



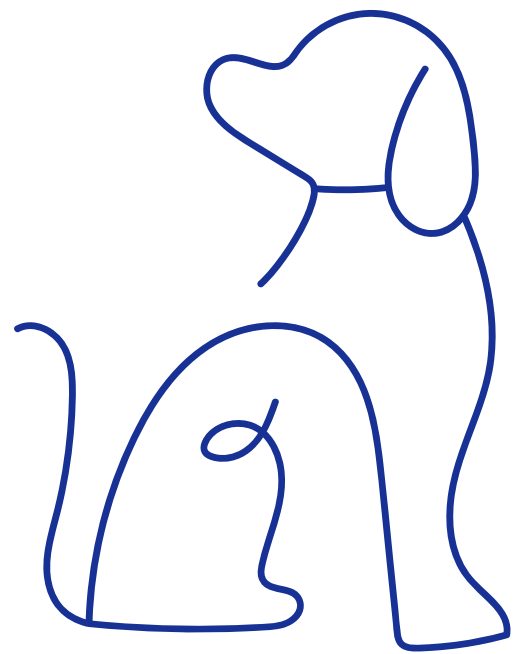
Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



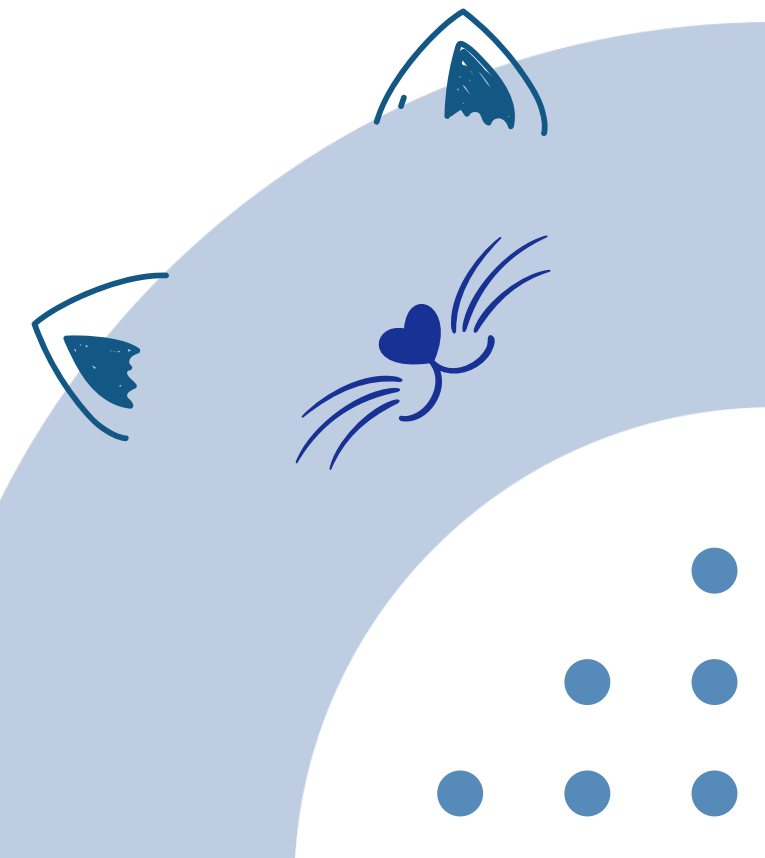
Ingeniería
Civil Industrial
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

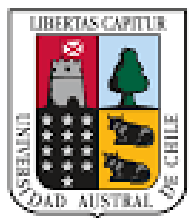
TRABAJO INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

CHARLIE MASCOTAS



● **N.REYES - A.SAEZ - M.ZAPATA**





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

INTRODUCCIÓN



Empresa fundada en 2021, dedicada a la compra y venta de alimentos y accesorios para mascotas, con un fuerte enfoque en ventas en línea. Su clientela principal está compuesta por personas de entre 20 y 55 años. Ofrecen productos clasificados en alimentos, arenas sanitarias y accesorios.

Sucursal de Puerto Montt:

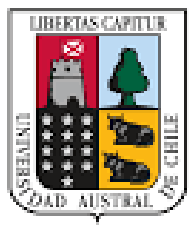
- **Un empleado atiende el local de lunes a viernes de 11:00 a 21:00 horas.**
- **Otro empleado realiza repartos de 11:00 a 22:00 horas, ajustando según la carga de trabajo.**
- **Durante los fines de semana, el horario es el mismo, pero con personal part-time.**

Sucursal de Los Muermos:

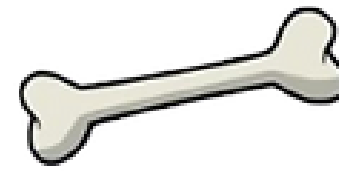
- **Un empleado trabaja de lunes a viernes de 9:30 a 18:30 y los sábados de 9:30 a 14:30, encargándose de ventas, orden, aseo y marketing.**



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

MISIÓN

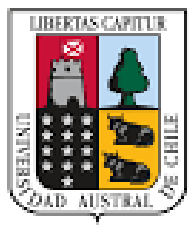
“Ser el destino preferido de los dueños de mascotas, ofreciendo una amplia selección de alimentos y un servicio al cliente excepcional, promoviendo la salud y el bienestar de las mascotas a través de relaciones basadas en la confianza y satisfacción”



VISIÓN

“Liderar el mercado de alimentos para mascotas, destacando por su calidad y compromiso con el bienestar animal, y ser la primera opción para quienes buscan lo mejor para sus compañeros peludos”





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

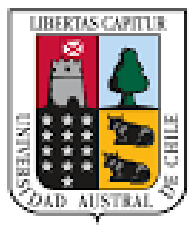
PROBLEMÁTICA



Charlie Mascotas enfrenta problemas significativos en la planificación estructurada de sus compras y logística de transporte, resultando en una operación reactiva.

Esto incluye:

- Compras basadas en criterios personales e intuitivos.
 - Descoordinación con proveedores y pedidos de último minuto.
 - Falta de diversificación de productos, causando sobre stock o productos faltantes.
 - Uso no optimizado de la capacidad de carga en los vehículos, incrementando los costos operacionales.
1. Se necesita una solución para planificar mejor la operación de compra y logística de la empresa.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

Descripción del Modelo



La empresa vende una variedad **i** de productos, los cuales están disponibles en todas las sucursales **j**.

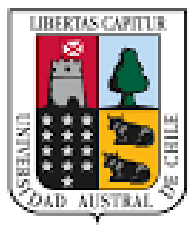
La sucursal matriz (**j=1**) actúa como punto de venta y centro de distribución para las demás sucursales.

Las compras se organizan semanalmente y todos los pedidos deben concluir antes del domingo de la semana anterior para asegurar su entrega en la sucursal matriz (**j=1**) durante la semana siguiente.

Cada producto **i** tiene asignado un día **m** de la semana para su entrega en la sucursal matriz (**j=1**), donde se añaden al inventario de dicha sucursal.

Para abastecer a las sucursales que no son la sucursal matriz (definidas como sucursales **k**), la empresa utiliza **l** vehículos con una capacidad máxima de transporte. Estos vehículos distribuyen los distintos productos **i** a las sucursales **k** en los días **m** de la semana.





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

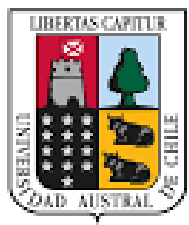
Descripción del Modelo



El inventario al final del día **m** para las sucursales **k** incluye la cantidad de inventario del producto **i** del día anterior, sumando los productos recibidos de la sucursal matriz (**j=1**) y restando las ventas diarias del producto **i**.

Para la sucursal matriz (**j=1**), el inventario al final del día **m** incluye la cantidad del inventario del producto **i** del día anterior, más las entregas recibidas del producto **i**, menos los productos distribuidos a las sucursales **k** y menos las ventas en la sucursal matriz (**j=1**) en el día.

El objetivo de este modelo de programación lineal es maximizar las utilidades de la empresa mediante la optimización de las compras semanales de productos, la gestión eficiente del inventario y la coordinación de la logística de distribución, minimizando los costos y maximizando los ingresos por ventas.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

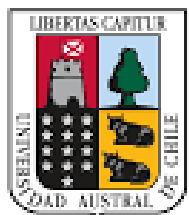
4 Definición del modelo

4.1 Definición de conjuntos

N°	Conjunto	Algebraica
1.	Productos	ω_i^n
2.	Sucursales	ω_j^n
3.	SucursalesSubset	ω_k^n
4.	Vehículos	ω_l^n
5.	Días	ω_m^n

Table 1: Tabla de definición de conjuntos





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios

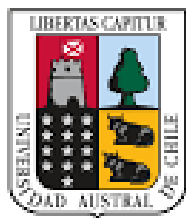


**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

4.2 Definición de variables de decisión

N°	Variable de decisión	Notación	Condición
1.	Unidades compradas de producto “i”	$UnidadesCompradas_i$	Entera
2.	Unidades vendidas de producto “i” en la sucursal “j” en el día “m”	$UnidadesVendidas_{ijm}$	Entera
3.	Movimientos de producto “i” a la sucursal “k” en el vehículo “l” el día “m”	$MovimientosProductos_{iklm}$	Entera
4.	Inventario final del producto “i” en la sucursal “j” al día “m”	$InventarioFinal_{ijm}$	Entera
5.	Cantidad de viajes realizados hacia la sucursal “k” en el vehículo “l” el día “m”	$CantidadViajes_{klm}$	Entera
6.	Variable binaria de entrega para el producto “i” el día “m”	$BinarioEntrega_{im}$	Binaria

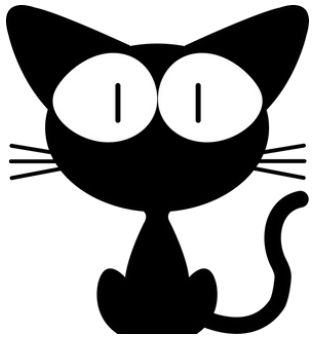
Table 2: Tabla de definición de variables de decisión

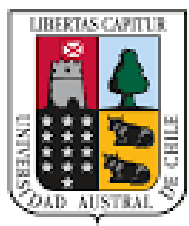


Definición de parámetros

N°	Variable de decisión	Notación
1.	Volumen de carga del vehículo “l” [litros]	$VolumenCargaVehiculo_l$
2.	Volumen asociado al producto “i” determinado [litros]	$VolumenProducto_i$
3.	Stock máximo de producto “i” en la sucursal “j” [unidades]	$StockMaximo_{ij}$
4.	Precio de compra unitario del producto “i” [\$CLP]	$PrecioCompra_i$
5.	Precio de venta del producto “i” en determinado local “j” [\$CLP]	$PrecioVenta_{ij}$
6.	Costo de transporte desde sucursal matriz hasta la sucursal “k”, en el vehículo “l” [\$CLP]	$CostoTransporte_{kl}$
7.	Día de entrega asociado al producto “i” [1, 2, . . . , 7]	$DiaDeEntrega_i$
8.	Demanda del producto “i” en cada sucursal “j” durante el día “m” determinado [unidades]	$DemandaProductoSucursal_{ijm}$
9.	Inventario inicial de producto “i” en la sucursal “j”	$InventarioInicialSucursal_{ij}$

Table 3: Tabla de definición de parámetros





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios

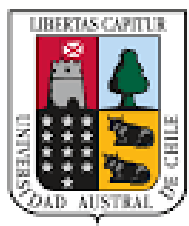


**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

4.4 Definición de la función objetivo

Según lo descrito anteriormente, el propósito de nuestra función objetivo, es maximizar utilidades, para ello se dispone de la siguiente ecuación de maximización:

$$\begin{aligned} Z(\text{Máx}) = & \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \text{PrecioVenta}_{ij} \cdot \text{UnidadesVendidas}_{ijm} \right) \\ & - \left(\sum_{i=1}^I \text{PrecioCompra}_i \cdot \text{UnidadesCompradas}_i \right) \\ & - \left(\sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \text{CostoTransporte}_{kl} \cdot \text{CantidadViajes}_{klm} \right) \end{aligned} \quad (1)$$



4.5 Definición de las restricciones

4.5.1 Restricción de entrega, variable binaria

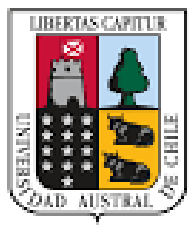
$$BinarioEntrega_{im} = \begin{cases} 1 & \text{si } m = DiaDeEntrega[i], \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad (2)$$

$$\forall i \in Productos, \quad \forall m \in Dias$$

4.5.2 Restricción de viajes, con balance de cargas

$$\left(\sum_{i \in Productos} MovimientosProductos_{iklm} \cdot VolumenProducto_i \right) \leq CantidadViajes_{klm} \cdot VolumenCargaVehiculo_l$$

$$\forall k \in SucursalesSubset, \quad \forall l \in Vehiculos, \quad \forall m \in Dias$$



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

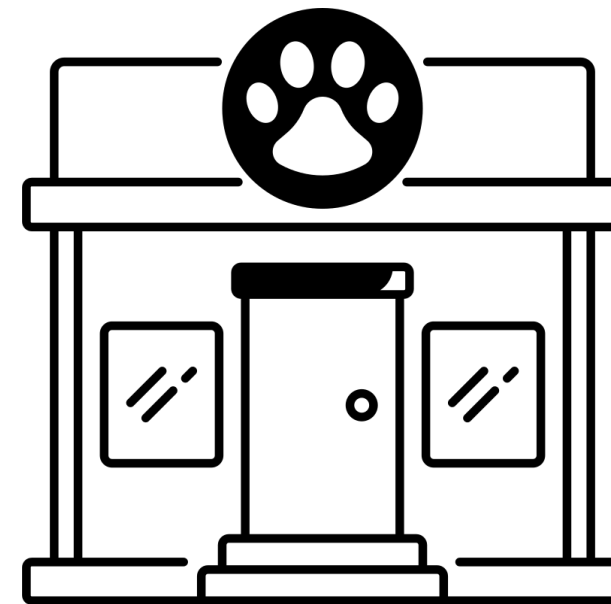


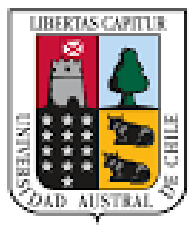
4.5.3 Restricción de niveles de inventario máximos para cada sucursal

$$InventarioFinal_{ijm} \leq StockMaximo_{ij}$$

(4)

$\forall i \in \text{Productos}, \quad \forall j \in \text{Sucursales}, \quad \forall m \in \text{Dias}$





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



Ingeniería
Civil Industrial
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

4.5.4 Restricción de inventario en la sucursal $j = 1$ para el día $m = 1$ de la semana

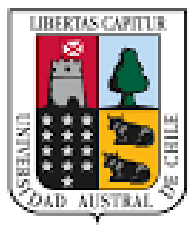
$$\begin{aligned} & \left(\text{InventarioInicialSucursal}_{i1} + \text{UnidadesCompradas}_i \cdot \text{BinarioEntrega}_{i1} \right. \\ & \quad \left. - \text{UnidadesVendidas}_{i11} - \sum_{k \in \text{SucursalesSubset } I \subset \text{Vehiculos}} \sum \text{MovimientosProductos}_{ikt1} \right) \\ & = \text{InventarioFinal}_{i11} \end{aligned} \quad (5)$$

$\forall i \in \text{Productos}$

4.5.5 Restricción de inventario en la sucursal $j = 1$ para el día $m > 1$ de la semana

$$\begin{aligned} & \left(\text{InventarioFinal}_{i1(m-1)} + \text{UnidadesCompradas}_i \cdot \text{BinarioEntrega}_{im} \right. \\ & \quad \left. - \text{UnidadesVendidas}_{i1m} - \sum_{k \in \text{SucursalesSubset } I \subset \text{Vehiculos}} \sum \text{MovimientosProductos}_{ikt m} \right) \\ & = \text{InventarioFinal}_{i1m} \end{aligned}$$

$\forall i \in \text{Productos}, \quad \forall m \in \text{Dias}, \quad \text{si } m > 1$



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

4.5.6 Restricción de inventario en la sucursal $j > 1$ para el día $m = 1$ de la semana

$$\begin{aligned} & \left(\text{InventarioInicialSucursal}_{ik} + \sum_{l \in \text{Vehiculos}} \text{MovimientosProductos}_{ikl1} \right. \\ & \quad \left. - \text{UnidadesVendidas}_{ik1} \right) \\ & = \text{InventarioFinal}_{ik1} \end{aligned} \tag{7}$$

$\forall i \in \text{Productos}, \quad \forall k \in \text{SucursalesSubset}$

4.5.7 Restricción de inventario en la sucursal $j > 1$ para el día $m > 1$ de la semana

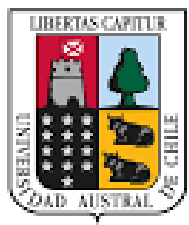
$$\begin{aligned} & \left(\text{InventarioFinal}_{ik(m-1)} + \sum_{l \in \text{Vehiculos}} \text{MovimientosProductos}_{iklm} \right. \\ & \quad \left. - \text{UnidadesVendidas}_{ikm} \right) \\ & = \text{InventarioFinal}_{ikm} \end{aligned} \tag{8}$$

$\forall i \in \text{Productos}, \quad \forall k \in \text{SucursalesSubset}, \quad \forall m \in \text{Dias}, \quad \text{si } m > 1$

4.5.8 Restricción de ventas de acuerdo a la demanda

$$\text{UnidadesVendidas}_{ijm} \leq \text{DemandaProductoSucursal}_{ijm}$$

$\forall i \in \text{Productos}, \quad \forall j \in \text{Sucursales}, \quad \forall m \in \text{Dias}$



Universidad Austral de Chile

Sede Puerto Montt



Ingeniería
Civil Industrial
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

Parámetros, Restricciones y Variables de decisión

Nuestro modelo matemático ya se encuentra definido. Sin embargo, sabemos que dentro de los conjuntos que se han definido con antelación (los que corresponden a Sucursales, Productos, días y vehículos) pueden tomar una cantidad infinita de valores.

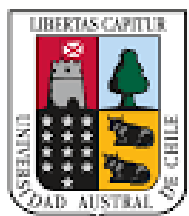
Las siguientes ecuaciones, provienen de el cálculo realizado a través del principio multiplicativo.
En las siguientes funciones, considere:

i , como el número total de productos a disposición del modelo.

j , como el número total de sucursales (inclúyase la sucursal matriz).

l , como la cantidad de vehículos destinados para la distribución.

m , como los días de la semana que se considerarán en el modelo.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



5.1 Parámetros

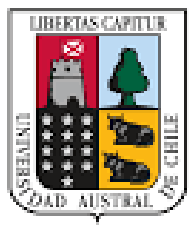
$$\#Parametros(i, j, l, m) = jl + (3j + 3 + jm)i$$

5.2 Restricciones

$$\#Restricciones(i, j, l, m) = jlm - lm + (3jm + m)i$$

5.3 Variables de decisión

$$\#Variables(i, j, l, m) = jlm - lm + (1 + 2jm + jlm - lm + m)i$$



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

ESCENARIOS



En la operación cotidiana, la empresa opera con:

- **252** productos (publicados en la web),
- **2** sucursales,
- **2** vehículos,
- **7** días de la semana.

Esto en el modelo, significaría un total de:

- **5,800** parámetros
- **12,362** restricciones
- **12,614** variables de decisión.

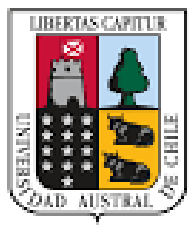
Es por esto que para poder realizar un analisis realista de la operacion, consideraremos:

- **2** productos
- **2** sucursales
- **2** vehículos
- **7** días de la semana

El problema de programación lineal se reduce a:

- **50** parámetros
- **112** restricciones
- **114** variables de decisión:

La elección de los 2 productos que consideraremos dentro de nuestro modelo está basada en los productos con mayor rotación de venta. Dentro de los 2 escenarios que estipularemos a continuación, analizaremos cómo se comporta el modelo dependiendo de la cantidad de productos demandada.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

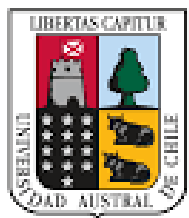
ESCENARIOS



La información de los parámetros ha sido obtenida a partir de las siguientes metodologías:

- **Mediciones métricas manuales (en el caso del volumen de los productos),**
- **Obtención de información a través de fichas técnicas (volumen de carga de los vehículos),**
- **Cálculo manual: (costos de transporte, se hizo una ponderación a través del consumo mixto considerando el viaje de ida y vuelta),**
- **Facturas de compra, archivos Excel de ventas compartidos por la empresa, entre otros.**

Se señala que la resolución de los diversos escenarios fue ejecutada en el Software AMPL.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT

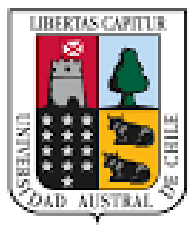
Análisis de Sensibilidad y Contraste

No expondremos explícitamente los valores entregados por el modelo del análisis de sensibilidad. Considerando que contamos con 2 escenarios, cada escenario con un total de 112 restricciones y 114 variables, en total serían **452 filas** a analizar con respecto al análisis de sensibilidad.

Es por lo anterior que realizaremos un análisis a rasgos generales con respecto a nuestro modelo de programación lineal.

- Nuestro modelo de programación lineal se presenta como un **modelo rígido**. Esto quiere decir que tanto en el análisis de restricciones como en el de las variables, se tiene una holgura mínima para aumentar o disminuir los valores de las variables de decisión y las restricciones, mientras la solución se mantiene óptima.

En parte, esto se debe a que el modelo, desde un punto de vista matemático, tiene una estructura con un número muy elevado de interconexión de conjuntos. Podemos percatarnos de que, a partir de **2** productos, **2** sucursales, **2** vehículos y **7** días, **se generan más de 100 variables y más de 100 restricciones**.



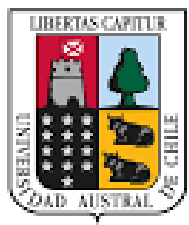
Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



En cuanto a la elección de los vehículos, **se va a priorizar siempre el vehículo que tenga un menor costo de transporte a la sucursal k** a la que se tengan que transportar los productos desde la sucursal matriz, siempre y cuando contenga todo el volumen de productos que se deba transportar.

Con respecto a los días de entrega de los productos en la sucursal matriz, **mientras más cercano al día 1 de la entrega, se permitirá aprovechar una mayor cantidad de bloques de demanda.** Llamaremos bloques de demanda a la cantidad demandada de producto en las diferentes sucursales en los días de operación de la empresa.

Con ello, usualmente se podrá **aumentar el valor de ingresos de la función objetivo**, sobre todo en casos en los que el inventario inicial es bajo y no alcanza a satisfacer la cantidad demandada.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

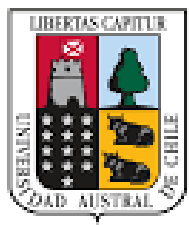


En cuanto a los **envíos**, se establece a través del modelo que los transportes de productos hacia una determinada **sucursal k** se hacen únicamente si las utilidades que generan las ventas posteriores sobrepasan el costo de envío para determinado **vehículo l**, generando utilidades.

Es importante recalcar que al aumentar la cantidad demandada de productos, realizamos un incremento de **86 unidades de productos a 190**, es decir, un aumento aproximado del **121%**. Sin embargo, logramos un aumento en el valor óptimo de la función objetivo de un **48%**. De este modo, podemos observar que **la curva entre la cantidad de productos demandada y el valor óptimo de la función no presenta una conducta lineal**.

El análisis de sensibilidad y los resultados de las variables de decisión de ambos escenarios se encontrarán anexados a los archivos de este documento.





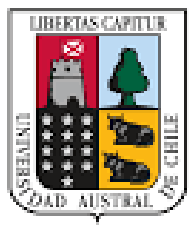
Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



Conclusión y recomendaciones

El diseño del modelo propuesto para la gestión de inventarios y logística en Charlie Mascotas ofrece una estructura robusta para **optimizar las operaciones diarias y semanales**. Al maximizar los ingresos por ventas y minimizar los costos asociados con el transporte y la adquisición de productos, el modelo demuestra **su eficacia en la planificación de la distribución entre sucursales y la gestión de inventarios**.

La introducción de **variables binarias** para controlar los días de entrega de productos garantiza la disponibilidad oportuna de productos en cada sucursal, adaptándose de manera precisa a las demandas específicas de los clientes. Esto facilita una **gestión precisa de los inventarios** y mejora la satisfacción del cliente al asegurar la disponibilidad continua de productos esenciales.



Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

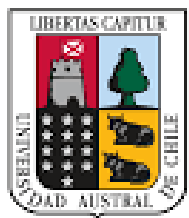


Conclusión y recomendaciones

La inclusión de restricciones de capacidad en los viajes de transporte es fundamental para **optimizar la utilización de los vehículos disponibles**. Esto no solo reduce los costos operativos asociados al transporte entre sucursales, sino que también **mejora la eficiencia operativa** al maximizar la carga transportada en cada viaje.

Para mejorar aún más la eficiencia y adaptarse mejor a las dinámicas del mercado, se sugiere expandir el modelo para incluir una **planificación mensual**. Esto proporcionaría una visión más **holística** y a largo plazo de las necesidades de inventario y distribución, permitiendo **ajustes estratégicos y una planificación más efectiva de recursos**.



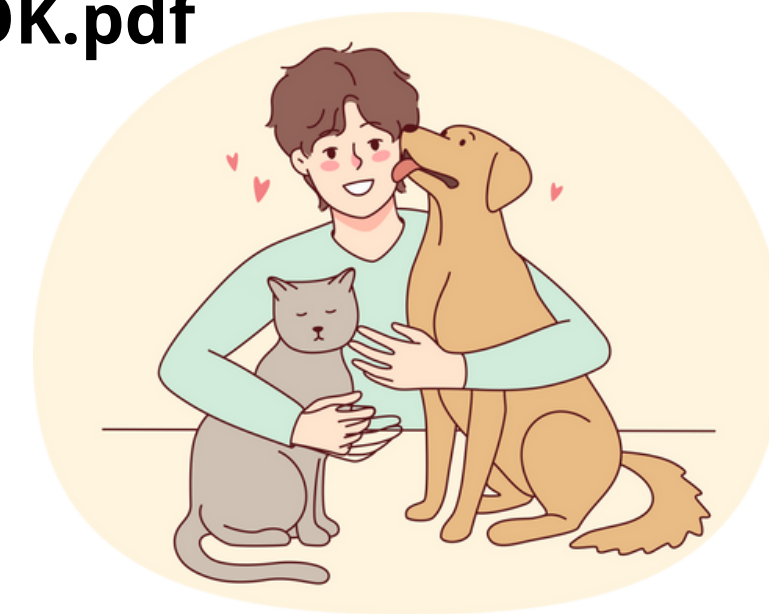


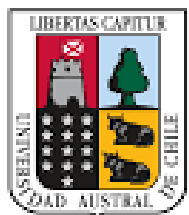
Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt

BIBLIOGRAFÍA



- **Aguilar, Y. (2024). Método Simplex y análisis de sensibilidad [Diapositivas de PowerPoint]. Universidad Austral de Chile, Ingeniería Civil Industrial.**
- **Hillier, Frederick S., & Lieberman, Gerald J. (2010). Introducción a la investigación de operaciones. McGraw Hill.**
- **Romero, O. (2024). Investigación de Operaciones [Diapositivas de PowerPoint vía Siveduc]. Universidad Austral de Chile, Ingeniería Civil Industrial.**
- **Second Edition. (s/f). A modeling language for mathematical programming. Ampl.com. Recuperado el 21 de junio de 2024, de <https://ampl.com/wp-content/uploads/BOOK.pdf>**





Universidad Austral de Chile
Sede Puerto Montt



CHARLIE MASCOTAS
Alimentos y accesorios



**Ingeniería
Civil Industrial**
Universidad Austral de Chile
SEDE PUERTO MONTT