

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil Industrial



**MODELO DE DECISIÓN DE MIX DE PRODUCTOS EN EXHIBICIÓN  
CONSIDERANDO EL EFECTO DE PRODUCTOS COMPETIDORES.**

**CAMILO IGNACIO DAVILA LOW**

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**Profesor Guía**

Manuel Cepeda.

**Profesor informante**

Cristian Oliva.

Concepción, Septiembre de 2017

## 1. Resumen

El presente artículo presenta el impacto en las ventas generado por la presencia de productos competidores, por la realidad de que existen productos que tienen los mismos clientes potenciales, y esto hace que estos últimos, por razones diversas, tengan preferencia por un u otro producto en exhibición.

Tiene por propósito en primera instancia la comprobación y cuantificación del fenómeno en estudio, para el caso puntual de las ventas de refrigeradores de Electrolux S.A, a partir de datos estadísticos, y en segunda instancia un análisis del potencial incremento en las ventas para la empresa por considerar este análisis a través de un modelo de programación lineal entera.

Para estos fines se calculan correlaciones lineales entre la venta y la presencia de los productos, buscando una primera mirada del impacto del suceso, definiendo así los productos competidores como aquellos que posean correlaciones negativas altas (inferiores a  $-0,25$ ), posteriormente se analiza el comportamiento de las ventas generadas por producto acorde a la combinación de la cantidad de productos de correlaciones altas que se vieron exhibidas en las tiendas de Santiago.

Se evidencia de forma cuantitativa el grado de competitividad entre los productos, encontrando una relación directa entre la venta de cada producto y la presencia de los demás como función de la cantidad de productos competidores de correlaciones altas exhibidos, y en particular como disminución porcentual dado la presencia de 0, 1, 2 ó 3 o más productos competidores de correlaciones altas.

Para poder resolver el problema de qué productos exhibir en cada tienda dado el fenómeno en estudio, y determinar el incremento en las ventas por la consideración de este factor, se construye un modelo de programación lineal entera con penalizaciones porcentuales (disminución porcentual) por la consideración de la presencia de 1, 2 ó 3 o más productos competidores de correlaciones altas.

A partir de la solución encontrada con el modelo de programación lineal entera se obtiene un aumento esperado en las ventas de hasta un 33,5% respecto a la solución actual. El análisis de sensibilidad arrojó que este valor de incremento potencial en las ventas por la consideración del modelo estudiado generaría un aumento real de entre un 4,77% y un 9,81%.

## 2. Introducción.

La gran variedad de productos exhibidos en las tiendas afecta la toma de decisiones de compra de parte de los clientes, en particular la competitividad entre los diversos productos viene siendo el factor más relevante, puesto que muchos de ellos buscan satisfacer exactamente la misma necesidad básica de los consumidores, teniendo modificaciones en forma, material estructural, color, dimensiones físicas, y otros adicionales, dentro de los mismos rangos de precio.

Por otra parte, Electrolux S.A, empresa de electrodomésticos y línea blanca para la cual se realiza el estudio, actualmente participa en la decisión de qué productos exhibir en cada tienda del país, a través de un sugerido, ya que cada cadena de retail toma la decisión final.

Para ese fin el departamento de inteligencia en el punto de venta genera un modelo predictivo de ventas por producto y sucursal, en función de datos históricos, a través de series de tiempo, regresiones lineales, y considerando situaciones puntuales en las tiendas para no ver sesgado su modelo. La organización comprende su decisión de exhibición de productos como el ranking de mejor venta esperada por tienda y sucursal, sin embargo aún no considera el efecto de la competitividad entre los productos.

En este artículo se aborda la competitividad como un factor a considerar en la decisión de exhibición, ya que la presencia de productos competidores afecta a la decisión de compra del consumidor, lo cual se traduce en una disminución en la venta esperada de los productos.

El propósito de este estudio en primera instancia es la comprobación y cuantificación del fenómeno de competitividad entre productos, para el caso puntual de la venta de refrigeradores de Electrolux S.A, a partir de datos estadísticos, y en segunda instancia un análisis del potencial incremento de las ventas para la empresa por considerar en la decisión de exhibición el efecto de los productos competidores a través de un modelo de programación lineal entera.

Cumplir estos objetivos podría significar un conocimiento importante para la empresa sobre un nuevo factor a incorporar, e incluso una nueva forma de tomar decisiones, generando más análisis del comportamiento del consumidor y trabajando con un modelo cada vez más exquisito en resultados de ventas por incorporación de factores.

### 3. Marco Teórico

Las cambiantes condiciones de los negocios como resultado de la competencia mundial, el rápido cambio tecnológico y las crecientes preocupaciones por el medio ambiente han ejercido presiones sobre la capacidad de una empresa para generar pronósticos precisos (Diversas fuentes, Autor desconocido).

El pronóstico de la actividad económica ha recibido considerable atención en los últimos 50 años. Un número creciente de métodos estadísticos ha surgido con el fin de predecir la evolución de las series macroeconómicas de consumo, producción e inversión, entre otras (Fernández, 2007).

Por lo anterior, las empresas han optado por estudiar sus mercados, desde una mirada interna y hacia el conocimiento micro y macroeconómico que afecta o pueda afectar la forma en que se vendan los productos. Por otra parte, empresas de diversos rubros están optando cada vez más por saber cuánto venderán y a qué precio, para sus diversos productos, buscando relaciones estadísticas, realizando estudios de mercado, lo que trae consigo una cantidad de posibilidades para el marketing.

Según Jerome McCarthy, “el marketing es la realización de aquellas actividades que tienen por objeto cumplir las metas de una organización, al anticiparse a los requerimientos del consumidor o cliente, al encauzar un flujo de mercancías aptas a las necesidades y los servicios que el productor presta al consumidor” (McCarthy, 1967). Y para su fin, es primordial poder tomar decisiones a partir del entendimiento de los clientes o de las ventas.

La venta al detalle o “Retail”, es la madre de este sistema competitivo, puesto que cada vez más son las empresas que se esfuerzan por generar distinción en sus productos, con el fin de incrementar sus ventas o ganar porcentaje de mercado.

Junto con el análisis de las empresas al estudiar sus clientes y productos a destinar para cada tipo (por segmento o de forma masiva acorde a la estrategia de mercado), las personas (clientes) están teniendo cada vez más iniciativa por conocer las diferentes opciones que existen en el mercado para poder satisfacer una necesidad puntual, debido a la cantidad de información existente a través de las redes sociales, el mismo internet, e incluso desde una mirada directamente en las tiendas.

Por el factor anterior, las mismas empresas se han visto en la obligación, como pilar fundamental, de generar análisis de sus clientes y productos cada vez más acabados, comprendiendo como se está generando valor, y cuáles son los motivos de una disminución o aumento en las ventas.

A su vez, el aumento tecnológico ha traído consigo la capacidad de captar enormes cantidades de datos a partir de la creación y posterior manipulación de software especializados, y en muchos casos propios de cada empresa.

Esta enorme cantidad de datos requiere ser procesada y analizada, y debido a la dificultad de encontrar patrones que agreguen valor dentro de un mar de números, el conocido “Data Mining” o “minería de datos”, ha servido no solo para manipular datos, sino que también para encontrar patrones en innumerables situaciones y para una infinidad de entidades.

SPSS Inc. a través de su libro *Introducción a Clementine* define Data mining (DM) como un proceso iterativo y repetitivo que engloba un conjunto amplio de técnicas encargadas de extraer información útil y relevante en las bases de datos (generalmente grandes), sin necesidad de tener ninguna noción preconcebida sobre qué o cómo se puede relacionar los datos que disponemos (SPSS Inc, 2008). Es decir, corresponde al conjunto de herramientas para poder convertir una nube de datos en información valiosa.

Toda esta disputa entre las diferentes empresas por ofrecer propuestas de valor cada vez más innovadoras y específicas, y la necesidad por entender el mercado, nos ha llevado a generar estudios sobre el comportamiento del consumidor cada vez más acabados. Definiendo así patrones de decisiones de compra, y diferentes estrategias que se pueden optar al respecto (mercadotecnia), por cualidades particulares de productos, así como también por localización de productos, entre otros.

En Chile “durante la última década se ha visto un constante cambio en la conducta de los consumidores, un mayor poder adquisitivo, mayor nivel de instrucción de las personas, el decrecimiento del índice de natalidad, e incluso la incorporación de la mujer al mundo laboral” (Comité de Retail Financiero, 2015). Lo cual propone un aumento en la competitividad de las diferentes empresas que participan en los diferentes mercados.

Lo anterior es reafirmado a través del libro “Retail en Chile”, donde se menciona que el crecimiento en el número de viviendas, las cuales presentan una mejoría tanto en su infraestructura como en su equipamiento, implica un mejoramiento en la calidad de vida de las personas (Jorquiera, 2005). Es uno de los factores estudiados, y que afectan directamente a un cambio en la forma de tomar decisiones dentro del proceso de compra.

Esto reafirma la necesidad de tomar mejores decisiones en cuanto a propuestas de productos y propuestas de valor plenamente tal, significando una importante oportunidad la búsqueda de nuevos análisis acerca de los clientes o de su forma de operar. Por esto, además de los patrones macroeconómicos, la microeconomía será relevante para poder comprender el comportamiento y para estudiar los efectos que pueden tener una forma de venta u otra.

“La microeconomía es el estudio de la manera en que eligen los individuos en condiciones de escasez” (Rabasco y Frank, 1992).

Cada producto posee un potencial de venta, que tiene como contraparte a productos sustitutos, productos competidores, entre otros. Y como cada producto satisface una necesidad, es lógico pensar que cada uno de los productos competidores y sustitutos generará de alguna manera y en alguna medida, una disminución en la esperanza de venta.

Se define un potencial de venta como la cantidad máxima a la cual se puede aspirar vender (número de clientes totales para la necesidad), cuyo valor puede ser acotado para evitar sobreestimaciones y para generar un valor más real y concreto.

Dentro de las posibilidades de mejoramiento en productos, y en la reducción de costos o incluso el aumento de las utilidades, se encuentra una herramienta sumamente poderosa y ventajosa, la cual se denomina modelamiento matemático (área de aplicación de investigación de operaciones), el cual consiste en encontrar soluciones óptimas, a partir de optimización entorno a funciones que definen los costos, ingresos, en diversas variables.

El Modelamiento Matemático es una habilidad que permite resolver problemas reales, a través de la construcción de modelos, que pueden ser físicos, computacionales o simbólicos, y que sirven para poner a prueba el objeto real y ver cómo responde frente a diferentes factores o variantes (Araya, 2012).

El modelamiento matemático se utiliza frecuentemente para maximizar las utilidades, ya sea buscando el mínimo de costos en los procesos, mejorando la gestión del personal, o bien generando la máxima diferencia positiva entre ingresos y egresos. Esto se realiza a través de la elección de productos a vender, a procesar, o el modo de hacerlo, junto con los procesos necesarios.

Un típico modelo utilizado en los puntos de venta son los de optimización de personal, que se utilizan para poder definir el número de operarios por día y hora, con el fin de cumplir con ciertas expectativas de servicio, minimizando los costos asociados.

En particular el uso de modelos matemáticos, ya sea a través de programación lineal o con el uso algoritmos y/o heurísticas de búsqueda de mejores soluciones, se ha utilizado para la resolución de problemas del área de ventas. Un ejemplo claro es la investigación “An efficient algorithm for capacitated assortment planning with stochastic demand and substitution” publicado en la European Journal of Operational Research el año 2015, donde se aborda el problema de la demanda estocástica a través de un algoritmo heurístico en sustitución al modelamiento matemático, por la dificultad de encontrar una solución óptima para problemas grandes.

Otro ejemplo de la aplicación del modelamiento matemático, y en particular para el retail, es la investigación “Optimizing the assortment in the super market shelves using nonlinear programming techniques”, donde a través de un enfoque innovador integrando la planificación de surtido y la planificación de inventario, con restricciones de espacio, encuentran un modelo de programación no lineal para encontrar mejores decisiones en la elección de los niveles de inventario. Por otra parte, el documento “Application of Linear Programming Techniques to Practical Decision Making”, donde se analizan diversos modelos de programación lineal aplicables al área del análisis de mercado, aborda temáticas de comportamiento del consumidor, y la relación que existe con los intermediarios.

## 4. Metodología

La metodología utilizada para comprender y poder utilizar el impacto de la presencia de un producto sobre otro consta de 4 etapas; donde la primera corresponde a la comprobación del fenómeno en estudio y la identificación los productos competidores de cada producto. La segunda etapa tiene por propósito la predicción de la venta de cada producto en función de la presencia de los productos competidores definidos en la etapa anterior. La tercera etapa corresponde a la creación y utilización de un modelo de programación lineal para poder encontrar la mejor decisión de mix de productos a exhibir en cada tienda, considerando el impacto de la presencia de productos competidores en la predicción de ventas. Y la cuarta etapa corresponde a la comparación del modelo de programación lineal con otras 3 soluciones alternativas.

### 4.1 Etapa 1: Comprobación del fenómeno en estudio y la identificación los productos competidores de cada producto.

Cabe mencionar que antes de llegar al modelo final, se optó por el estudio a través de regresiones lineales, tomando como variable dependiente la venta mensual de cada producto, y como variables independientes la presencia de los demás productos, sin embargo arrojó una cota superior de R2 demasiado baja, debido a múltiples factores externos desconocidos para efectos del estudio, por lo cual se descartó su utilización.

Se dispone de una base de datos con las ventas generadas por producto y sucursal durante un año. Como una forma de poder trabajar las ventas de diferentes tiendas, se calculan las ventas mensuales de cada tienda como porcentajes de la venta anual de cada una de ellas.

Se calculan correlaciones lineales entre la venta y la presencia de cada uno de los productos, y para cada uno de ellos, generando una observación del fenómeno en estudio.

Se establece la correlación alta para efectos de este estudio como aquellas inferiores a  $-0,25$ , de esta forma todos aquellos productos que posean correlaciones altas serán productos competidores del producto en estudio.

### 4.2 Etapa 2: Predicción de la venta de cada producto en función de la presencia de los productos competidores.

Se calcula la venta promedio sin productos competidores, y con 1, con 2 o con 3 o más, identificando la relación entre la venta y la cantidad de productos competidores.

Se define la venta potencial por producto como la venta encontrada sin presencia de productos competidores de correlaciones altas, y las penalizaciones porcentuales como la disminución porcentual por presencia de 1, 2 o 3 o más productos de correlaciones altas.

Se calcula la venta potencial por producto y sucursal, revirtiendo la homogenización de los datos definida en la etapa 1.

#### 4.3 Etapa 3: Creación y utilización del modelo de programación lineal.

Se construye un modelo de programación lineal entera para tratar el problema, dejando como variable de decisión la elección de qué producto incorporar a cada sucursal. No se restringe a no dejar productos competidores, sino más bien se le da la posibilidad de hacerlo considerando la penalización, por lo tanto se interpreta como variable de decisión la situación de que cada producto se encuentre con 1, 2, o 3 o más productos competidores, la cual se construye a partir de la decisión final que es qué productos exhibir.

Se crean los parámetros de entrada acorde a la etapa 2, y se establece como limitante por tienda el número de productos que se puede exhibir.

Se hace correr el modelo y se obtiene el mejor mix para cada tienda considerando el factor en estudio.

#### 4.4 Etapa 4: Comparación entre el modelo de programación lineal y otras 3 soluciones alternativas.

Se definen 4 políticas diferentes para poder abordar el problema:

- Elección sin considerar en absoluto el factor, eligiendo como productos a exhibir aquellos que tengan mayor venta promedio (decisión actual).
- Elección a través del potencial de venta, definido en la etapa 2, eligiendo como productos a exhibir los de mayor venta potencial, sin considerar su penalización.
- Modelo de programación lineal alternativo, bloqueando la posibilidad de elegir dos productos competidores para la misma tienda.
- Modelo de programación lineal dejando la posibilidad de competir entre productos, pero considerando su penalización.

Se buscan las soluciones de cada una de las políticas, y se compara acorde a la venta esperada (asumiendo penalizaciones).

Se realiza un análisis de sensibilidad para tener un mayor grado de acercamiento al valor real del incremento en las ventas por la incorporación de la competitividad de los productos a través de un modelo de programación lineal entera.



## 5. Desarrollo

### 5.1 Etapa 1: Comprobación del fenómeno en estudio y la identificación los productos competidores de cada producto.

#### 5.1.1 Datos.

Se dispone de una base de datos correspondiente a la venta de los productos con sus cantidades y precios, para cada uno de los productos (inicialmente 90) por cada sucursal de Chile, con su asociación al día y mes correspondiente. Se considera necesario trabajar exclusivamente con la región metropolitana, puesto que es en ella en donde se muestra mayor estabilidad en la recolección. También se reduce a ventas por tienda por mes, y no por día – mes, por la misma razón. Finalmente se considera sólo las tiendas de Falabella, Ripley, París y La Polar, debido a que son representativas del comportamiento de las personas.

Los datos quedan transformados a ventas mensuales por producto y sucursal, para un total de 1 año y para el retail mencionado anteriormente, con un total de 6636 datos, de 56 productos y 71 tiendas. Se adicionan 55 columnas por cada mes que corresponden a parámetros binarios (0 o 1), donde 1 es que el producto de la columna asociada estuvo en exhibición al mismo tiempo y 0 en caso contrario.

Tabla 1: Extracto de tabla Distribución porcentual de ventas a lo largo del año por tienda.

Tienda	Mes												Venta anual
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
FALABELLA-1445	7%	7%	20%	7%	7%	0%	3%	0%	10%	7%	10%	23%	30
FALABELLA-1501	13%	12%	11%	4%	6%	2%	5%	8%	8%	9%	11%	11%	1010
FALABELLA-165	11%	11%	9%	6%	6%	5%	4%	9%	9%	9%	7%	14%	798
FALABELLA-1737	9%	11%	10%	10%	10%	3%	9%	7%	5%	6%	8%	11%	279
FALABELLA-2003	6%	12%	2%	5%	2%	14%	21%	10%	1%	6%	15%	6%	86
FALABELLA-2214	11%	12%	9%	8%	7%	4%	7%	9%	8%	5%	8%	11%	367
FALABELLA-236	15%	13%	15%	3%	2%	0%	0%	5%	7%	6%	12%	21%	221

Elaboración propia.

En la tabla 1 se aprecia cómo se distribuyen porcentualmente las ventas a lo largo del año, así como el total de venta en el año para cada tienda. La evidente diferencia entre las ventas anuales de las diferentes tiendas nos exige hacer una comparación más transparente de los datos, puesto que comparar las ventas de un producto en una tienda de venta anual 30 con las ventas del mismo producto en una tienda de venta anual 1010 sería un error. A partir de ahora se utilizará la distribución porcentual de las ventas por tienda, es decir el porcentaje de ventas generado por producto y mes con respecto al total de venta del año de esa tienda.

Tabla 2: Extracto de tabla porcentaje de ventas respecto al total anual de cada tienda para producto Advantage 8200, asociado al mes y a la presencia de los productos.

Tienda	Distribución porcentual de venta respecto a su tienda	Mes	Presencia de productos					
			ADVANTAGE 8200	ADVANTAGE 8210 T	ADVANTAGE 8300	ADVANTAGE 8300 BLACK	ADVANTAGE 8310 T	
FALABELLA-1445	3,333%	3	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1445	3,333%	11	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1445	3,333%	12	1	0	1	0	0	0
FALABELLA-1501	0,396%	1	1	0	0	1	0	0
FALABELLA-1501	0,990%	2	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1501	0,099%	3	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1501	0,198%	4	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1501	0,099%	6	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1501	0,396%	7	1	0	0	0	0	0
FALABELLA-1501	0,990%	8	1	0	1	1	0	0
FALABELLA-1501	0,495%	9	1	0	1	1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior nos expresa la venta generada por el producto Advantage 8200 en cada tienda y mes asociado en términos porcentuales respecto del total de ventas anuales de cada una de esas tiendas, con la asociación de la presencia de los productos, donde tiene un 1 cuando el producto asociado a la columna estuvo presente y un 0 en caso contrario.

### 5.1.2 Correlaciones.

Para poder tener una observación del problema propuesto, se calculan las correlaciones entre el porcentaje de ventas de cada producto respecto al total anual de cada tienda, visto en la tabla 2, y la presencia de los otros productos, para cada producto.

Tabla 3: Extracto de correlaciones entre porcentaje de venta y presencia de productos.

Producto	Porcentaje	25%	MMB 71	PROGRESS 5400	FMB 91 S	ERDG195YSKW	ERDG195YSKG	CELSIUS 330
	Precio		92.717	103.518	108.696	143.248	168.403	170.178
		diferencia	23.179	25.879	27.174	35.812	42.101	42.545
MMB 71	92.717	23.179	0	-0,091839267	-0,00722747	0	0	0
PROGRESS 5400	103.518	25.879	-0,138674449	0	-0,06424876	0	0	0
FMB 91 S	108.696	27.174	-0,010405947	0,030009931	0	0	0	0
ERDG195YSKW	143.248	35.812	0	0	-0,08350994	0	-0,164675801	-0,08350994
ERDG195YSKG	168.403	42.101	0	0	0	0,087739525	0	-0,04497721
CELSIUS 330 S	170.178	42.545	0	0	0	-0,211483956	-0,220885837	0
ERTG215YSKW	186.938	46.734	0	0	0	-0,178604389	-0,287467156	-0,09692398
NORDIK 415 INOX	220.154	55.039	0	0	0	0	-0,101588229	-0,05027659
PROGRESS 3100 INOX	228.312	57.078	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Notar que se considera solo una diferencia de precio porcentual de un 25% para el análisis, puesto que es poco probable que el consumidor tome la iniciativa de comprar un producto de mayor diferencia de precio, siendo que deseaba llevarse el primero. Esta condición está dada en función de experiencia de terceros en la industria del retail.

La interpretación inmediata de la tabla anterior corresponde a que existe algún grado de competencia entre los productos, ya que las correlaciones son negativas, esto quiere decir, que en

la medida en que el producto tuvo menor cantidad de productos competidores vendió más, desde una perspectiva estadística.

El comportamiento de aleatoriedad en estas correlaciones puede ser mostrada por los valores positivos, por lo tanto se descartan las correlaciones mayores a -0,1.

Para efectos de este estudio, se asume como correlaciones fuertes aquellas que posean valores inferiores a -0,25, y débiles aquellas que estén entre -0,25 y -0,1.

Se define a partir de ahora un producto competidor como aquel que tenga correlación negativa alta entre la venta y la presencia. Con respecto a las correlaciones significativas pero débiles, no serán consideradas dentro del análisis, puesto que no se cuenta con número suficiente de datos para demostrar el efecto a ese nivel de detalle.

## 5.2 Etapa 2: Predicción de la venta de cada producto en función de la presencia de los productos competidores.

### 5.2.1 Relación entre la venta y el número de productos competidores presente.

Se calcula el promedio de la participación porcentual de venta de cada producto cuando no hay presencia de productos competidores, y cuando hay presencia, desglosando la venta en presencia de productos competidores en 3 escenarios: en presencia de 1 producto de correlación alta, en presencia de 2 o bien en presencia de 3 o más productos competidores.

Tabla 4: Venta promedio en unidades, sin presencia de productos competidores, con presencia de productos competidores y desglose en 1, 2 y 3 o más competidores de correlaciones fuertes.

Producto	Venta promedio sin competidores.	Venta promedio con competidores.	Cantidad de productos competidores.		
			1	2	3
ADVANTAGE 8200	25,37	11,43	14,09	7,58	
ADVANTAGE 8300	19,89	9,69	18,06	11,63	5,07
ADVANTAGE 8300 BLACK	19,80	5,64	9,52	6,69	4,35
ADVANTAGE 8500	32,56	8,51	28,62	14,95	5,46
ADVANTAGE 8520	14,22	7,56	8,04	4,74	
ADVANTAGE 8520 TTCH	13,21	6,56	7,45	4,81	
ALTUS 750	18,70	5,04	18,89	16,56	2,59
ALTUS 900 AS	30,55	14,49	17,90	12,70	
ALTUS 900 INOX	26,63	4,80	6,47		4,71
ALTUS 940 AS	13,80	6,54	6,54		
ALTUS 940 AS BLACK	18,15	8,59	10,71	8,99	6,94
ALTUS 970 AS	13,78	6,55	6,55		
ALTUS 971 WD	10,10	5,32		14,74	4,73
ERSF67I5DMS	5,34	1,88	1,88		
ERTG215YSKW	6,29	3,82	4,65	3,28	
NORDIK 690 INOX	14,11	4,26			4,26
PROGRESS 5700	25,16	2,55	2,55		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se aprecia de manera clara una gran diferencia entre la venta promedio del escenario sin presencia de productos competidores, versus con la presencia de ellos, y en particular en el desglose de la presencia de productos competidores se aprecia una caída en las ventas al aumentar la cantidad de productos competidores con correlaciones fuertes, por lo tanto existe una clara relación entre la venta de los productos y el número de productos competidores presente.

### 5.2.2 Predicción de venta acorde a escenario.

Se define la venta potencial de cada producto como la venta esperada sin presencia de productos competidores de correlaciones altas, y se define la venta dado los escenarios de presencia de 1, 2 o 3 o más productos competidores como la venta potencial menos una penalización porcentual, calculada en función de la tabla 4.

Para tratar los casos de celdas vacías de la tabla 4, y los promedios de ventas acorde a su escenario con pocos datos asociados, se asume una tendencia acorde los datos disponibles por producto, y se recalcula para el caso de promedios por escenario poco representativos.

Finalmente se asume la penalización de los productos con insuficiencia global de los escenarios como el promedio de la penalización por escenario.

Tabla 5: Extracto de Venta potencial en unidades y penalización porcentual por presencia de 1, 2, y 3 o más productos de correlaciones fuertes.

Producto	Venta potencial	1	2	3
ADVANTAGE 8200	25,37	44%	70%	84%
ADVANTAGE 8300	19,89	9%	42%	74%
ADVANTAGE 8300 BLACK	14,28	33%	53%	70%
ADVANTAGE 8310 T	8,16	36%	57%	76%
ADVANTAGE 8500	32,56	12%	54%	83%
ADVANTAGE 8520	14,22	43%	67%	81%
ADVANTAGE 8520 TTCH	13,21	44%	64%	78%
ADVANTAGE 8540 T	11,15	36%	57%	76%
ADVANTAGE 8540 TTCH	18,28	36%	57%	76%
ADVANTAGE PLUS 7740	6,21	36%	57%	76%
ALTUS 750	18,70	1%	12%	86%
ALTUS 900 AS	30,55	41%	58%	74%
ALTUS 900 INOX	7,49	14%	29%	37%
ALTUS 940 AS	13,80	53%	78%	89%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 nos encontramos con la venta potencial para cada uno de los productos, y la clara penalización progresiva de venta, dependiendo de cuantos productos competidores con correlación alta se encuentren en las tiendas.

A partir de ahora, y para fines de obtener resultados numéricos de incremento de ventas por considerar la situación en estudio, además de la necesidad de validez estadística, se asumen las penalizaciones de productos por presencia de productos competidores de correlaciones altas como el valor porcentual antes descrito.

Para llegar a la venta potencial real por tienda se procede a hacer la transformación inversa de datos y llegar a datos por unidad de producto y sucursal.

Tabla 6: Extracto de venta potencial en unidades de productos, para cada uno de ellos y por sucursal.

Tienda	ADVANTAGE 8200	ADVANTAGE 8300	ADVANTAGE 8300 BLACK	ADVANTAGE 8310 T	ADVANTAGE 8500	ADVANTAGE 8520
FALABELLA-1445	4,16	3,26	2,34	1,34	5,34	2,33
FALABELLA-1501	25,37	19,89	14,28	8,16	32,56	14,22
FALABELLA-165	19,80	15,52	11,14	6,37	25,41	11,10
FALABELLA-1737	10,48	8,22	5,90	3,37	13,45	5,87
FALABELLA-2003	7,68	6,02	4,32	2,47	9,86	4,30
FALABELLA-2214	14,46	11,34	8,14	4,65	18,56	8,10
FALABELLA-236	13,06	10,24	7,35	4,20	16,76	7,32
FALABELLA-2381	6,03	4,73	3,39	1,94	7,74	3,38
FALABELLA-3001	16,97	13,30	9,55	5,46	21,77	9,51
FALABELLA-3009	11,60	9,10	6,53	3,73	14,89	6,50

Fuente: elaboración propia.

La tabla 6 muestra las ventas potenciales para cada una de las sucursales (lado izquierdo) y por cada producto (extremo superior), por lo tanto se define la venta esperada, no potencial, como la venta potencial menos la penalización dependiendo de cuantos productos competidores de correlaciones altos se tenga en exhibición por tienda, acorde a la tabla 5.

### 5.3 Etapa 3: Creación y utilización de modelo de programación lineal.

Simplificación:

Se optimiza en función de las ventas, y no de las utilidades, puesto que se desconocen los costos asociados a cada producto, por lo tanto se asume que la utilidad es directamente proporcional a las ventas. La venta esperada es precio por cantidad esperada de venta acorde a escenario.

El límite de productos a exhibir por tienda corresponde a la cantidad máxima de exhibición de productos para cada una de las tiendas, sin consideración del tamaño de los productos y espacio real disponible en las tiendas.

### 5.3.1 Formulación.

Este modelo matemático tiene por objetivo maximizar las ventas, considerando como variable de decisión qué productos asignar a cada una de las tiendas. La consideración que da origen a la necesidad de utilizar esta herramienta es en principio la propia tesis expuesta, y ese juego de ventas que produce tener productos competidores en las tiendas, lo que quiere decir que la decisión de qué productos exhibir traerá consigo la consecuencia del escenario de cada producto por sucursal, y con ello la penalización correspondiente a su venta.

VARIABLES DE DECISIÓN:

$$X_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{si a la tienda } j \text{ se le asigna el producto } i \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases}$$

$$Z_{j,i,w} = \begin{cases} 1, & \text{si a la tienda } j \text{ se le asigna el producto } i \text{ y el } w \text{ a la vez} \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases}$$

$Z_{2j,i}$  = Cantidad de productos competidores con correlación fuerte asignados a la tienda  $j$  junto con el producto  $i$ .

$$Z_{3j,i} = \begin{cases} 1, & \text{si a la tienda } j \text{ se le asigna el producto } i \text{ con 1 producto competidor} \\ & \text{de correlación fuerte.} \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases}$$

$$Z_{4j,i} = \begin{cases} 1, & \text{si a la tienda } j \text{ se le asigna el producto } i \text{ con 2 productos} \\ & \text{competidores de correlación fuerte.} \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases}$$

$$Z_{5j,i} = \begin{cases} 1, & \text{si a la tienda } j \text{ se le asigna el producto } i \text{ con más de 2 productos} \\ & \text{competidores de correlación fuerte.} \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases}$$

PARÁMETROS DE ENTRADA:

$V_{j,i}$  = Venta potencial del producto  $i$  en la tienda  $j$  al ser exhibido en esta última, es decir al no poseer productos competidores de correlación fuerte dentro de la misma.

$hom1_i$  = Corresponde a la penalización porcentual de la venta del producto  $i$ , dado que existe un producto competidor de correlación alta dentro del local.

$hom2_i$  = Corresponde a la penalización porcentual de la venta del producto  $i$ , dado que existen dos productos competidores de correlación alta dentro del local.

$hom3_i$  = Corresponde a la penalización porcentual de la venta del producto  $i$ , dado que existen más de dos productos competidores de correlación alta dentro del local.

$Límite_j$ = Corresponde a la cantidad de productos máximo a poner a exhibición en cada tienda j.

$homA_{i,w}$ = Se define como una matriz de datos entre productos y productos, y vale 1 cuando existe correlación alta entre la venta de i y la presencia de w.

### 5.3.2 Modelo de programación lineal entero.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{i,j} (Venta_{j,i} * X_{j,i}) - \sum_{i,j} (hom1_i * Venta_{j,i} * Z3_{j,i}) \\ & - \sum_{i,j} (hom2_i * Venta_{j,i} * Z4_{j,i}) - \sum_{i,j} (hom3_i * Venta_{j,i} * Z5_{j,i}) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\sum_i (X_{j,i}) \leq Límite_j \quad \forall \quad j \quad \dots(2)$$

$$X_{j,i} + X_{j,w} - 1 \leq Z_{j,i,w} \quad \forall \quad j, i, w \mid \text{con } i \neq w \quad \dots(3)$$

$$\sum_{w|i \neq w} (Z_{j,i,w} * homA_{i,w}) = Z2_{j,i} \quad \forall \quad j, i \quad \dots(4)$$

$$Z2_{j,i} \leq Z3_{j,i} + 2 * Z4_{j,i} + M * Z5_{j,i} \quad \forall \quad j, i \quad \dots(5)$$

$$Z3_{j,i} + Z4_{j,i} + Z5_{j,i} \leq 1 \quad \forall \quad j, i \quad \dots(6)$$

$$X_{j,i} \text{ Binario } \forall \quad i, j$$

$$Z_{j,i,w} \text{ Binario } \forall \quad i, j, w$$

$$Z3_{j,i} \text{ Binario } \forall \quad i, j$$

$$Z4_{j,i} \text{ Binario } \forall \quad i, j$$

$$Z5_{j,i} \text{ Binario } \forall \quad i, j$$

$$Z2_{j,i} \geq 0 \quad \forall \quad j, i, w$$

La función objetivo del modelo expuesto (1) corresponde a maximizar las ventas, por lo tanto considera inicialmente la venta potencial  $Venta_{j,i}$  y la multiplica por la decisión binaria de exhibición  $X_{j,i}$ , por lo que generará la venta únicamente si es que el producto asociado se considera en exhibición. Por otro lado las penalizaciones porcentuales  $hom1_i$ ,  $hom2_i$ , y  $hom3_i$  serán descontadas de la venta potencial solo cuando sus respectivos escenarios  $Z3_{j,i}$ ,  $Z4_{j,i}$ ,  $Z5_{j,i}$  valgan 1. Los escenarios mencionados serán construidos a partir de la variable de decisión  $X_{j,i}$ .

La primera restricción del modelo (2) exige que la cantidad de productos a exhibir en cada tienda no supere la cantidad máxima permitida.

En la segunda restricción del modelo (3) se realiza una transformación de  $X_{j,i}$  a  $Z_{j,i,w}$ , obligando a la segunda variable a tomar el valor 1 cuando los productos  $i$  y  $w$  estén asignados a la misma sucursal, y dejando la posibilidad de tomar el valor 0 cuando no se encuentre en este escenario.

En la tercera restricción (4) se construye  $Z2_{j,i}$  generando la suma de los productos competidos de correlaciones altas presentes en cada sucursal. Luego en la cuarta restricción (5) se da la posibilidad de que las variables  $Z3_{j,i}$ ,  $Z4_{j,i}$ , y  $Z5_{j,i}$ , correspondientes a los escenarios de 1, 2 o 3 productos competidores en exhibición, tomen el valor 0 cuando no se está en ninguno de esos escenarios, y se obliga a tomar valor distinto de 0 cuando se está en presencia de productos competidores. El M en esta restricción corresponde a un valor suficientemente grande, en este caso el máximo número de productos competidores por sucursal.

En la quinta restricción (6) se obliga a que se elija uno de los escenarios, y no más de uno, con el fin de que no pueda elegir la decisión de combinar la presencia de 1 y 2 productos competidores en vez de tomar la decisión de dar valor 1 a la variable asociada a 3 o más productos competidores.

Finalmente se obliga a que las variables sean binarias, salvo por  $Z2_{j,i}$  que debe tomar cualquier valor positivo.

### 5.3.3 Tabulación de entrada.

Se ingresa la venta potencial esperada,  $Venta_{j,i}$ , de manera idéntica a la encontrada en 5.2.2 predicción de venta acorde a escenario (Tabla 6).

Se ingresa la penalización por productos competidores de correlaciones altas ( $hom1_i$ ,  $hom2_i$ , y  $hom3_i$ ), a partir de los datos encontrados en 5.2.2, y en particular los tabulados en la tabla 5.

La tabla 7 ilustra de mejor manera los parámetros  $hom1_i$ ,  $hom2_i$ , y  $hom3_i$ .

Tabla 7: Extracto de datos de incorporación de penalizaciones por productos.



Producto	Venta potencial	$hom1_i$	$hom2_i$	$hom3_i$
		1	2	3
ADVANTAGE 8200	25,37	44%	70%	84%
ADVANTAGE 8300	19,89	9%	42%	74%
ADVANTAGE 8300 BLACK	14,28	33%	53%	70%
ADVANTAGE 8310 T	8,16	36%	57%	76%
ADVANTAGE 8500	32,56	12%	54%	83%
ADVANTAGE 8520	14,22	43%	67%	81%
ADVANTAGE 8520 TTCH	13,21	44%	64%	78%
ADVANTAGE 8540 T	11,15	36%	57%	76%
ADVANTAGE 8540 TTCH	18,28	36%	57%	76%
ADVANTAGE PLUS 7740	6,21	36%	57%	76%
ALTUS 750	18,70	1%	12%	86%
ALTUS 900 AS	30,55	41%	58%	74%
ALTUS 900 INOX	7,49	14%	29%	37%
ALTUS 940 AS	13,80	53%	78%	89%

Fuente: Elaboración propia.

El parámetro de entrada  $Límite_j$ , correspondiente a la cantidad máxima de productos a exhibir por sucursal  $j$ , será el valor máximo de cantidad de productos en exhibición de refrigeradores de las marcas asociadas a Electrolux y para las fechas estudiadas y se tabula según la tabla 8.

Tabla 8: Extracto de datos de incorporación de límite de productos por tienda.

Tienda	Límite
FALABELLA-1445	7
FALABELLA-1501	19
FALABELLA-165	18
FALABELLA-1737	12
FALABELLA-2003	7
FALABELLA-2214	13
FALABELLA-236	13

Fuente: elaboración propia.

El último parámetro requerido por el modelo corresponde a  $homA_{i,w}$  (matriz binaria de productos competidores de correlaciones altas), se construye a partir de las correlaciones vistas en 5.1.2 Correlaciones, y en particular en la tabla 3, designando el valor 1 cuando dos productos son competidores y 0 en caso contrario. La tabulación de este parámetro se encuentra en la tabla 9.

Tabla 9: Extracto de datos de incorporación de matriz binaria de correlaciones.

Correlaciones altas	ADVANTAGE 8200	ADVANTAGE 8300	ADVANTAGE 8300 BLACK	ADVANTAGE 8310 T
ADVANTAGE 8200	0	0	0	0
ADVANTAGE 8300	0	0	1	0
ADVANTAGE 8300 BLACK	1	1	0	0
ADVANTAGE 8310 T	0	0	0	0
ADVANTAGE 8500	1	0	1	0
ADVANTAGE 8520	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Para hacer funcionar el modelo de programación lineal expuesto se utiliza LINGO, que corresponde a una herramienta informática eficiente para la construcción y la búsqueda de soluciones de modelos de programación lineal, entera, no lineal, cuadrático, entre otros. A demás se utiliza Excel como base de datos de entrada para LINGO y para contener las salidas (variables de decisión).

### 5.3.4 Modelo Lingo

Se comienza con la sección sets, donde se definen los conjuntos de datos, comprendiendo que existen datos que tienen relación con productos, y sucursales. Y como existen variables que utilizan ambas dimensiones, se crean ARCO1, ARCO2 Y ARCO3, como conjugación de las dos dimensiones antes mencionadas.

```
MODEL:
SETS:
PRODUCTOS/1..37/:PRECIO,HOM1,HOM2,HOM3;
SUCURSALES/1..71/:LIMITE;
ARCO1(SUCURSALES,PRODUCTOS):DEMANDA,X,Z2,Z3,Z4,Z5;
ARCO2(SUCURSALES,PRODUCTOS,PRODUCTOS):Z;
ARCO3(PRODUCTOS,PRODUCTOS):HOMA;
ENDSETS
```

A la sección sets le sigue la sección data, que tiene relación con el ingreso de los datos. Como el ingreso de datos se produce desde hojas de cálculo Excel se utiliza @OLE de LINGO para llamar desde este formato. La salida se produce con el uso último de @OLE, donde se solicita que las entregue en una matriz defina con anterioridad como SALIDA\_X en Excel.

```
Data:
HOM1,HOM2,HOM3,LIMITE,PRECIO,DEMANDA,HOMA =
@OLE('final.XLSX','PENALIZACION1','PENALIZACION2','PENALIZACION3','LIMITE',
,'PRECIO','DEMANDA','HOMA');
@OLE('final.XLSX','SALIDA_X')=X;
```

```
enddata
```

Luego se construye el modelo que resolverá LINGO, en este caso el modelo de programación lineal expuesto en 5.3.2.

LINGO buscará la máxima venta esperada posible, considerando el precio por la demanda sin producto competidor, y penalizando porcentualmente, de igual modo que el modelo de programación lineal presente en 5.3.2.

```
MAX = @SUM (ARCO1 (J, I) : PRECIO (I) * DEMANDA (J, I) * X (J, I)) -
@SUM (ARCO1 (J, I) : HOM1 (I) * PRECIO (I) * DEMANDA (J, I) * Z3 (J, I)) -
@SUM (ARCO1 (J, I) : HOM2 (I) * PRECIO (I) * DEMANDA (J, I) * Z4 (J, I)) -
@SUM (ARCO1 (J, I) : HOM3 (I) * PRECIO (I) * DEMANDA (J, I) * Z5 (J, I)) ;
```

A continuación apreciamos las restricciones del modelo, que comprende como primera restricción el límite de productos que consideraremos en cada sucursal j, posterior a eso procede a calcular z antes definido, y luego z2, para poder llegar a comprender la cantidad de productos de correlaciones altas que presenta la configuración que está en iteración.

```
@FOR (SUCURSALES (J) : @SUM (PRODUCTOS (I) : X (J, I)) <= LIMITE (J)) ;
@FOR (ARCO2 (J, I, W) | I#NE#W : X (J, I) + X (J, W) - 1 <= Z (J, I, W)) ;
@FOR (ARCO1 (J, I) : @SUM (PRODUCTOS (W) | I#NE#W : Z (J, I, W) * HOMA (I, W)) = Z2 (J, I)) ;
@FOR (ARCO1 (J, I) : Z2 (J, I) <= Z3 (J, I) + 2 * Z4 (J, I) + 37 * Z5 (J, I)) ;
@FOR (ARCO1 (J, I) : Z3 (J, I) + Z4 (J, I) + Z5 (J, I) <= 1) ;
```

Para finalizar se le solicita que las variables cumplan con los requisitos de tipo de variables, donde se solicita que X,Z,Z3,Z4 Y Z5 sean variables binarias, y Z2 una variable real mayor o igual a 0.

```
@FOR (ARCO1 : @BIN (X)) ;
@FOR (ARCO2 : @BIN (Z)) ;
@FOR (ARCO1 : @BIN (Z3)) ;
@FOR (ARCO1 : @BIN (Z4)) ;
@FOR (ARCO1 : @BIN (Z5)) ;
@FOR (ARCO1 (J, I) : Z2 >= 0) ;
END
```

#### 5.4 Etapa 4: Comparación entre el modelo de programación lineal y otras 3 soluciones alternativas.

Se comprende una solución alternativa como aquella producto de una decisión acorde a una política de decisión, en el caso de este estudio se definen 4 políticas para enfrentar el problema:

- Elección sin considerar en absoluto el factor, eligiendo como productos a exhibir aquellos que tengan mayor venta promedio (decisión actual).
- Elección a través del potencial de venta, definido en 5.2.2, eligiendo como productos a exhibir los de mayor venta potencial, sin considerar su penalización.
- Modelo de programación lineal alternativo, bloqueando la posibilidad de elegir dos productos competidores para la misma tienda.
- Modelo de programación lineal dejando la posibilidad de competir entre productos, pero considerando su penalización.

5.4.1 Política 1: Elección sin considerar en absoluto el factor, eligiendo como productos a exhibir aquellos que tengan mayor venta promedio.

La política 1, elección sin considerar en absoluto el factor, eligiendo como productos a exhibir aquellos que tengan mayor venta promedio, corresponde a la solución actual, ya que hasta antes del estudio se desconocían los efectos la competencia de los productos. Para construir la solución acorde a la política de decisión simplemente se considerará la venta promedio de cada uno de los productos, generando un ranking de productos por sucursal acorde a su venta promedio, y se elegirán los productos en el orden del ranking hasta el tope de límite de productos por sucursal.

5.4.2 Política 2: Elección a través del potencial de venta, eligiendo como productos a exhibir los de mayor venta potencial, sin considerar su penalización.

La política 2, elección a través del potencial de venta, eligiendo como productos a exhibir los de mayor venta potencial, sin considerar su penalización, viene siendo una política que asume que existe un potencial mayor a la venta promedio, y se guía firmemente de ese potencial para poder decidir, sin embargo no hace hincapié en que la decisión de exhibición producirá una penalización a la venta. Para construir esta solución será necesario generar un ranking, al igual que la política 1, pero no considerará el valor promedio de venta como indicador, sino que considerará la venta potencial para ese fin.

5.4.3 Política 3: Modelo de programación lineal alternativo, bloqueando la posibilidad de elegir dos productos competidores para la misma tienda.

La política 3, modelo de programación lineal alternativo, bloqueando la posibilidad de elegir dos productos competidores para la misma tienda, corresponde a elegir los productos acorde a la solución de un modelo alternativo.

Esta política puede ser tratada a través de algoritmos más simples de resolución, sin embargo en este análisis se realiza a través del acotamiento del problema inicial.

Para llegar al modelo de programación lineal alternativo, será necesario modificar parte del modelo de programación lineal entero expuesto en 5.3.2. Para este fin, eliminamos las restricciones (5) y (6), ya que al no permitir exhibir 2 o más productos competidores en la misma sucursal, sabemos que no habrá escenario distinto a la venta potencial.

Posteriormente se introduce la restricción que limitará la cantidad de productos competidores de correlaciones altas a 0:

$$Z_{j,i} = 0 \quad \forall \quad j, i$$

Se simplifica la función objetivo (1) a la siguiente función objetivo:

$$\text{Max} \sum_{i,j} (\text{Venta}_{j,i} * X_{j,i})$$

Cabe recalcar que la solución entregada por la función objetivo será la solución real, puesto que no existe la posibilidad de penalización si se prohíbe la exhibición de productos competidores. Esto implica a su vez que el problema puede ser abordado a través de un algoritmo simple que contemple el ranking de ventas potenciales, bloqueando la posibilidad de hacer competir productos competidores.

5.4.4 Política 4: Modelo de programación lineal dejando la posibilidad de competir entre productos, pero considerando su penalización.

Acorde a lo planteado en los ítems 5.1 y 5.2, la política 4 corresponde a la mejor decisión posible, ya que contempla de forma directa la predicción de venta en la función objetivo, y en vez de limitar la decisión, calcula el escenario en el cual se encontrará cada producto en cada sucursal y aplica la penalización correspondiente.

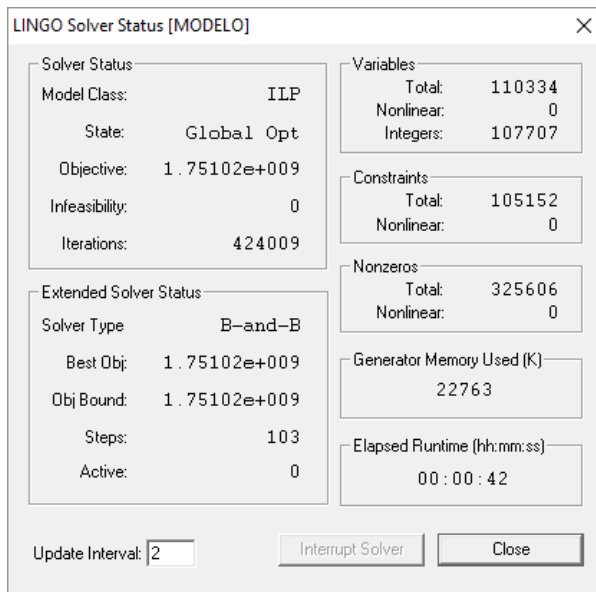
## 6. Análisis de resultados.

Para la construcción de resultados, se construyen las decisiones acorde a cada política de decisión, y se calcula la venta esperada real, es decir considerando la penalización acorde al escenario en que se encuentre cada producto en cada sucursal, tema abordado en 5.2.

La venta global esperada acorde a las políticas 1 y 2, abordadas en 5.4.1 y 5.4.2, son de \$1.311.676.434 y \$1.499.403.838 respectivamente.

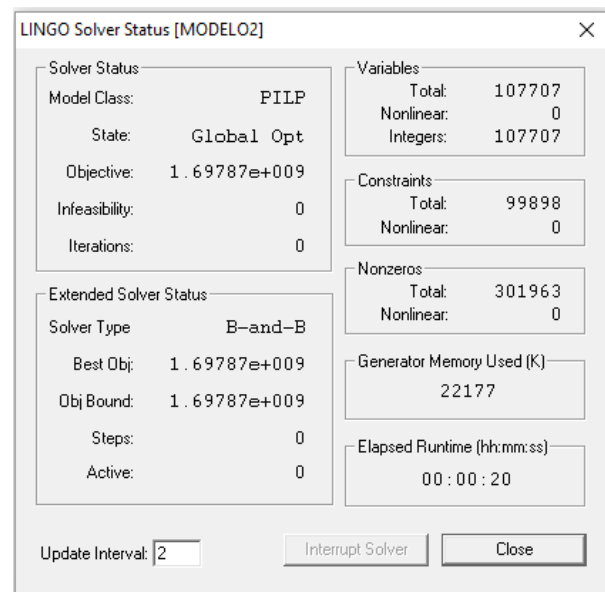
Luego de correr los modelos de programación lineal expuestos en el desarrollo, podemos apreciar la siguiente salida de LINGO.

Figura 1: LINGO Solver Status Modelo 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: LINGO Solver Status Modelo 2



Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 1 y 2 ilustran la salida del software LINGO para la resolución del modelo de programación lineal inicial, expuesto en 5.3.2, y para el modelo de programación lineal alternativo expuesto en 5.4.3.

Podemos visualizar que la solución encontrada corresponde al óptimo global para ambos modelos de programación lineal, Con una función objetivo (Venta real esperada) de \$1.751.022.973 para el problema modelo de programación lineal inicial (política 4) y de \$1.697.873.372 para el problema de programación lineal alternativo (política 3). El tiempo total de iteración corresponde a 42 y 20 segundos respectivamente, y la cantidad de restricciones es de 105.152 para el primer modelo y de 99.898 para el segundo modelo.

Tabla 10: Comparativa del resultado encontrado para cada una de las políticas, e incremento porcentual respecto a la solución actual.

Política establecida	Funcion objetivo	Incremento porcentual respecto a la solución actual.
Política 1	1.311.676.434	0,0%
Política 2	1.499.403.838	14,3%
Política 3	1.697.873.373	29,4%
Política 4	1.751.022.973	33,5%

Fuente: Elaboración propia.

La solución actual está dada por la política 1, por lo tanto el uso de la política 2, ranking de venta potencial, trae consigo un incremento porcentual en la venta esperada de un 14,3%, la política 3, modelo de programación lineal alternativo, un 29,4%, y el modelo de programación lineal de la política 4, posibilidad de competir, trae consigo un 33,5%

## 7. Análisis de sensibilidad.

Los resultados obtenidos en el punto 6. (Análisis de resultados) son asumiendo que la diferencia en las ventas por producto se debe exclusivamente al fenómeno en estudio, sin embargo existen innumerables razones o posibles razones que explican en alguna medida parte de esta varianza. Los resultados son esperanzadores ya que un incremento porcentual de un 33,5% como techo esperado, es una cifra suficientemente llamativa.

Para comprender el impacto real de la integración del fenómeno dentro del modelo de pronóstico de la empresa considerando que no es el único aspecto que explica las ventas, y en particular considerándolo como una arista de decisión subyacente de la decisión inicial (qué productos incorporar al mix de exhibición de cada tienda), se realiza el análisis de sensibilidad con respecto a una variable multiplicadora de la diferencia porcentual de las ventas encontrada a lo largo de este documento, para esto se consideran los promedios de las penalizaciones, es decir, 36%, 57% y 76% para 1, 2 o 3 o más productos competidores de correlaciones altas.

Se multiplican los valores anteriores por  $(1 - \beta)$ , donde  $\beta$  corresponde a la disminución porcentual de los valores de la penalización de venta por consideración de 1, 2 o 3 productos competidores de correlaciones altas, quedando  $36\%*(1 - \beta)$ ,  $57\%*(1 - \beta)$ , y  $76\%*(1 - \beta)$  respectivamente. Finalmente se hacen correr los modelos en estudio y se encuentran los valores de la función objetivo resultante de la consideración.

A continuación se muestra la tabla con los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad, al hacer variar los valores de  $\beta$ , de 0 a 100% en intervalos de 10%, y al hacer correr cada uno de los algoritmos de decisión en base a los nuevos datos.

Tabla 11: Comparativa de la función objetiva encontrada para cada una de las políticas, considerando diferentes valores para  $\beta$ .

$\beta$	Modelo de programación lineal	Modelo de programación lineal alternativo	Venta potencial esperada.	Promedio de ventas.
0%	\$ 1.685.089.469	\$ 1.660.343.374	\$ 1.348.473.710	\$ 1.373.863.412
10%	\$ 1.614.407.566	\$ 1.594.044.919	\$ 1.420.895.952	\$ 1.380.610.306
20%	\$ 1.567.426.869	\$ 1.549.160.260	\$ 1.441.661.363	\$ 1.386.479.496
30%	\$ 1.528.292.351	\$ 1.510.567.539	\$ 1.430.501.851	\$ 1.391.697.854
40%	\$ 1.495.164.475	\$ 1.477.717.888	\$ 1.419.277.061	\$ 1.396.411.821
50%	\$ 1.467.508.355	\$ 1.449.536.306	\$ 1.411.731.252	\$ 1.400.722.370
60%	\$ 1.444.761.556	\$ 1.425.292.316	\$ 1.406.285.166	\$ 1.404.702.499
70%	\$ 1.427.739.597	\$ 1.404.362.962	\$ 1.410.003.096	\$ 1.408.406.894
80%	\$ 1.419.141.645	\$ 1.386.008.461	\$ 1.412.322.404	\$ 1.411.877.678
90%	\$ 1.415.930.460	\$ 1.369.583.294	\$ 1.414.835.214	\$ 1.415.148.030
100%	\$ 1.418.244.564	\$ 1.355.534.741	\$ 1.418.244.564	\$ 1.418.244.564

Fuente: Elaboración propia.

Se desprende de la tabla 11 que en la medida en que el valor de  $\beta$  es mayor, por lo tanto  $(1 - \beta)$  es menor, el resultado esperado del modelo de programación lineal tiende a ir a la baja, lo cual es lógico ya que existirían menos penalización, por lo tanto menos mejora a la decisión inicial.

Por otro lado, el modelo de programación lineal alternativo, bloqueando la posibilidad de dejar compitiendo 2 o más productos competidores, se comporta como mejor modelo que el actual (promedio de ventas) siempre y cuando el valor de  $\beta$  sea menor que 70%, pero siempre peor que el modelo e programación lineal 1.

Si bien, elegir la política 2 (ranking de venta potencial) se comporta por lo general con mejor función objetivo que elegir el promedio de las ventas, este comportamiento es más bien aleatorio, puesto que no existe evidencia estadística para poder afirmar que corresponde a una mejor decisión.

Notar que la decisión de elegir los promedios, como indicador exclusivo para el fin, tiene modificación en el resultado acorde al valor de  $\beta$ , esto se debe al cambio en los valores de las penalizaciones.

Para ilustrar de mejor manera el grado de potencial de los modelos en estudio, la tabla anterior se transforma a valores porcentuales de crecimiento en la función objetivo de las diferentes políticas de decisión.



Tabla 12: Comparativa del incremento porcentual con respecto a la decisión inicial encontrada para cada una de las políticas, considerando diferentes valores de  $\beta$ .

$\beta$	Modelo de programación lineal	Modelo de programación lineal alternativo	Venta potencial esperada.
0%	22,65%	20,85%	-1,85%
10%	16,93%	15,46%	2,92%
20%	13,05%	11,73%	3,98%
30%	9,81%	8,54%	2,79%
40%	7,07%	5,82%	1,64%
50%	4,77%	3,48%	0,79%
60%	2,85%	1,47%	0,11%
70%	1,37%	-0,29%	0,11%
80%	0,51%	-1,83%	0,03%
90%	0,06%	-3,22%	-0,02%
100%	0,00%	-4,42%	0,00%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se aprecia que el potencial para el modelo de programación lineal va entre un 0% y 22,65% dependiendo del valor de  $\beta$  efectivo, y siempre es conveniente utilizarlo por sobre la solución actual, mientras que el modelo de programación lineal alternativo solo repercute a una buena decisión si los valores de las penalizaciones son altos.

Notar que el modelo de programación lineal proporciona siempre mejor aumento en las ventas que cualquiera de los otros modelos, esto es por lo planteado en 5.4.4.

Finalmente al considerar la venta potencial esperada, como el único parámetro para la decisión del mix de exhibición, repercute en una decisión ambigua, ya que ambos polos de la tabla (superior e inferior) significa una disminución en las ventas, por lo cual es posible afirmar que la política 2 (Ranking de venta potencial) no es una buena decisión.

## 8. Conclusiones.

En este artículo se ha dejado en manifiesto la existencia del fenómeno en estudio, por lo que existe clara evidencia de la repercusión de la competitividad entre los productos, lo que precisamente implica una disminución en las ventas de los productos cuando hay un producto competidor en exhibición en la misma tienda.

Se ha definido producto competidor como aquel que posee una correlación alta entre la venta del primero y la presencia del segundo, encontrando una relación directa entre la cantidad de productos competidores en exhibición y la disminución de venta de los mismos. Esta relación marca una manera de pronosticar distinta, ahora incluyendo el efecto de los productos competidores, y generando pronósticos distintos por escenario.

Al definir pronósticos por escenario, análogamente dejamos abierta la posibilidad de tomar acciones con respecto a esos escenarios, pudiendo generar una mejora en las ventas a partir de la búsqueda de mejores combinaciones de productos por sucursal.

Se realizó la búsqueda de la mejor solución acorde al pronóstico realizado, a través de un modelo de programación lineal entero, y se comparó con 3 criterios distintos para tomar la decisión de productos a exhibir en cada sucursal.

Al comparar las 4 formas de enfrentar el problema ha quedado claro que los modelos de pronósticos por si solos no representan necesariamente buenas decisiones, pero en la medida en que se utilizan para realizar acciones, y no solo para la comprensión de los hechos, tienen potencial de mejora de las soluciones.

De las posibles soluciones estudiadas, el ranking de productos acorde a la venta promedio y el ranking acorde a la venta potencial, no han representado buenas decisiones frente al análisis de la competitividad de los productos, ya que el comportamiento de la solución al variar los valores de las penalizaciones ha significado un completo azar, no encontrándose un mejor resultado por utilizar estos criterios.

Ambos modelos de programación lineal han generado un aumento considerable en las ventas totales, sin embargo el modelo de programación lineal alternativo solo mantuvo esos resultados dentro de valores altos de las penalizaciones, dejando tajantemente una restricción de su utilización, es decir, solo se recomienda utilizar ese modelo en el caso de repercusiones grandes de venta entre productos competidores.

Por otra parte, el modelo de programación lineal ha mantenido un aumento considerable en las ventas esperadas, independiente del valor de penalización, siendo el mejor criterio de elección de exhibición de productos por sucursal.

Precisamente se estima que el modelo estudiado generaría un incremento en las ventas totales de entre un 4,77% y un 9,81%. Estas cifras pueden tomar valores mayores o menores, dependiendo de las penalizaciones.

Este impacto en las ventas representa una obligatoriedad para la empresa, en caso de tomar la iniciativa de incluir el fenómeno dentro de su pronóstico y toma de decisiones, de optar por un modelo matemático para encontrar una solución óptima o sub-óptima, puesto que la mejor decisión ya no es trivial.

Junto con la aplicación del modelo matemático se añaden muchas aristas a estudiar, como la posibilidad de incluir situaciones de precios, es decir, qué tanto impacta el precio en la demanda de los productos, tomando ese factor como una decisión en función de maximizar la utilidad de la empresa.

## 9. Bibliografía.

Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., "Estadística para administración y economía", Santa Fe, Argentina, Cengage Learning Editoriales S.A, 10° edición, (2008), 3-70.

Araya, R., "Roberto Araya: cómo aplicar el modelamiento matemático en la sala de clases", Centro de investigación avanzada en educación (CIAE), Universidad de Chile, (2012).

Benedict, O., Ikechi, K., Ikechukwu, E., "Application of Linear Programming Techniques to Practical Decision Making", Mathematical theory and modely, vol 4, 9, 2014.

Betancourt, J., Valencia, S., "Elaboración de un módulo de ERP para pronosticar la demanda", Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad San Buenaventura Cali, Santiago de Cali, Colombia, (2013).

Fernández V., "Modelos de pronósticos de ventas", Centro de gestión (CEGES), Departamento de ingeniería industrial Universidad de Chile, Santiago, Chile, (2006), 1-2.

Grigoroudis, E., Karampatsa, M., Matsatsinis, N., "Optimizing the assortment in the super market shelves using nonlinear programming techniques", Decision Support Systems Lab, School of Production Engineering, Technical University of Crete, (2016).

Günter, W., "Desarrollo de un modelo de pronóstico de accidentes con tiempo perdido en proyectos de construcción, Departamento de prevención de riesgos, ENAP Refinerías Bio Bio.", Facultad de Ingeniería, Univesidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile, (2010).

Hanke, J., Wichern, D., "Pronósticos en los Negocios", Ciudad de México, México, Pearson Educación de México S.A, 9° edición, (2010), 1-61, 221-339.

Hübner, A., Kuhn, H., y Kühn, S., "An efficient algorithm for capacited assortment planning with stochastic demand and substitution", Europa Journal of operational research, vol 250, 2, 505-520.

Jorquiera, C., "Retail en Chile", Cámara de comercio de Santiago (CCS), Santiago, Chile, (2005), 7-12.

Lever, G., Tromben, C., Del Pilar Cruz, M., "Tendencias del retail en Chile 2016", Departamento Estudios, Cámara de comercio de Santiago (CCS), Chile, (2016).

McCarthy, J., Perreault, W., "Comercialización: un enfoque gerencial", Buenos Aires, Argentina: Editorial El Ateneo, 4° edición reimprenta, (1973), 3-10.

Rabasco, E., y Frank, R., "Microeconomía y conducta", Madrid, España: Editorial McGraw-Hill, (1992), 3-22.

SPSS Inc., "Introducción a Clementine", Chicago, Estados unidos, (2008), 1-117.