la demanda de los productos, las empresas pueden ajustar sus precios y promociones para maximizar sus beneficios y satisfacer las necesidades de los consumidores. Además, la capacidad de entender la demanda es importante para la planificación de la producción, la gestión de inventarios y la estrategia de marketing de las empresas.

Por lo tanto, el proyecto dará lugar a una herramienta para comprender mejor el comportamiento de la demanda de sus productos y, en consecuencia, ajustar sus precios y estrategias de marketing para maximizar los beneficios y la satisfacción del cliente.

1.3. Objetivos

El objetivo final de este proyecto es poner en producción una herramienta para el cálculo de elasticidades de la demanda utilizando datos reales del sector *retail*, además de un modelo de optimización que permita fijar los precios idóneos para cada artículo en los distintos puntos de venta de operación. De cara a la consecución de dicho fin, se plantean los siguientes objetivos:

1. Definición de la estrategia de precios que se deberá seguir en función de cada artículo ofertado y cada punto de venta. Se llevará a cabo un proceso de análisis de las dinámicas de precio actuales de la cadena de supermercados para poder entender qué, cómo y dónde vende.
2. Desarrollar un módulo de *pricing* que permita optimizar el precio de los productos.
 - a) Desarrollo de un modelo regresor para el cálculo de elasticidades de la demanda de los productos que permita entender cuál es la situación

de los artículos y que estrategia de deberá tomar para maximizar sus beneficios.

b) Desarrollo de un modelo de optimización que devuelva el precio exacto que la empresa debería fijar para cada artículo, teniendo en cuenta el anterior cálculo de elasticidades.

3. Desarrollo de un cuadro de mando que muestre el comportamiento de las ventas respecto a semanas anteriores y las distintas métricas que aportan información sobre el resultado de los cambios de precio efectuados por la cadena.

1.4. Estructura del documento

Este documento está compuesto por una serie de apartados que tratan las diversas secciones que componen el Trabajo Fin de Máster. Se incluye la introducción del proyecto, donde se realiza una breve descripción del trabajo que se va a realizar desde el punto de vista de las ciencias de la computación.

En el Estado del Arte se describe de manera detallada las técnicas y tecnologías que han sido utilizadas para el desarrollo del proyecto y sitúa el contexto del mismo.

En la metodología se incluye una descripción detallada del proceso de análisis y diseño del trabajo.

En el apartado de resultados se explica qué se ha obtenido con el modelo propuesto y se lleva a cabo un análisis de calidad sobre el mismo.

Por último, se detallan las conclusiones del desarrollo del proyecto y se sitúan los próximos pasos.

Capítulo 2

Estado del Arte

Este apartado busca contextualizar el proyecto desde un punto de vista global hasta concretar con la situación actual del *pricing* dinámico en los supermercados. En una primera sección se va a hablar sobre cómo ha cambiado el dinero a lo largo de la historia 2.1. A continuación, se introduce el concepto de *Dynamic Pricing* y las posibles estrategias de fijación de precios 2.3. El siguiente punto a desarrollar va a ser la relación del precio con el valor que percibe un cliente 2.2, y por último se describe la utilidad e importancia de la elasticidad de la demanda en un proyecto de estas características 2.4.

2.1. Historia del Dinero

El dinero es una conveniencia muy antigua. Durante unos cuatro mil años, existió el acuerdo de utilizar para los intercambios uno o más metales, entre tres que eran la plata, el cobre y el oro, si bien la plata y el oro se emplearon también durante un tiempo como la aleación natural llamada «electrum». Durante la mayor parte de aquellos largos años, la plata representó el papel predominante y durante períodos más breves, como en el del régimen micénico o en la Constantinopla de después de la división del Imperio romano, el oro ocupó el primer lugar [2].

La evolución de los precios a lo largo de la historia ha sido un tema de gran interés para economistas, historiadores y otros expertos en la materia. Desde los primeros intercambios de bienes en las sociedades primitivas hasta la actualidad, el precio ha sido un indicador fundamental de la economía de una sociedad.

En la antigüedad, el trueque representaba la manera de intercambiar bienes. Las familias de distintas comunidades comenzaron a intercambiar objetos que tenían

pero que no necesitaban por otros que no tenían pero requerían de su uso. De esta manera las cosas se convirtieron en una forma de dinero con valor de cambio. Sin embargo, surgían dudas sobre el verdadero valor de los productos intercambiados, dependiendo de su rareza, demanda limitada o su necesidad. El trueque presentaba limitaciones, y para superarlas, las sociedades comenzaron a utilizar objetos como medio de intercambio. El uso de granos o metales dio lugar a las primeras formas de moneda 2.1 y a una nueva manera de relacionarse comercialmente [2].

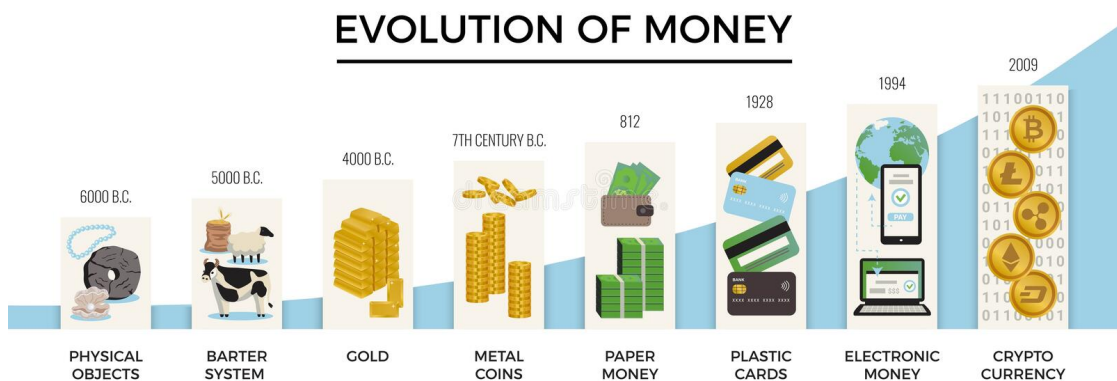


Figura 2.1: Evolución del dinero a lo largo de la historia

Con estas nuevas relaciones comerciales, surgieron también nuevas necesidades y realidades que mutaron al trueque hasta llevarlo a la moneda. La llegada de este nuevo sistema convirtió al precio en una herramienta más precisa para la medición de los bienes y servicios. Durante la Edad Media, eran fijados por gremios y regulados por reyes y autoridades locales, lo que dio lugar a la estabilidad de los precios en algunos mercados.

Mas tarde, durante la Revolución Industrial, el precio de los productos se convirtió en la herramienta clave en el comercio a gran escala y en el crecimiento económico. La tecnología hizo posible una mayor eficiencia en la producción de bienes y servicios, lo que llevó a una disminución de los precios y un aumento del poder adquisitivo de los consumidores.

En el siglo XX, los precios se han visto influenciados por diversos factores, como las guerras o las crisis económicas. La creciente competencia entre empresas y la disponibilidad de información en línea han llevado a una mayor transparencia y a una mayor presión sobre las empresas para mantener precios competitivos.

2.2. Valor Percibido

El precio tiene un gran impacto en la economía y la vida de las personas. Se puede entender el concepto de precio como el valor en términos monetarios de un producto o servicio por el que un consumidor estaría dispuesto a comprarlo.[3] En definitiva, es el valor que se le aplica a un bien o servicio por la utilidad percibida por el usuario y el esfuerzo que tiene que hacer, en términos de dinero, para adquirirlo.

Pero el único objetivo del precio no puede ser ganar lo máximo posible si eso implica sacrificar otras variables que pueden ser fundamentales para la supervivencia de la empresa. En definitiva, de lo que se trata es de lograr la máxima satisfacción del cliente y la de la empresa, para lo que ambas partes deben llegar a un acuerdo sobre el precio. Por eso es fundamental analizar el valor percibido por el consumidor respecto a los productos ofrecidos por cualquier empresa.

El valor percibido puede ser visto, en la línea de la propuesta de Zeithaml (1988:14), como «una evaluación global» que el cliente desarrolla de la utilidad de un producto o servicio, basado en «las percepciones de lo que ha recibido frente a lo que ha dado.» De este modo, el valor es «una función positiva de lo que se recibe y una función negativa de lo que se sacrifica» (Oliver, 1999:45), si bien se puede llamar valor a las percepciones exclusivamente positivas o negativas[4].

La estrategia de precios de acuerdo con el valor percibido ayuda a las empresas a fijar los precios de sus productos y servicios conforme el valor que los clientes les dan.

$$VALORPERCIBIDO = \frac{CALIDADPERCIBIDA}{PRECIOPERCIBIDO} \quad (2.1)$$

2.3. ¿Qué es el *Pricing* Dinámico?

Como dice [5], la diferencia entre la fijación de precios y la fijación estratégica de precios es la misma que la diferencia entre reaccionar a las condiciones del mercado o actuar activamente frente a ellas.

Para la mayoría de las empresas, la fijación estratégica de precios exige algo más que un cambio de actitud; exige un cambio del cuándo, cómo y quién toma las decisiones sobre precios.

Como se puede apreciar en la siguiente figura 2.3, existen tres métodos distintos de fijación de precios. Este trabajo se centra en un método basado en la

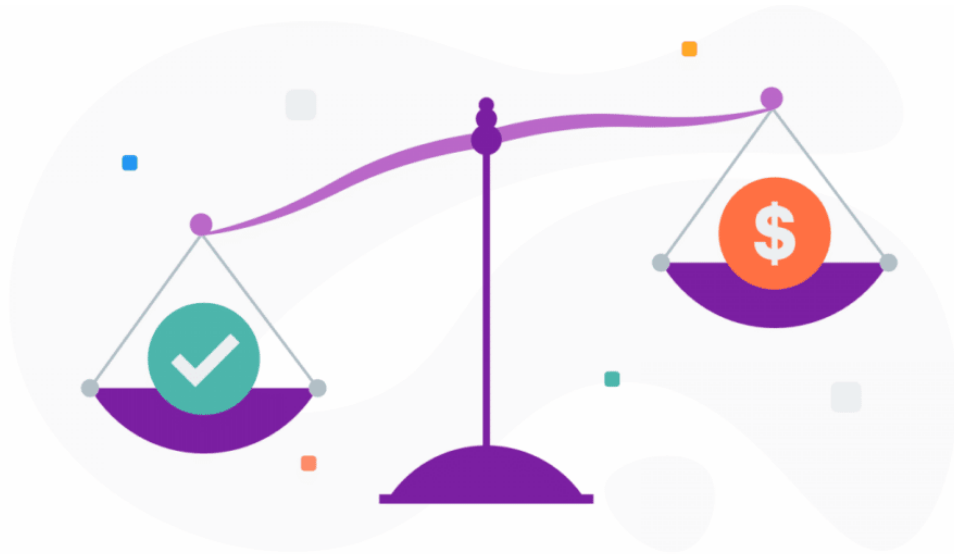


Figura 2.2: Valor Percibido

demanda, y utilizará la técnica conocida como *Dynamic Pricing* para ofrecer precios competitivos para el consumidor, habiendo analizado previamente la demanda de este.

La estrategia de precios conocida como *Pricing Dinámico* (Dynamic Pricing) consiste en ajustar los precios de productos o servicios en tiempo real con el objetivo de reflejar la demanda actual existente en el mercado. Esto significa que el precio de un producto servicio puede variar según diferentes factores, como la hora del día, la ubicación geográfica y la oferta y la demanda.

En un contexto de constante crecimiento de la digitalización, el *pricing* dinámico tiene grandes posibilidades relacionadas con el auge del *Big Data*. Teniendo en cuenta que los grandes distribuidores disponen de millones de datos de sus clientes, los programas de análisis fundamentan la estrategia, que se basa en algoritmos capaces de analizar los datos.

En la figura superior 2.4 se detalla cómo implementar una estrategia de *Pricing Dinámico*.

El principal objetivo para el establecimiento de una estrategia de precios dinámicos es la rentabilidad. Tomar este tipo de estrategias ofrece una gran cantidad de ventajas como son el control de precios, la automatización, ofrecer al cliente una visión de precios correcta respecto al mercado y el ahorro de tiempo y la posibilidad de maximizar de los beneficios.

MÉTODOS DE FIJACIÓN DE PRECIOS

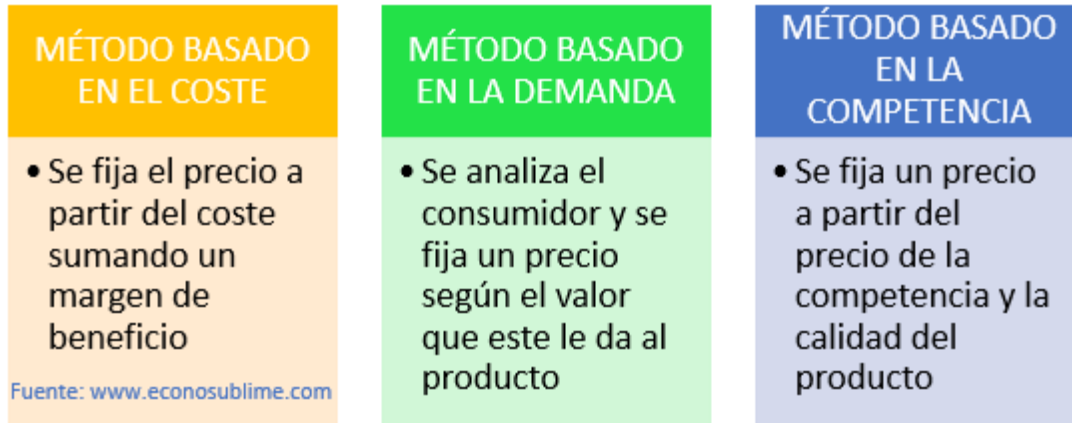


Figura 2.3: Métodos de fijación de precios

Existen varios tipos de estrategias de fijación de precios dinámicos. Los negocios utilizan principalmente los siguientes cuatro tipos:

1. Ajuste del precio de la oferta. Se utiliza para atraer a los consumidores y aumentar las ventas en períodos específicos, como rebajas o promociones.
2. Segmentación del mercado. Ajustar los precios a grupos específicos de consumidores. Este tipo de fijación de precios es muy útil para empresas que ofrecen productos o servicios que tienen diferentes niveles de demanda entre los consumidores, como entradas para un concierto.
3. *Dynamic Pricing* basado en el tiempo. Movilidad de precios en función del día y la hora. Por ejemplo, en la venta de automóviles, estos tienden a ser más baratos a finales de mes.
4. Precio de tiempo real. Ajuste de precios en función de la oferta y la demanda en tiempo real. Este tipo de fijación se utiliza en empresas que venden productos o servicios en línea y poseen la capacidad de ajustar los precios automáticamente.

How To Implement Dynamic Pricing?

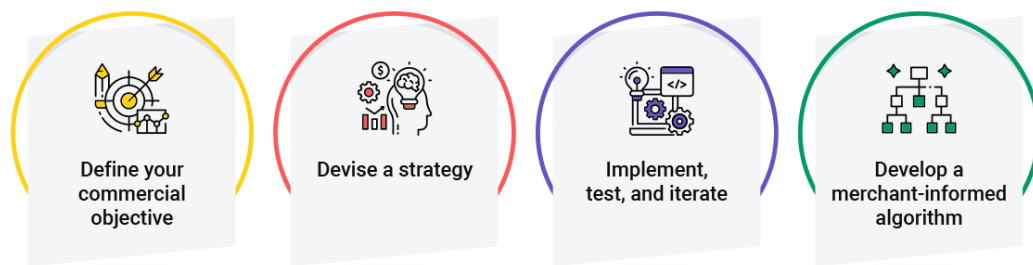


Figura 2.4: Pricing Dinámico - Implementación

2.4. Elasticidad de la demanda

Existen varias técnicas que permiten a las empresas acertar a la hora de fijar precios a sus productos, y una de ellas es el cálculo de elasticidades para la predicción de la demanda. Los avances en técnicas estadísticas y computacionales han permitido el desarrollo de modelos más sofisticados y precisos para analizar el comportamiento del consumidor y predecir la demanda. Entre las técnicas más comunes aparecen los modelos de regresión lineal, utilizados en este proyecto.

La elasticidad de la demanda es un concepto económico que se utiliza para conocer y medir el cambio que han producido las demandas de un bien, producto o servicio en un momento determinado.[6]

Como se puede observar en 2.5, la curva de elasticidad mide el porcentaje de cambio de la demanda frente al porcentaje de cambio del precio de un bien o servicio.

Son varios los factores que la determinan. Entre estos están:

- Precio de bienes sustitutivos o complementarios
- Preferencia de los usuarios
- Precio del bien
- Ingreso de los usuarios

Elasticidad de la demanda (ϵ)

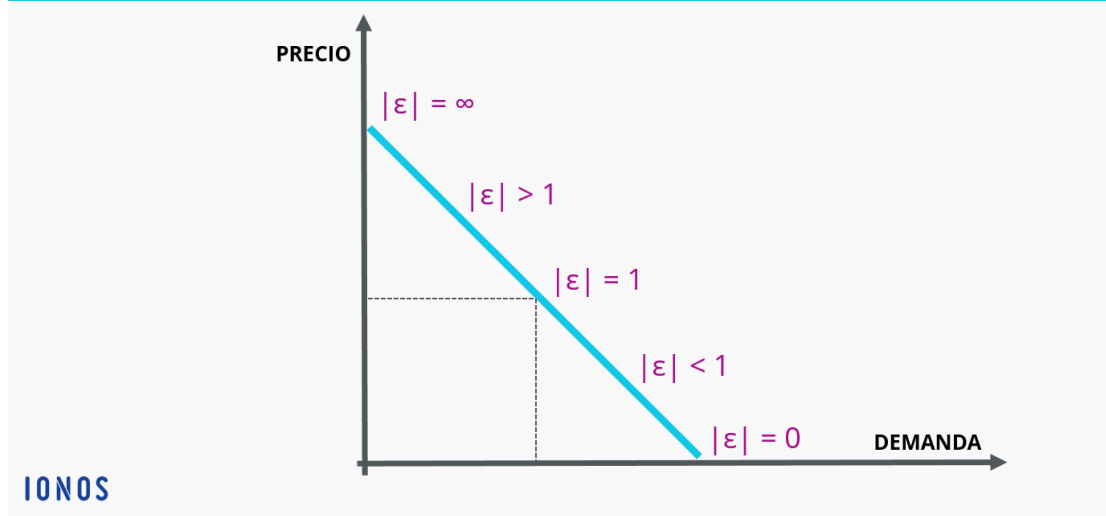


Figura 2.5: Curva de Elasticidad General

Por lo tanto, un producto será menos elástico cuando sea considerado como necesario para la vida del ser humano como la comida o las medicinas, entre otros. Mientras que el precio de un bien más lujoso es más elástico porque está abierto a las subidas de precio. Esto da lugar a los diferentes tipos de elasticidades [6].

1. Demanda Elástica. Si la demanda es elástica, los consumidores son muy sensibles al precio (porque la cantidad demandada varía en mayor porcentaje que el precio). Esto quiere decir que si la empresa sube los precios perderá muchos clientes, y si los baja, podrá ganar muchos.
2. Demanda Inelástica. Si la demanda es inelástica los consumidores son poco sensibles al precio. Un aumento del precio hará perder pocos clientes a la empresa. Esto hace que el ingreso total aumente ya que, aunque ingresamos menos provocado por el descenso de la cantidad vendida, se compensa por el gran aumento de precio.
3. Elasticidad Unitaria. Un aumento del precio del provoca una disminución de la cantidad en la misma proporción. Esto hace que el ingreso total se mantenga. En la práctica es casi imposible encontrar bienes de este tipo.

La fórmula de la elasticidad de la demanda es la siguiente:


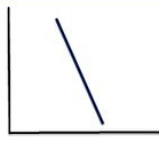
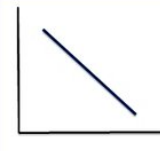
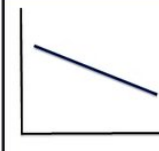

TIPO	PERFECTAMENTE INELÁSTICA	INELÁSTICA	UNITARIA	ELÁSTICA	PERFECTAMENTE ELÁSTICA
Variaciones	Var. % Q = 0	Var. % Q < Var. % P	Var. % Q = Var. % P	Var. % Q > Var. % P	Var. % P = 0
E_p	0	> 0 pero < 1	1	> 1 pero < ∞	∞
Var. de Q	No varía	varía menos que proporcional	varía directamente proporcional	varía más que proporcional	varía permaneciendo constante el precio
CURVA DE DEMANDA					

Figura 2.6: Tipos de Elasticidad de la demanda

	Sensibilidad de los consumidores	Si sube el precio	Si baja el precio
Demanda elástica. ($e > 1$)	Muy sensibles al cambio de precio	Menos ingresos (pierden muchos clientes)	Más ingresos (ganan muchos clientes)
Demanda inelástica. ($e < 1$)	Poco sensibles al cambio de precio	Más ingresos (pierden pocos clientes)	Menos ingresos (ganan pocos clientes)
Demanda unitaria. ($e = 1$)		Mismos ingresos	Mismos ingresos

Figura 2.7: Escenarios ante la elasticidad de la demanda

$$Ed = \frac{\frac{dQ}{Q_0}}{\frac{dP}{P_0}} \quad (2.2)$$

A la hora de interpretar el resultado, si la división es mayor a uno significa que la demanda es elástica. En caso contrario, si dicho resultado es menor a uno quiere decir que la demanda es inelástica.

Dentro del sector *retail*, la elasticidad de la demanda es una medida importante para entender cómo los consumidores reaccionan a los cambios de precios de los productos. En un supermercado, los bienes de consumo básicos, como la leche o el pan, suelen tener una demanda inelástica, ya que los consumidores los necesitan y están dispuestos a pagar un precio más alto por ellos. Por otro lado, los bienes de

lujo, como los perfumes o los relojes de marca, suelen tener una demanda elástica, ya que los consumidores son más sensibles al precio y pueden optar por comprar una alternativa más barata si el precio es demasiado alto.

En conclusión, la elasticidad de la demanda es una medida clave para entender cómo los consumidores reaccionan a los cambios en los precios de los productos en el sector *retail*. Las empresas pueden utilizar esta medida para ajustar sus precios y maximizar sus beneficios mientras satisfacen las necesidades de los consumidores.

Capítulo 3

Metodología

Desde el momento de la asignación del proyecto, a principios de enero de 2023, se ha seguido un modo de desarrollo parecido a lo que sería una metodología *Agile*. Se han convocado *meetings* con el director del proyecto para definir los próximos pasos a realizar, y se han convocado *sprints* para entregar evolutivos definidos en las reuniones y comprobar errores tanto en el desarrollo como en el punto de vista al afrontar los diferentes desafíos de cada fase de trabajo. Este proyecto ha requerido un periodo de investigación y aprendizaje sobre el sector *retail* y cómo funciona la venta de productos en un supermercado. Asimismo, se ha empleado tiempo en investigar sobre el concepto de elasticidad en el ámbito económico y cómo se puede utilizar para predecir las ventas de una compañía.

El proyecto se divide en dos fases de distinta duración: Definición de la Estrategia y Desarrollo de la Solución. La fase inicial dura entre dos y tres semanas, y se basa en un proceso de definición de la estrategia. Se ha llevado a cabo un análisis cualitativo sobre las dinámicas de precio actuales de la cadena de supermercado para poder segmentar la información a nivel artículo, familia, punto de venta o enseña. Esto es necesario ya que cada grupo tendrá que afrontar la fijación de precio de distinta forma, atendiendo también al resultado de las elasticidades.

El desarrollo de la solución dura tres meses y medio. Se afronta desarrollando un modelo de regresión en *Python*. El objetivo es obtener la elasticidad como regresor entre el precio de un producto y las ventas de este. Para conseguir buenos resultados, se lleva a cabo un proceso de limpieza de la muestra utilizada, eliminando efectos como la estacionalidad, *outliers* y familias de artículos con tendencias erróneas.

3.1. Fases del Proyecto

En cada fase de este proyecto hay una serie de objetivos con los que cumplir de cara a obtener el resultado definido en los objetivos globales del proyecto.

A continuación se detallan los pasos seguidos en cada fase y todos los aspectos que entran en juego teniendo en cuenta que se abarca el sector *retail* y en concreto un supermercado.



Figura 3.1: Fases del Proyecto

3.1.1. Definición de la estrategia

Crear una buena estrategia de precios puede significar el éxito para una empresa, pero hacerlo de manera incorrecta puede crear problemas financieros irresolubles.

A la hora de tomar las decisiones que afectan al precio de un determinado producto, es necesario tener en cuenta las conocidas 5C's del Marketing Estratégico. Estas tienen como objetivo detectar las necesidades de los clientes y encontrar las

fórmulas y oportunidades que puede tener un negocio para satisfacerlas. Las 5C's se centran en los siguientes puntos de vista 3.2:

1. **Objetivos de la Empresa.** Identificar la empresa, cual es su misión y su visión. Se debe tener en cuenta el tipo de marketing establecido por la compañía.
2. **Clientes.** Es necesario focalizar el esfuerzo en entender la disposición a pagar de tus clientes potenciales. Esto tiene relación con la demanda, y no es otro que el objetivo final de este proyecto. Conseguir un aumento de beneficios a través del estudio de la demanda.
3. **Colaboradores.** Los *Stakeholders* son todas aquellas personas u organizaciones afectadas por las actividades y las decisiones de una empresa.
4. **Competidores.** Estudiar el nivel de competencia del mercado. En el caso de monopolios, no existe apenas competencia por el precio, mientras que en mercados dominados por varias compañías, la competencia es un factor a tener en cuenta en la fijación de precios, ya que los consumidores reaccionan a los cambios de precios, y se puede perder clientes fácilmente.
5. **Contexto.** Se deben evaluar los factores externos a la empresa, entender que está pasando en el mercados en el que se mueve. Conocer los factores socio políticos, socio económicos, culturales y legales que puedan tener efectos sobre los productos o servicios, y sobre nuestros clientes.

Durante el inicio del proyecto se han amoldado estos factores a tener en cuenta en cualquier estrategia de precios para desarrollar un estudio sobre la estrategia actual seguida por el supermercado. Con esto se podrá entender cuales son los puntos relevantes de trabajo, e identificar las acciones necesarias.

De esta manera, el primer paso que se ha dado en este proyecto consiste en hacerse las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la estrategia de *pricing* del supermercado? ¿Se busca tener el precio más competitivo o diferenciarse en la oferta?
2. ¿ El supermercado tiene alguna segmentación de producto en base a su posición estratégica (atraer demanda, aumentar el margen..) ?
3. ¿Cuáles son los principales competidores del supermercado?
4. ¿ Por qué eligen los clientes a este supermercado? ¿Cuáles son los principales criterios de compra de sus clientes?



Figura 3.2: Modelo 5C del Marketing Estratégico

Una vez estudiado el modelo de precios actual, el siguiente paso se trata de llevar a cabo dos tipos de caracterización.

Primero, se implementa una segmentación de los productos del supermercado, con el objetivo de identificar las cestas de compra tipo. Este proceso es vital de cara a poder identificar la jerarquía de productos, el posicionamiento en el supermercado, es decir, realizar el análisis del volumen de ventas de cada producto, y otros aspectos de interés como la estacionalidad o la marca.

El resultado divide los artículos dentro de una misma categoría en distintos segmentos, para los cuales se define una estrategia de posicionamiento [7].

A continuación se describe la caracterización de productos, reflejada en la Figura 3.4

- Artículos Sensibles. Son los artículos que tienen más relevancia para la imagen de la marca.



Figura 3.3: Entendimiento de la estrategia de precios actual

- Artículos Significativos. Artículos con menor relevancia que los sensibles y también menor flexibilidad a la hora de definir precios.
- Fondo de Surtido. Son los artículos que tienen una mayor flexibilidad para definir el precio, siempre respetando los precios de mercado.

En segundo lugar, se desarrolla la caracterización de los puntos de ventas. El objetivo aquí es clusterizar los puntos de ventas del supermercado en base a las principales características que los definen. Se lleva a cabo un análisis cuantitativo de los centros.

Se realiza una cualificación de las tiendas a través de sus características, para poder entender la oferta que se pone a disposición de los potenciales clientes, siendo clave estos factores a la hora de estimar tanto el área de influencia como la demanda.

Cualificadas las tiendas, se pasa a la clusterización de estas. Esta segmentación permite identificar grupos homogéneos de tiendas que puedan presentar comportamientos similares. De esta forma, el modelo de *pricing* de podrá desarrollar de forma incremental en la próxima fase del proyecto.

Se ha utilizado un algoritmo de segmentación que utiliza las siguientes variables para separar los distintos puntos de venta:

- Enseña



Figura 3.4: Caracterización de Productos

- Tipología
- Superficie
- Parking
- Población
- Edad media
- Renta
- Competencia

Se ha identificado la relevancia de estas variables para cada uno de los indicadores de las dinámicas de compra, creando una métrica de similitud. De esta manera se generan grupos en los que las tiendas tienen dinámicas similares y diferentes del resto de grupos. El último paso de este proceso se trata de un análisis de las dinámicas por segmento, comparando el rendimiento [k/m^2] frente al *Ticket* medio [€] de cada tipo de tienda.

3.1.2. Desarrollo de la solución e implementación

La segunda fase del proyecto se basa en desarrollar un código que permita obtener elasticidades de la demanda en función de las segmentaciones realizadas en el

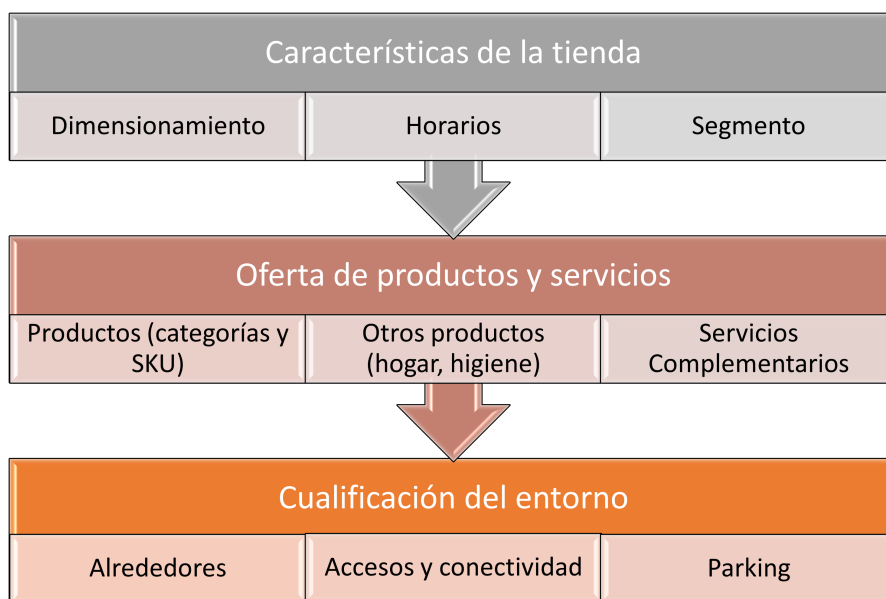


Figura 3.5: Cualificación de los Puntos de Venta

punto anterior. Con estas elasticidades se ejecutará un modelo de optimización que indique el valor de los nuevos precios, acorde al objetivo de maximizar beneficios.

Modelo de Elasticidades

Dentro del código, la primera tarea que se realiza consiste en llevar a cabo un proceso de tratamiento de los datos recibidos. Este proceso está conformado por distintas funciones que realizan tareas como la carga de los datos, la limpieza de estos, la uniformación de precios (hace que cada día haya un precio único), o la eliminación de *outliers*. Además, se generan funciones para distintos tipos de agregado de los artículos. Por ejemplo, agrupación de artículos por familia, o agrupación de artículos por semana.

A continuación se muestra cómo se ha llevado a cabo este proceso de tratamiento de datos con los resultados de la tabla de artículos tras pasar por cada fase del proceso.

En primer lugar, se cargan los datos en *Python*, como se muestra en la Figura 3.6

Acto seguido, se ejecuta una función de limpieza de estos datos con las siguientes acciones:

1. Eliminación de registros no adecuados (importe o cantidad < 0)

fecha	week	codArt	familia	centro	cantidad	importe	descripcionArt	seccion	oferta
2022-10-01	202239	105200	110102-CAFES Y SUCEDANEOS	641	1.0	1.99	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	0
		114800	110120-FRUTOS SECOS Y APERITIVOS	17	1.0	2.99	114800-AVELLANA HC TOSTADA 150 G	1101-ALIMENTACION SECA	0
		426100	120306-FUET	2001	1.0	1.85	426100-ESPETEC CONDIS EXTRA 170 G	1203-CHARCUTERIA TRADICIONAL	45231
		532200	110403-ZUMOS	2055	1.0	2.39	532200-BEBIDA GRANINI ARANDANO Y UVA 1 L	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	43517
		605200	110402-REFRESCOS	543	5.0	3.00	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0
...
2022-11-30	202248	215781	110113-PASTELERIA Y BOLLERIA	612	1.0	1.99	215781-MAGDALENAS BELLA EASO REDONDAS 10 UN 292 G	1101-ALIMENTACION SECA	0
		215961	120702-BOLLERIA	2072	1.0	3.55	215961-SURTIDO P.TORRENT BOLLERIA 280 G	1207-PANADERIA Y PASTELERIA	0
		216125	120501-YOGURES	2043	4.0	3.00	216125-YOGUR PASTORET NATURAL 0% 125 G	1205-DERIVADOS LACTEOS	0
		216456	110110-POSTRES	2071	1.0	0.95	216456-VELA OETKER N° 1 1 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	0
		216538	120702-BOLLERIA	657	4.0	13.80	216538-CIGARRILLO MUSFI'S DE CACAO 180 G	1207-PANADERIA Y PASTELERIA	0

Figura 3.6: Tratamiento de Datos - Carga Inicial

2. Se rellenan vacíos en sección y familia con 'Sin Categoría'
3. Eliminación de secciones y familias no adecuadas
4. Eliminación de artículos con una sola línea de venta
5. Se añade la columna precio

El resultado de este paso se muestra en la Figura 3.7.

fecha	week	codArt	familia	centro	cantidad	importe	descripcionArt	seccion	precio
2022-10-01	202239	105200	110102-CAFES Y SUCEDANEOS	641	1.0	1.99	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	1.99
				665	3.0	5.97	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	1.99
				605	2.0	3.98	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	1.99
				615	1.0	1.99	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	1.99
				17	3.0	5.97	105200-CAPSULAS HC NESPRES DESCAFEINADO 10 UNI	1101-ALIMENTACION SECA	1.99
...
2022-11-30	202248	729012	130106-LIMPIAHOOGARES	641	1.0	2.19	729012-LIMPIADOR DON LIMPIO BAÑO 1485 ML	1301-DROGUERIA	2.19
2022-11-29	202248	907535	130214-PARAFARMACIA	660	1.0	3.30	907535-APOSITOS URGO WATERPROOF 1 UNI	1302-PERFUMERIA	3.30
2022-11-30	202248	907535	130214-PARAFARMACIA	538	1.0	3.30	907535-APOSITOS URGO WATERPROOF 1 UNI	1302-PERFUMERIA	3.30
		216916	110114-PAN INDUSTRIAL	662	1.0	1.79	216916-MINI TOSTAS ORTIZ ACEITUNAS NEGR 120 G	1101-ALIMENTACION SECA	1.79

Figura 3.7: Tratamiento de Datos - Función de Limpieza

En el siguiente paso se filtra la tabla resultante para quedarse únicamente con

las familias que se desean estudiar. En este caso de ejemplo, se toma únicamente la familia Refrescos, como se ve en la Figura 3.8.

fecha	week	codArt	familia	centro	cantidad	importe	descripArt	seccion	precio
2022-10-01	202239	605200	110402-REFRESCOS	543	5.0	3.00	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.60
				566	6.0	3.60	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.60
				643	1.0	0.60	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.60
				433	12.0	7.20	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.60
				532	8.0	4.80	605200-REFRESCO FANTA LIMON LATA 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.60
...
2022-11-17	202246	813044	110402-REFRESCOS	531	1.0	1.52	813044-REFRESCO FANTA ZERO LIMON 2 L	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.52
2022-11-26	202247	813044	110402-REFRESCOS	667	1.0	1.27	813044-REFRESCO FANTA ZERO LIMON 2 L	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.27
2022-11-23	202247	603087	110402-REFRESCOS	522	1.0	0.58	603087-REFRESCO COCA-COLA LIGHT AL LIMON 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.58
2022-11-26	202247	603087	110402-REFRESCOS	522	1.0	0.58	603087-REFRESCO COCA-COLA LIGHT AL LIMON 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.58
2022-11-30	202248	603087	110402-REFRESCOS	522	1.0	0.58	603087-REFRESCO COCA-COLA LIGHT AL LIMON 33 CL	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.58

Figura 3.8: Tratamiento de Datos - Filtro por Familias

Cómo último paso de este proceso de tratamiento de datos, se ejecutan las siguientes funciones:

1. *unifyPrices* : Función para unificar precios agrupando por fecha y artículo, haciendo que cada día haya un único precio.
2. *elimOutliers* : Elimina aquellos datos anormales y que se alejan de la muestra. El resultado final del proceso se muestra en la siguiente Figura 3.9

fecha	codArt	week	familia	centro	cantidad	importe	descripArt	seccion	precio
2022-10-01	113002	202239	110402-REFRESCOS	686	2.0	1.02	113002-REFRESCO TANG SOBRES LIMON 30 G	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.51
				502	1.0	0.51	113002-REFRESCO TANG SOBRES LIMON 30 G	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.51
				648	1.0	0.51	113002-REFRESCO TANG SOBRES LIMON 30 G	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.51
				615	1.0	0.51	113002-REFRESCO TANG SOBRES LIMON 30 G	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.51
				530	2.0	1.02	113002-REFRESCO TANG SOBRES LIMON 30 G	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	0.51
...
2022-11-30	781754	202248	110402-REFRESCOS	670	1.0	1.49	781754-CAFFE ALPRO SOJA CARAMELO 1 UNI	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.49
				502	3.0	4.47	781754-CAFFE ALPRO SOJA CARAMELO 1 UNI	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.49
				2014	1.0	1.49	781754-CAFFE ALPRO SOJA CARAMELO 1 UNI	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.49
				526	1.0	1.49	781754-CAFFE ALPRO SOJA CARAMELO 1 UNI	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.49
				515	1.0	1.49	781754-CAFFE ALPRO SOJA CARAMELO 1 UNI	1104-LIQUIDOS Y BEBIDAS	1.49

Figura 3.9: Tratamiento de Datos - Resultado Final

Tras el tratamiento de datos, el siguiente paso del modelo consiste en llamar a la función *calcTrend*. Esta función realiza las siguientes tareas:

1. Primero agrupa los datos en el DF obtenido tras el tratamiento de datos, el cual se puede encontrar en la Figura 3.9, según las tendencias especificadas

y calcula la suma de la columna importe. Esto devuelve un nuevo DF con una columna llamada `importe` los valores sumados por grupo.

2. Tras este primer paso, la función aplica una función *lambda* a cada grupo del DF anterior. Esta función calcula el cociente de cada valor con respecto a la media del grupo. El resultado es otro DF en el que se renombra la columna `importe` por `tendencia`, y se utiliza en los siguientes pasos del modelo.

Como se observa en la Figura 3.10, se han agrupado las ventas de tres formas distintas:

1. Semana
2. Semana y Punto de Venta
3. Semana, Punto de Venta y Familia

Por último, se ejecutan los distintos modelos de regresión lineal. En este proyecto se utiliza el precio y la cantidad de los productos para obtener como salidas el coeficiente R2, el número de muestras utilizadas y la propia elasticidad. A continuación se muestra el código empleado para llevar a cabo este modelo.

Modelo de Optimización

El modelo de optimización de precios se basa en la fórmula de la elasticidad de la demanda. El objetivo del modelo es conseguir optimizar los precios de los productos para maximizar el beneficio de venta. Partiendo de la Ecuación de la elasticidad 2.2, se despeja la cantidad de la fórmula

$$Ed \cdot \frac{dP}{P_0} = \frac{dQ}{Q_0} \quad (3.1)$$

$$Ed \cdot Q_0 \cdot dP = P_0 \cdot dQ \quad (3.2)$$

$$Ed \cdot Q_0 \cdot (P - P_0) = P_0 \cdot (Q - Q_0) \quad (3.3)$$

$$Q = \frac{Ed \cdot Q_0}{P_0} \cdot (P - P_0) + Q_0 = Q_0 \cdot \left[\frac{Ed \cdot P}{P_0} - Ed + 1 \right] \quad (3.4)$$

```

{'W':          trend
week
202240  1.124570
202241  1.095441
202242  0.906260
202243  1.154929
202244  0.882561
202245  1.035506
202246  0.861021
202247  0.939713,
'WC':          trend
week  centro
202240  17      1.883577
         23      0.717862
         433     1.613577
         435     0.927844
         439     0.541656
...
202247  2074   1.554129
         2079   0.520893
         2080   1.757680
         2083   0.602405
         2088   0.439222

[1296 rows x 1 columns],
...
2080    110402-REFRESCOS  1.757680
2083    110402-REFRESCOS  0.602405
2088    110402-REFRESCOS  0.439222

```

Figura 3.10: Resultado del Cálculo de Tendencias

En este punto se quiere optimizar la Ecuación de la función beneficio 3.5. La manera de hacerlo es forzando a que la derivada de esta sea igual a 0. Entrando en la teoría, la función beneficio es una función cuadrática (una parábola). Los dos puntos donde se fuerza a que esta función sea cero constituyen a esta parábola, y el punto máximo se encuentra en el medio. Esta es la razón por la cual el precio óptimo es la media de los dos puntos donde el beneficio es 0.

$$I = P \cdot Q = Q_0 \cdot \left[\frac{Ed \cdot P^2}{P_0} - Ed \cdot P + P \right] \quad (3.5)$$

La derivada de la función se muestra la Ecuación 3.6 :

$$I' = \frac{2 \cdot Ed}{P_0} \cdot P + (1 - Ed) \quad (3.6)$$

```

def linearMod(ventas):
    X = ventas.precio
    y = ventas.cantidad
    n = len(y)
    varX = X.var(ddof=0) # Variación de X (del precio)
    if n < 2 or varX == 0:
        r2 = 0
        elast = 0
    else:
        slope, intercept, r_value, p_value, std_err = stats.linregress(X,y)
        r2 = r_value*r_value
        elast = slope * robMeanLast(X) / robMeanLast(y) # dQ/dP * P/Q == (dq/Q) / (dP/P)

    return pd.DataFrame({'R2': [r2], 'n': [n], 'elast': [elast]})

```

Figura 3.11: Código Modelo Regresión Lineal

Y finalmente, si se iguala esta derivada a 0, el precio óptimo que estamos buscando se calcula con la siguiente Ecuación 3.7:

$$P = \frac{Ed - 1}{2 \cdot Ed} \cdot P_0 \quad (3.7)$$

Con este precio, se podrán tomar decisiones de negocios en función de cada artículo.

Machine Learning

En el transcurso de las últimas décadas se han desarrollado distintas soluciones antes la complicada tarea del análisis simultáneo de información. Dentro de procesos estadísticos, suele ser una de las tareas más importantes a nivel global.

El *Machine Learning*, o Aprendizaje Automático es una de las cuantas disciplinas procedentes de la inteligencia artificial que ayuda a lidiar con el aprendizaje y predicción de grandes cantidades de información. Herramienta que busca mejorar el análisis de datos, en pro de una predicción futura, ya sea por la implementación de nuevos sistemas o simplemente el mejoramiento de los ya existentes, mediante el uso de algoritmos basados en información antigua o reciente que permita el funcionamiento óptimo del sistema a trabajar [8]. Existen muchas técnicas distintas de *Machine Learning*, como se puede apreciar en la Figura 3.12.

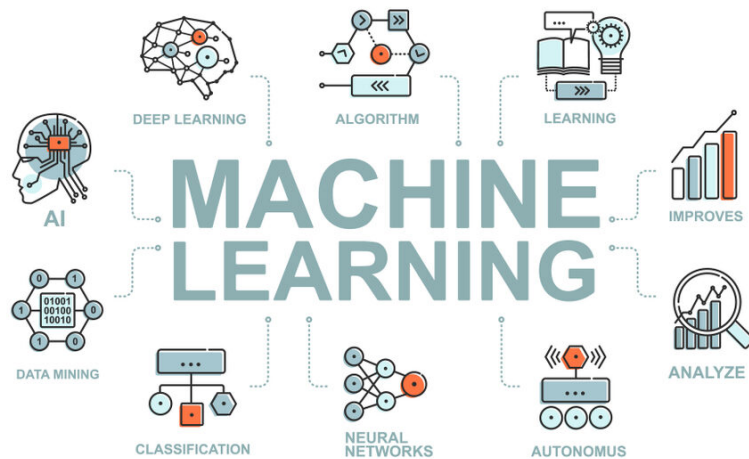


Figura 3.12: Machine Learning

Regresión Lineal

En este proyecto se va a desarrollar un algoritmo de predicción de la demanda que utilizará la técnica conocida como Regresión Lineal para obtener las distintas elasticidades correspondientes a cada uno de los productos o grupos de productos que resultan de interés.

La regresión lineal permite predecir el comportamiento de una variable (dependiente o predicha) a partir de otra (independiente o predictora) [9]. En este caso la variable dependiente que se quiere estudiar es la cantidad de veces que se venderá un determinado producto del supermercado. La variable independiente en este caso va a ser el precio del producto. En esto se basa todo el proyecto. Conseguir entender cómo afectará un cambio de precio a la demanda de un producto. Conviene destacar que este estudio se realiza a posteriori, es decir, no se busca predecir una cantidad, sino ver qué le sucede a esta cantidad con un cambio de precio.

Coefficiente de determinación R²

El coeficiente de determinación es una medida estadística que examina cómo las diferencias en una variable pueden ser explicadas por la diferencia en una segunda variable, al predecir el resultado de un evento determinado. Según [10], la variabilidad total en la relación entre dos variables tenía dos partes: por un lado la

variabilidad total de Y y por otro la variabilidad de Y que la variable X es capaz de explicar. El coeficiente de determinación es una buena medida de esa capacidad que tiene X para predecir Y:

$$r^2 = \frac{XY^2}{(XX)(YY)} \quad (3.8)$$

Como la ecuación 3.8 es simétrica en ambas variables, mide indistintamente la relación de X con Y y también de Y con X (rxy y ryx). Además, las dimensiones del numerador se cancelan con las del denominador por lo que el número resultante es adimensional y no es afectado por las unidades de medida.

Por otro lado, conceptualmente, r^2 es la fracción de la variabilidad de Y que queda explicada por su dependencia de la variable X. Así, un coeficiente de determinación de 0,64 significa que de la variabilidad total de Y, un 64 % se explica por su relación con X y el resto por otros factores desconocidos.

Varianza

En términos de estadística descriptiva, la varianza puede ser definida como la media de los cuadrados de las desviaciones sobre la media.

Una de las propiedades de la media, de cualquier media, es que la media de las desviaciones sobre la media es siempre cero. Por eso, se recurre a la varianza, a veces también denominada momento de segundo orden centrado en la media [11].

Elevar al cuadrado las desviaciones antes de tomar la media es, por tanto, un remedio para evitar que este cálculo sea siempre cero.

La varianza mide dispersión, es decir, pretende calcular en qué medida los datos están en torno a la media. En la siguiente Ecuación 3.9 se formula la varianza:

$$Varianza = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.9)$$

En este proyecto, la varianza se utiliza en el modelo de regresión lineal para calcular la dispersión de la variable X, el precio de los productos, cómo se puede ver en la Figura 3.11.

3.2. Cronograma del Proyecto

Las fases definidas en los puntos anteriores dan lugar a una serie de hitos 3.1 que se han ido cumpliendo a lo largo de la duración del proyecto.

Nº Hito	Descripción
H1	Análisis de la estrategia de precio actual
H2	Análisis de las dinámicas de surtido de productos y puntos de venta
H3	Desarrollo del modelo de elasticidades
H4	<i>Quality check</i> del modelo de elasticidades
H5	Desarrollo del modelo de optimización
H6	<i>Quality check</i> del modelo de optimización
H7	Desarrollo de las visualizaciones en Power BI

Cuadro 3.1: Hitos del Proyecto

En la siguiente Figura 3.13 se muestra el *Gantt Chart* del proyecto, donde se detallan las tareas a realizar y el periodo de duración de cada una de ellas, repartido entre los meses y semanas que abarca el desarrollo del trabajo.

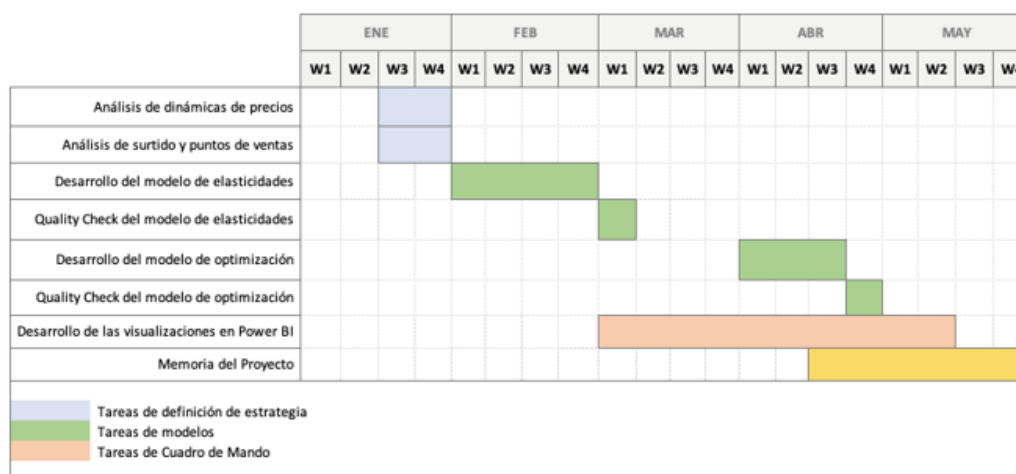


Figura 3.13: Diagrama de Gantt del proyecto

Como se puede apreciar el desarrollo de tareas abarca los cinco meses de duración que ha tenido el proyecto. El resultado final se puede analizar en el siguiente apartado de esta memoria, reflejando en el cuadro de mando.

3.3. Recursos a emplear

Los recursos a emplear son los siguientes:

1. Visual Studio. Ambiente de desarrollo integrado que permite programar aplicaciones para web, Windows, Android y iOS. Es compatible con lenguajes de programación como Python, Java o C.



Figura 3.14: Recursos - Visual Studio Code

2. Python. Lenguaje de programación interpretado ampliamente utilizado en aplicaciones web, desarrollo software, ciencia de datos y *Machine Learning*. Se utilizará para desarrollar los modelos tanto de cálculo de elasticidades como de optimización de precios.



Figura 3.15: Recursos - Python

3. Excel. Hoja de cálculo desarrollada que se usa para almacenar la muestra de datos utilizada por el modelo y para recoger los resultados de las elasticidades.



Figura 3.16: Recursos - Excel

4. Power BI. Plataforma unificada y escalable de inteligencia empresarial (BI) orientada a proporcionar visualizaciones interactivas con una interfaz lo suficientemente simple como para que los usuarios finales puedan crear por sí mismos sus propios informes y paneles



Power BI

Figura 3.17: Recursos - Power BI

3.4. Datos Utilizados

En este apartado se ofrece una explicación de las diferentes tablas que se emplean como datos de partida para los módulos de programación, detallados más adelante. En concreto, en este apartado, se detallarán los meta datos, incluyendo el formato del dato que contienen y una descripción sobre cada atributo. Además se detalla las conexiones entre tablas.

- Artículos
- Puntos de Venta

3.4.1. Artículos

Recopilación de los diferentes artículos a la venta en el supermercado, incluyendo toda su información relevante así como su categorización dentro de los niveles jerárquicos. En la siguiente Tabla 3.2 se muestran todos los campos de Artículos junto con el tipo de dato determinado y la descripción del artículo.

Nombre Columna	Formato	Descripción
COD_ARTICULO	Integer	Código identificativo del artículo
DES_ARTICULO_CAST	String	Nombre del artículo
COD_FAMILIA	Integer	Código identificativo de la familia
DES_FAMILIA_CAST	String	Nombre de la familia
COD_PROVEEDOR	Integer	Código identificativo del proveedor
DES_PROVEEDOR	String	Nombre del proveedor
COD_SECCION	Integer	Código identificativo de la sección
DES_SECCION_CAST	String	Nombre de la sección
COD_DEPARTAMENTO	Integer	Código identificativo del departamento
DES_DEPARTAMENTO_CAST	String	Nombre del departamento
COD_SECTOR	Integer	Código identificativo del sector
DES_SECTOR_CAST	String	Nombre del sector
COD_SUBFAMILIA	Integer	Código identificativo de la subfamilia
DES_SUBFAMILIA_CAST	String	Nombre de la subfamilia
COD_VARIEDAD	Integer	Código identificativo de la variedad
DES_VARIEDAD_CAST	String	Nombre de la variedad
COD_GESTOR	Integer	Código identificativo del gestor
DES_GESTOR	String	Nombre del gestor
COD_MARCA	Integer	Código identificativo de la marca
DES_MARCA	String	Especificación del tipo de marca: propia, exclusiva o fabricante
COD_FICTICIO	Integer	Código de artículo ficticio asociado
FECHA_ALTA	Date	Fecha de introducción del artículo en el sistema

Cuadro 3.2: Tabla de Artículos

3.4.2. Puntos de venta

Recopilación de los diferentes puntos de venta del supermercado, tantos propios como franquiciados, su situación geográfica y sus características más importantes. En la siguiente Tabla 3.3 se muestran todos los campos de Puntos de Venta junto con el tipo de dato determinado y la descripción de la tienda.

Nombre Columna	Formato	Descripción
COD_PUNTO_VENTA	Integer	Código identificativo del punto de venta
DES_PUNTO_VENTA	String	Dirección del punto de venta
ESTADO	String	Estado del punto de venta (Activo o no)
COD_TIPO_PUNTO_VENTA	Integer	Código identificativo del tipo de punto de venta
DES_TIPO_PUNTO_VENTA	String	Tipo de punto de venta, (franquicia o propia)
COD_ENSEÑA	Integer	Código identificativo de la enseña
DES_ENSEÑA	String	Nombre de la enseña a la que pertenece el punto de venta
FEC_ENSEÑA	Date	Fecha de la enseña
COD_REGION	Integer	Código identificativo de la región
DES_REGION	String	Nombre de la región
COD_PROVINCIA	Integer	Código identificativo de la provincia
DES_PROVINCIA	String	Nombre de la provincia
COD_MUNICIPIO	Integer	Código identificativo del municipio
DES_MUNICIPIO	String	Nombre del municipio
COD_POSTAL	Integer	Código postal
LONGITUD	Float	Grados de Longitud
LATITUD	Float	Grados de Latitud
COD_TAMAÑO	String	Código identificativo del tipo y tamaño de la tienda
DES_TAMAÑO	String	Descripción del tipo y tamaño de la tienda
DES_MARCA	String	Especificación del tipo de marca: propia, exclusiva o fabricante
COD_TARIFA_CESION	Integer	Código identificativo de la tarifa de cesión
DES_C_TARIFA_CESION	String	Nombre de la tarifa de cesión aplicada
IND_PARKING	String	Identificativo Parking (Si/No)
GLOVO	Boolean	Identificativo de existencia de servicio Glovo en la tienda

Cuadro 3.3: Tabla de Puntos de Venta

3.4.3. Flujo de Datos

El flujo de datos describe cómo los datos se mueven a través de los distintos sistemas o procesos, pasando por diferentes etapas de transformación y manipulación antes de llegar a su destino final.

En la siguiente Figura 3.18 se presenta el flujo de datos utilizado en el proyecto:

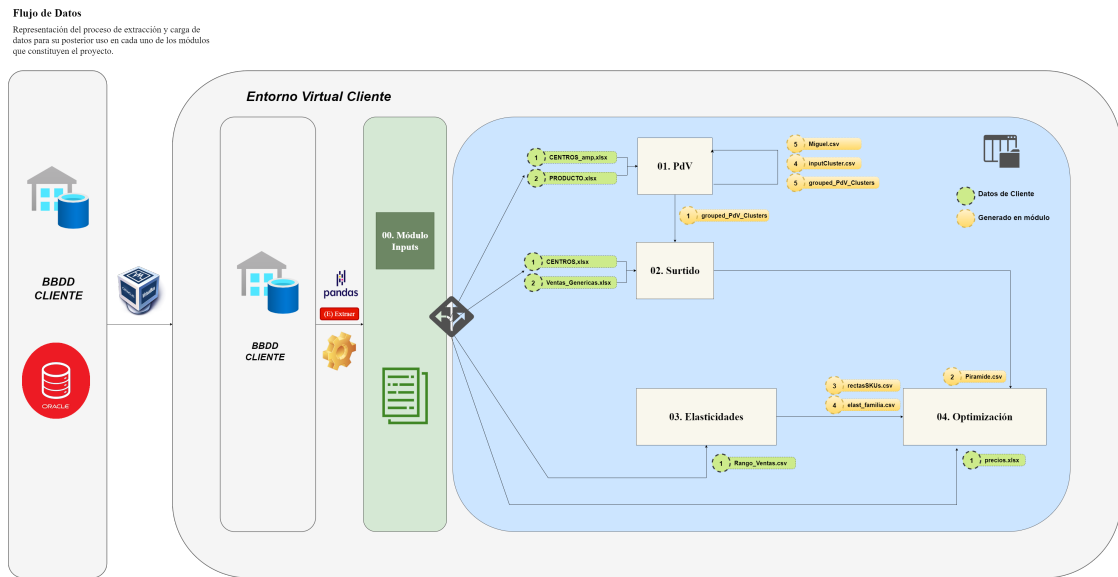


Figura 3.18: Flujo de Datos

Capítulo 4

Simulación de Resultados

En un proyecto de optimización de precios se busca identificar y aplicar estrategias efectivas para establecer los precios más adecuados que maximicen los ingresos y la competitividad en el mercado.

En esta sección de resultados, se ofrece una visión detallada y cuantificable de las elasticidades y precios óptimos obtenidos. Se van a mostrar las tablas resultado con el valor de las distintas métricas para cada modelo, y se concretará en un caso para una de las familias de artículos del supermercado. Estos resultados servirán como base sólida para la toma de decisiones futuras y el fortalecimiento de la competitividad de la organización en el mercado.

4.1. Modelo de Cálculo de Elasticidades

El modelo de cálculo de elasticidades desarrollado permitirá tomar decisiones estratégicas que afecten a los precios actuales que oferta el supermercado.

4.1.1. Estructura del Modelo

A continuación se detalla la estructura seguida para la ejecución de los distintos modelos de regresión lineal:

- Estructura de cada secuencia: str1-str2
 - str1: Secuencia de transformaciones, normalmente acabando con un modelo

- str2: Tendencia a calcular para eliminar
- Transformaciones
 - W: Agregar por semana
 - C: Agregar por centros
 - F: Agregar por familia (con el método indicado en el número posterior)
 - T: Eliminar tendencia
- Cálculo de Tendencias:
 - D: Tendencia diaria
 - W: Tendencia semanal
 - C: Tendencia por centro
 - F: tendencia por familia

4.1.2. Proceso de selección de modelo

Una vez explicado cómo funciona la estructura de un modelo, se detalla el proceso que sigue el código para obtener unos resultados coherentes.

1. En primer lugar, se procesa un modelo lineal que obtiene los resultados requeridos (Coeficiente de Determinación, número de muestras usadas y elasticidad) en función de una lista denominada *batch*, que alberga los modelos que se desean ejecutar en este primer paso,
2. Acto seguido, se procesa un segundo modelo, con la siguiente estructura:
Ejemplo: `famsBatch = ["WTCL-WCF/.4/4/-8/0/.1/.2/.8/.5"]`
El objetivo de esta ejecución es quedarse con aquellos artículos que cumplen las cuatro condiciones de calidad, es decir, los cuatro primeros atributos especificados en 4.1. A continuación, se verifica que estos artículos son al menos la proporción especificada de la familia. Luego se verifica que las elasticidades de estos artículos que se encuentran entre los dos cuantiles especificados no tengan una variación de cv mayor a la que se indica en el parámetro. Si estas condiciones se cumplen, se toma a partir de los artículos que se encuentren entre los dos cuantiles:

- Coeficiente de Determinación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (R2 + \dots + x_n)$$

- Número de Muestras:

$$n = \sum_{n=0}^N n_n$$

- Elasticidad:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (e + \dots + x_n)$$

Atributo
Modelo
R2 mínimo
n mínimo
Rango inferior de elasticidad
Rango superior de elasticidad
Proporción mínima de artículos
Rango inferior cuantil
Rango superior cuantil
CV max

Cuadro 4.1: Estructura de la fase dos del modelo

3. Por último, se procesa un tercer modelo denominado *mix* entre los dos anteriores. Si se cumplen las condiciones que especifica la estructura de este tercer modelo 4.2, se toma el primero de todos. De lo contrario, se toma el modelo número dos, ejecutado en el paso anterior.

Atributo
Modelo 1
Modelo 2
R2 mínimo
n mínimo
Rango inferior de elasticidad
Rango superior de elasticidad

Cuadro 4.2: Estructura de la fase tres del modelo

4.1.3. Ejemplo: Cálculo de Elasticidades para todas las familias

De cara a obtener una vista general de los resultados que ofrece el modelo de elasticidades, se calculan a continuación los distintos modelos de regresión lineal para todas las familias que se desean estudiar, sin llevar a cabo ningún filtro. El resumen de los resultados se muestra en la siguiente tabla.

Modelo	R2>.4	.4 el<0	.4 elq.1	.4 elq.9	R2>.6	.6 el<0	.6 elq.1	.6 elq.9	R2>.8	.8 el<0	.8 elq.1	.8 elq.9	
0	WTCL-WCF	52,25	92,87	-1,99	-0,44	33,12	92,02	-2,14	-0,41	15,95	88,14	-2,45	0,67
1	WCF0L	29,7	44,69	-6,27	4,31	3,57	100	-1,07	-1,07	0	0	0	0
2	WCF1L	48,35	100	-89,81	-4,87	10,03	100	-127,6	-2,6	2,37	100	-28,11	-28,11
3	WCF2L	45,32	100	-80	-4,71	10,03	100	-142,4	-2,74	2,37	100	-25,22	-25,22
4	WCF3L	3,72	100	-1,84	-1,84	0	0	0	0	0	0	0	0
5	WTCF0L-W	18,59	100	-0,88	-0,48	11,83	100	-0,88	-0,48	3,57	100	-0,88	-0,88
6	WTCF1L-W	27,15	100	-0,97	-0,53	4,14	100	-0,77	-0,77	4,14	100	-0,77	-0,77
7	WTCF2L-W	27,15	100	-0,96	-0,53	4,14	100	-0,77	-0,77	4,14	100	-0,77	-0,77
8	WTCF3L-W	17,39	90,67	-0,77	-0,45	4,14	100	-0,75	-0,75	0	0	0	0
9	WTCF0L-WC	18,59	100	-0,87	-0,47	11,83	100	-0,87	-0,47	3,57	100	-0,87	-0,87
10	WTCF1L-WC	27,15	100	-0,96	-0,56	8,26	100	-0,74	-0,56	0	0	0	0
11	WTCF2L-WC	34,53	100	-0,95	-0,52	8,26	100	-0,73	-0,52	0	0	0	0
12	WTCF3L-WC	17,39	90,67	-0,79	-0,48	8,26	100	-0,72	-0,54	0	0	0	0
13	WCTF0L-W	18,59	100	-0,88	-0,48	11,83	100	-0,88	-0,48	3,57	100	-0,88	-0,88
14	WCTF1L-W	43,96	100	-79,79	-2,43	22,64	100	-24,79	-2,43	2,37	100	-24,79	-24,79
15	WCTF2L-W	27,15	100	-0,96	-0,53	4,14	100	-0,77	-0,77	4,14	100	-0,77	-0,77
16	WCTF3L-W	42,91	73,55	-14,53	9,18	20,15	89,87	-14,53	4,13	0	0	0	0
17	WCF0TL-W	22,1	90,76	-6,34	-0,43	8,14	100	-1,14	-1,09	0	0	0	0
18	WCF1TL-W	43,96	100	-79,79	-2,43	22,64	100	-24,79	-2,43	2,37	100	-24,79	-24,79
19	WCF2TL-W	48,08	91,44	-72,04	-1,68	13,09	100	-22,91	-2,56	2,37	100	-22,91	-22,91
20	WCF3TL-W	42,91	73,55	-14,58	9,19	20,15	89,87	-14,58	4,16	0	0	0	0
21	WF0CL	29,7	44,69	-6,27	4,31	3,57	100	-1,07	-1,07	0	0	0	0
22	WF1CL	33,48	100	-194,49	-3,37	19,34	100	-194,49	-3,37	0	0	0	0
23	WF2CL	33,48	100	-208,34	-3,53	19,34	100	-208,34	-3,53	0	0	0	0
24	WTF0CL-WC	18,59	100	-0,87	-0,47	11,83	100	-0,87	-0,47	3,57	100	-0,87	-0,87
25	WTF1CL-WC	37,42	29,7	-15,17	11,59	20,66	53,78	-15,17	11,59	0	0	0	0
26	WTF2CL-WC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	WF0TCL-W	18,59	100	-0,88	-0,48	11,83	100	-0,88	-0,48	3,57	100	-0,88	-0,88
28	WF1TCL-W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	WF2TCL-W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	WF0TCL-WC	18,59	100	-0,87	-0,47	11,83	100	-0,87	-0,47	3,57	100	-0,87	-0,87
31	WF1TCL-WC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	WF2TCL-WC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	WF0CTL-W	22,1	90,76	-6,34	-0,43	8,14	100	-1,14	-1,09	0	0	0	0
34	WF1CTL-W	44,98	100	-121,49	-3,16	8,74	100	-121,49	-3,16	2,37	100	-27,41	-27,41
35	WF2CTL-W	44,98	100	-107,61	-3,32	12,67	100	-159,12	-3,32	2,37	100	-27,18	-27,18

Cuadro 4.3: Resumen del cálculo de elasticidades para todas las familias

Observando el resultado en la Tabla 4.3 se puede predecir que uno de los modelos que otorga un mejor resultado será el primero de todos, debido a que la mayoría de los artículos tienen un R2 superior a 0.4, e incluso un 33% de estos tienen un R2 superior a 0.6. Esto indica que el modelo predice bien. Además los valores de elasticidades oscilan entre -2.5 y -0.5, un rango que indica que habrá artículos cuya elasticidad sea mayor que -1. Si se observa la fórmula del precio óptimo 3.7, estos artículos permitirán una subida de precio, ya que esa elasticidad superior a -1 hace que el cociente que multiplica al precio actual en la fórmula sea superior a 1.

También es necesario remarcar que aquellos modelos que tienen todas las columnas a 0, no cumplen con las condiciones que se estipulan en la fase dos del

modelo 4.1.

4.1.4. Caso de Estudio: Familia de Refrescos

Cálculo de Elasticidades

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras llevar a cabo el proceso descrito en la Sección 4.1.2 para la familia de artículos denominada Refrescos".

Modelo	R2>.4	.4 el<0	.4 elq.1	.4 elq.9	R2>.6	.6 el<0	.6 elq.1	.6 elq.9	R2>.8	.8 el<0	.8 elq.1	.8 elq.9
0 WTCL-WCF	54,55	95,1	-2,21	-0,42	35,32	94,7	-2,39	-0,44	16,82	92,84	-3,06	-0,33
1 WTCL-WCF/.4/.4/-8/0/.1/.2/.8/.5	100	100	-1,24	-0,81	92,04	100	-1,24	-0,81	5,79	100	-1,08	-0,87
2 WTCL-WCF WTCL-WCF/.4/.4/-8/0/.1/.2/.8/.5 .4 .8 0	100	100	-1,48	-0,7	77,16	100	-1,39	-0,75	10,87	100	-2,1	-0,74

Cuadro 4.4: Resumen de cálculo de elasticidades para la familia Refrescos

De la Tabla resumen de Refrescos 4.4 podemos extraer la siguiente información:

- El segundo modelo hace que se cumpla con los parámetros deseados, y todos los refrescos superan un R2 de 0.4 a partir de este punto. También se fuerza a que los artículos resultantes tengan una elasticidad negativa comprendida entre el rango de -8 y 0.

Conviene destacar que se ha forzado a que las elasticidades se encuentren entre este rango debido a que interesa estudiar los artículos más sensibles y que mayor grado de importancia tienen a la hora de modificar precios.

El hecho de que la elasticidad sea negativa conlleva que la relación entre precio y cantidad es inversamente proporcional, y una subida de precios conllevará un descenso en el número de ventas del producto. De esta forma, el modelo ataca a aquellos artículos que pueden llegar a suponer un aumento en los beneficios.

- Con el primer modelo más de la mitad de los artículos tienen un Coeficiente de Determinación superior al 0.4. Esto es un buen indicador de que este modelo es óptimo y su ajuste es suficientemente bueno como para producir precios óptimos que funcionen y maximicen el la función beneficio.

Optimización de Precios

A continuación, se describen una serie de casuísticas obtenidas de la tabla final donde se recogen tanto las elasticidades como el precio óptimo resultante del modelo de optimización.

codArt	week	centro	cantidad	importe	precio	R2	elast	Precio_Optimo	Ingreso_Óptimo	Margen
601298	202240	545	1	2,25	2,25	0,91431	-2,72169	1,538346779	1,538346779	-0,71165
601298	202241	545	1	2,25	2,25	0,91431	-2,72169	1,538346779	1,538346779	-0,71165
601298	202246	571	1	2,25	2,25	0,91431	-2,72169	1,538346779	1,538346779	-0,71165

Cuadro 4.5: Casuística I. R2 elevado

En esta primera Tabla de resultados 4.5 se han filtrado los artículos por el valor del coeficiente de determinación R2. De esta forma, obtenemos un solo artículo que tiene un R2 igual a 0,91. Esto quiere decir que la regresión lineal se ajusta casi a la perfección, y la variable independiente es capaz de explicar a la variable dependiente. El artículo tiene el código 601298.

Se puede observar cómo el escenario recoge el mismo artículo en tres semanas distintas, y en dos puntos de ventas.

En cuanto a la elasticidad, la situación se encuentra ante un valor negativo inferior a -1. Esto quiere decir que el supermercado debe bajar el precio, pues si lo suben perderán ventas, es decir, perderán beneficios.

El ingreso que tendrán los puntos de venta en las semanas en cuestión se reduciría de un valor de 2.25 € a 1,53 €. Esta pérdida es menos importante que el hecho de dejar de vender el producto y no obtener ingresos. En este escenario, la cantidad vendida del producto era uno en cada semana. En los siguientes escenarios se estudiarán casos en los que el producto tiene un mayor número de ventas.

codArt	week	centro	cantidad	importe	precio	R2	elast	Precio_Optimo	Ingreso_Óptimo	Margen
601022	202242	540	59	32,45	0,55	0,43512	-0,89864	0,581019516	34,28015147	1,830151
601022	202247	540	36	22,32	0,62	0,43512	-0,89864	0,654967455	23,57882837	1,258828

Cuadro 4.6: Casuística II. Número de ventas elevado

En la siguiente casuística 4.6 se estudia el caso del artículo 601022. En esta tabla se ve como en dos de las semanas de estudio, este artículo se ha vendido muchas veces en la misma tienda.

El R2 esta vez no es muy elevado, apenas supera el 0.4 de corte. En cuanto a la elasticidad, el modelo devuelve un valor mayor que el -1. Esto implica que el precio óptimo será mayor que el precio actual. El modelo recomienda subir el precio ya que se trata de una elasticidad inelástica, es decir, poco sensible al cambio de precio 2.6. La cantidad vendida no se verá afectada por la subida de precio de este producto.

El margen de beneficio que obtendría la tienda al subir el precio de casi 2€ en una de las semanas constata lo que se ha dicho anteriormente.

En el siguiente caso 4.7 se estudia al producto 601003 durante varias semanas

codArt	week	centro	cantidad	importe	precio	R2	elast	Precio Óptimo	Ingreso Óptimo	Margen
601003	202240	718	31	23,25	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	29,22873315	5,978733
601003	202240	2016	16	12	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	15,08579775	3,085798
601003	202240	2041	17	12,75	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	16,02866011	3,27866
601003	202241	679	16	12	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	15,08579775	3,085798
601003	202241	718	17	12,75	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	16,02866011	3,27866
601003	202241	613	16	12	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	15,08579775	3,085798
601003	202245	718	24	18	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	22,62869663	4,628697
601003	202245	718	16	12	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	15,08579775	3,085798
601003	202245	534	19	14,25	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	17,91438483	3,664385
601003	202245	692	25	18,75	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	23,57155899	4,821559
601003	202246	718	17	12,75	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	16,02866011	3,27866
601003	202246	541	24	18	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	22,62869663	4,628697
601003	202247	718	24	18	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	22,62869663	4,628697
601003	202247	613	18	13,5	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	16,97152247	3,471522
601003	202247	532	16	12	0,75	0,406393	-0,66037	0,94286236	15,08579775	3,085798

Cuadro 4.7: Casuística III. Márgenes elevados

en las que el margen de beneficio resulta el valor más elevado de todos los obtenidos por el modelo.

En este escenario es obvio que el modelo recomienda subir el precio, pues se trata de los resultados de elasticidades más cercanos al 0. Esto quiere decir que este producto se trata del menos sensible a una subida del precio en términos de futuras unidades vendidas.

El aumento de precio que recomienda el modelo pasa de 0,75 € a 0,943€ en todos los centros que se recogen en la tabla.

Los márgenes de beneficio oscilan entre 3€ y 5,97€, siendo los más elevados del estudio. Sin embargo, cabe destacar que el valor del R2 en este caso es el más bajo. Aun así, supera el corte de 0,4 especificado en la estructura del modelo.

Capítulo 5

Conclusiones

En esta sección se van a explorar los logros y las conclusiones obtenidas a partir del proyecto de optimización de precios implementado. Se analizarán los efectos y las mejoras observadas en la rentabilidad, la satisfacción del cliente y la posición competitiva de la empresa tras la implementación de las estrategias de optimización de precios.

Teniendo en cuenta la Tabla resumen 4.1.4 del apartado anterior, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. El modelo fuerza a quedarse con elasticidades negativas, lo que significa que existe una relación inversa entre el precio del producto y la cantidad demandada. Esto indica que a medida que el precio aumenta, la demanda disminuye. Es decir, los consumidores son más sensibles al precio y tienden a comprar menos cuando el precio es más alto.
2. Entendiendo que se estudian los artículos más sensibles para el cliente, el modelo busca obtener un coeficiente de determinación alto. Cuando se habla de elasticidades para las cuales el R^2 supere un valor de 0.8, se trata de estudiar artículos en los cuales el modelo de regresión lineal puede explicar aproximadamente el 80 % de la variabilidad observada en la cantidad de artículos de supermercado a través del precio.

Esto sugiere que el modelo tiene un buen ajuste y puede proporcionar una buena estimación de la relación entre el precio y la demanda.

3. La magnitud de la elasticidad proporciona información sobre la sensibilidad de la demanda ante los cambios de precio. En la Figura de tipos de elasticidad 2.4 se puede entender qué sucede en función del valor de la misma. En el caso

del modelo que se ha ejecutado, la elasticidad final en el caso en el que R^2 es superior a 0.8 oscila entre -2.1 y -0.74. Cada refresco de esta selección tendrá una situación distinta, en la que aquellos que tengan una elasticidad negativa más alta, es decir, más cercana al -2.1 se verán más afectados por un incremento en el precio.

4. En resumen, se comprueba que las elasticidades promedio de los refrescos no son especialmente altas. Algunos productos pueden ser un poco más sensibles que otros, pero no estamos hablando de valores extremos. Por poner un ejemplo, si una lata de Pepsi sube el precio, el producto podría tender a perder demanda, pues por un precio similar los clientes optarían por comprar la lata de Coca Cola, quien tiene un gran porcentaje del mercado.

En cuanto al caso de estudio que se ha realizado con la familia de Refrescos 4.1.4, el estudio da lugar a los siguientes puntos de vista:

1. El modelo de cálculo de elasticidades obtiene valores buenos de elasticidad, lo cual ha permitido poder llevar a cabo la posterior simulación de precios. Cabe destacar que algunos artículos han obtenido un coeficiente de regresión bastante alto, y, por lo tanto, el modelo de regresión lineal ajusta bien.
2. El modelo de optimización es capaz de calcular el precio óptimo acorde con lo demostrado en la teoría 3.5, y el resultado final cumple con el tipo de elasticidad obtenida. Se establecen los cambios o bajadas de precio de forma que el supermercado tenga una manera rápida y eficaz de tomar decisiones estratégicas que aumenten su desempeño y cumplan con sus metas.
3. Uno de los aspectos clave a evaluar en un proyecto de este tipo son los resultados financieros obtenidos. En cada casuística se ha examinado el impacto directo en los ingresos y los márgenes de beneficio a través de la aplicación del modelo en el nuevo precio. Además, se podría analizar los cambios evolutivos en los volúmenes de ventas, el aumento de ingresos y la mejora de márgenes durante un periodo histórico. De esta forma se podría tener una evaluación cuantitativa del éxito y la eficacia de las estrategias de optimización de precios implementadas.

Respecto a las conclusiones generales tras haber realizado el proyecto, cabe destacar el aprendizaje y las lecciones extraídas del mismo. El proceso seguido desde el estudio de la estrategia de precios actual del supermercado hasta el cálculo de precios óptimo cubre todos los aspectos propios de un proyecto del sector *retail*, y ha sido muy interesante poder aprender conceptos y técnicas propias de este mundo.

Además, se ha hecho hincapié en temas estadísticos relacionados no solo con la elasticidad, sino con otros conceptos propios del mundo de la economía. Esta derivada del proyecto ha resultado ser clave y tener conciencia de la utilidad de elementos como puede ser el margen es enriquecedor de cara al futuro.

Bibliografía

- [1] Instituto de Ingeniería del Conocimiento. *La Ciencia de Datos Impulsa El Sector Retail - IIC*. Dic. de 2017. URL: <https://www.iic.uam.es/innovacion/ciencia-datos-impulsa-sector-retail/>.
- [2] John Kenneth Galbraith, J Ferrer Aleu y Blanca Ribera de Madariaga. *El dinero*. Ariel, 1996.
- [3] David Pérez e Isabel Pérez. «El precio. Tipos y estrategias de fijación». En: *EOI Marketing* 4 (2006), pág. 53.
- [4] Irene Gil Saura et al. «Encuentro de servicio, valor percibido y satisfacción del cliente en la relación entre empresas». En: *Cuadernos de estudios empresariales* 15 (2005), págs. 47-72.
- [5] Thomas Nagle y Redd Holden. «Estrategia y tácticas de precios». En: *Una guía para toma de* (2002).
- [6] Jesús S. *Elasticidad de la Demanda: ¿Qué es y qué factores la determinan?* Oct. de 2021. URL: <https://economia3.com/elasticidad-demanda-que-es-utilidad/>.
- [7] Aregawi Yemane, Alehegn Melesse Semegn y Ephrem Gidey. «ABC Classification for Inventory Optimization (Case Study Family Supermarket)». En: (2021).
- [8] Denniye Hinestroza Ramirez. «El Machine Learning a través de los tiempos, y los aportes a la humanidad». En: (2018).
- [9] Jorge Dagnino et al. «Regresión lineal». En: *Revista chilena de anestesia* 43.2 (2014), págs. 143-149.
- [10] Jorge Dagnino. «Coeficiente de correlación lineal de Pearson». En: *Chil Anest* 43.1 (2014), págs. 150-153.
- [11] Gonzalo García Abad. *Varianza: Qué es y cómo se calcula*. Abr. de 2023. URL: <https://www.sage.com/es-es/blog/varianza-que-es-y-como-se-calcula/>.

- [12] Desarrollo Sostenible. «Objetivos de Desarrollo Sostenible». En: *Food and Agriculture Organization: Rome, Italy* (1986).

Apéndice A

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Jefes de Estado y de Gobierno firmaron en septiembre del 2015 la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esta decisión fue histórica, al adoptar un conjunto de objetivos y metas universales transformadoras del alto alcance y centrados en las personas. En la Agenda 2030 se reconoce la necesidad de erradicar la pobreza y la pobreza extrema como un requisito indispensable para lograr el desarrollo sostenible. La Agenda se dispone a conseguir un desarrollo sostenible de forma equilibrada e integrada [12]. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus 169 Metas son de carácter integrado e indivisible, de alcance mundial y de aplicación universal. Cada país o gobierno decide la forma de incorporar la Agenda 2030 en sus procesos de planificación, políticas y estrategias nacionales. Es así que los objetivos a ser incorporados dentro de las políticas y estrategias de cada país son los reflejados en la Figura A.1:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.



Figura A.1: Objetivos de Desarrollo Sostenible

7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8. Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenido, el pleno empleo productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

A.1. Alineación del proyecto con los ODS

1. ODS 1 - Fin de la pobreza: Este proyecto puede contribuir a este objetivo al ofrecer precios más justos y asequibles para los productos básicos. De esta manera se mejora el acceso de las personas de bajos ingresos a alimentos y productos esenciales.
2. ODS 2 - Poner fin al hambre: Al establecer precios óptimos, el supermercado puede contribuir a reducir el desperdicio de alimentos y hacer que los productos sean más accesibles, promoviendo así la seguridad alimentaria y la nutrición adecuada.
3. ODS 8: Promover el crecimiento económico : Este proyecto busca generar eficiencias en el negocio del supermercado, lo que puede traducirse en un crecimiento económico sostenible y la creación de empleo de calidad.
4. ODS 12: Producción y consumo responsables: Al establecer precios óptimos, el supermercado puede fomentar el consumo responsable, promoviendo la compra de productos de calidad y sostenibles. Además, el proyecto puede contribuir a la reducción del desperdicio de alimentos y la gestión adecuada de los recursos.
5. ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos: El proyecto puede fomentar la colaboración con proveedores, socios y organizaciones sociales para promover prácticas comerciales justas, sostenibles e inclusivas.

