



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS1113-OPTIMIZACIÓN

Informe Entrega 2

Combatiendo el desperdicio de alimentos en un supermercado

Grupo 13

Domingo Agüero Ureta 20638388 sección 5
María Angélica Gazitúa 20638442 sección 1
Joaquin Güell Moreno 2063885J sección 5
María Bloomfield Joannon 20644272 sección 2
Olivia Irrarrázabal Pavez 20641664 sección 2
Emilia Silva Vicuña 20639740 sección 1

Fecha entrega: 24 de mayo de 2022

Índice

1. Descripción y elección del problema	3
2. Modelo de Optimización de cantidad de alimento desperdiciado por un super-mercado	6
2.1. Subíndices y conjuntos	6
2.2. Parámetros	6
2.3. Variables	6
2.4. Función Objetivo	7
2.5. Supuestos	7
2.6. Restricciones	7
3. Datos	9
4. Resultados	9
5. Referencias Bibliográficas	10

1. Descripción y elección del problema

La última década del siglo XXI ha estado marcada fuertemente por el impacto del calentamiento global y los alcances que este puede tener a corto plazo. El crecimiento acelerado de la población y la industrialización han dejado cambios irreversibles en el ambiente. Es probable que el mundo se caliente más de 3°C por encima del clima preindustrial si no se asumen más compromisos y medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Incluso con los actuales compromisos implementados, hay aproximadamente un 20 % de probabilidad de superar los 4°C para el año 2100, generando efectos como el aumento del nivel del mar, sequía, temperaturas extremas, acidificación del océano, entre otros (World Bank, 2012). Esto genera un riesgo para los sistemas de soporte humanos relacionados con la alimentación, el agua y los ecosistemas, y deja en evidencia la vulnerabilidad del mundo.

El sector energético es la fuente principal de emisiones de gases invernadero y es donde se han concentrado la mayor parte de los esfuerzos de los países. No obstante, datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación indican que los sistemas alimentarios del mundo son responsables de más de un tercio de las emisiones antropogénicas. Aproximadamente, 18 billones de toneladas de dióxido de carbono son generados en este sector, abarcando desde el uso de la tierra y la producción agrícola hasta el embalaje y la gestión de residuos (FAO, 2021).

Uno de los principales problemas que aquejan actualmente a la industria alimentaria es el desperdicio de alimentos. El desperdicio de alimentos tiene “relación con la disminución de alimentos, aptos para el consumo humano, que ocurre al final de la cadena alimentaria (ventas y consumo final), es decir, cuando los alimentos se pierden por malas decisiones de los comerciantes y consumidores.” (ODEPA, 2019) Esto se da en toda la industria alimentaria, ya sea dentro de los hogares, restaurantes, supermercados, centros de distribución de alimentos, entre otros. Según la FAO, alrededor del mundo se desperdicia aproximadamente un tercio de todos los alimentos producidos. Esto no es solamente comida que podría haberse aprovechado en localidades más necesitadas, sino que también es un desperdicio de recursos naturales, los cuales fueron utilizados para producir estos alimentos (EARTH, 2022). Este conflicto es, en parte, fruto de un mal manejo y organización en el consumo, compra y venta de los productos, por parte de todos aquellos que pertenecen a la industria alimentaria.

El desperdicio de alimentos es un problema a nivel mundial y tiene múltiples consecuencias a nivel económico, social y medioambiental. En el ámbito económico, el desperdicio de comida genera que los productores ganen menos dinero al no estar vendiendo todo lo producido y, a su vez, que los precios de los alimentos sean mayores (FAO, 2022). Además, si el desperdicio es menor, el costo de producción también sería menor al ser un proceso más eficiente. (BBC, 2021) Es decir, este problema perjudica tanto a los productores como consumidores. El impacto social también es de gran envergadura, ya que una parte considerable de los alimentos producidos son desperdiciados aún cuando mueren miles de personas por esto diariamente. Según las Naciones Unidas, 24.000 personas mueren de hambre cada día, lo que equivale al 16 % de todas las muertes en el mundo cada día (DW, 2022). Por otro lado, la FAO calcula que la comida desperdiciada podría alimentar a 2000 millones de personas.

En términos medioambientales, se desperdicia toda la energía y agua que se utiliza para producir, transportar y envasar aquellos alimentos que no fueron consumidos. Según la ONU, el desperdicio de comida es responsable entre un 8 y 10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Además, si estos alimentos terminan en el vertedero, se pudren y liberan metano (WWF, 2022). Este es un gas de efecto invernadero que, según el investigador Euen Nisbet, es “muy fuerte, mucho más fuerte que el CO₂” (Forbes, 2019).

Debido a los grandes impactos generados por el desperdicio de comida y a todas las cifras mencionadas previamente, es evidente que se requiere minimizar la cantidad de comida perdida para

que los precios de los alimentos producidos disminuyan, siendo más accesibles y a su vez, se emitan menos gases de efecto invernadero.

Un supermercado promedio almacena 28.112 artículos, de los cuales un tercio termina en los vertederos. La organización ReFED, dedicada a terminar la pérdida y desperdicio de comida a lo largo de Estados Unidos, estimó que los supermercados minoristas generan 10,5 millones de toneladas de desperdicios de alimentos. “Si bien [los supermercados] no son la porción más grande en el pastel del desperdicio de alimentos, sigue siendo importante porque estos minoristas manejan una gran cantidad de alimentos”, dice Dana Gunders, directora ejecutiva de ReFED (FootPrint, 2021).

Elena Bulmer, co-autora del estudio “*El problema del desperdicio de comida. Un análisis crítico*” publicado por EAE Business School indicó que:

En los países desarrollados, la mayor parte de la comida se pierde en la última fase de la cadena de suministro. Se ha identificado una interrelación supermercado-consumidor final. Un supermercado, con independencia de su tamaño, genera una gran cantidad de residuos, tanto por su tipo de actividad como por la variedad de inventario que mantienen, y la necesidad de evitar el coste de imagen que producen los productos agotados. En un día de trabajo se deben gestionar residuos orgánicos, plástico, cartones, vidrio, latas y bidones. Los supermercados tienen un gran impacto sobre los desechos de alimentos, debido a los cambios sobre lo que significan las fechas para la seguridad alimentaria, que hace que se deseche una gran cantidad de alimentos comestibles.

(Bulmer, 2021, como se citó en Financial Food, 2021)

Por las razones anteriores decidimos centrarnos específicamente en minimizar los desperdicios de alimentos de un supermercado en particular. Para cumplir lo anterior se plantea el siguiente modelo de optimización:

Un supermercado quiere ser más sustentable mediante la minimización de alimentos que se venen en un horizonte de T días. El supermercado tiene un conjunto P de productos, los cuales se dividen en tres categorías $q \in \{C, R, A\}$ según las condiciones que necesitan los productos al ser almacenados. Cada producto puede ser congelado $C \subseteq P$, refrigerado $R \subseteq P$ o almacenado a temperatura ambiente $A \subseteq P$. Además, cada producto se vence en $e \in \{1, \dots, T\}$ días.

Para lograr este objetivo, el modelo ayudará al supermercado a decidir qué días debe comprar cada producto, y cuánto de cada producto debe vender cada día. Para decidir esto se utilizan variables auxiliares como qué cantidad de cada producto hay según en cuántos días vence, el presupuesto del supermercado para cada día y la cantidad de comida que vence por día, la cual es la variable que se desea minimizar. Por último, se utilizan dos variables de activación, las cuales definen si en cada día se compra el producto p o no en el día t , y si se compra algún producto del tipo q o no en el día t .

Se comienza con un presupuesto PR al inicio del período, el cual va cambiando a medida que se reciben ingresos y se gasta en costos. Este presupuesto cambia a medida que se compran y venden unidades, y en ningún momento puede ser excedido. Cada producto p tiene, en el día t , una demanda d_{pt} que debe ser suplida sin excepciones.

Realizar un pedido del producto p en el día t tiene tanto un costo fijo F_{pt} , como un costo variable por cada unidad comprada n_{pt} , el cual incluye el transporte de ese producto hacia la bodega del supermercado. Esta bodega se encuentra en el mismo supermercado, por lo que no se incurren costos al momento de transportar los productos de la bodega al supermercado cuando quieren ser vendidos.

Cada producto tiene una cantidad $minc_p$ definida por el proveedor, la cual determina la cantidad mínima que se debe comprar por pedido. Además, cada tipo de producto tiene un proveedor

distinto. Se puede realizar máximo dos pedidos a la semana para cada producto, siendo para cada pedido, máximo un camión. Cabe destacar que los camiones con las compras de productos llegan al supermercado cierto día en la mañana antes de que se comience a vender, y el volumen máximo que puede transportar un camión del proveedor del producto p es $maxc_p$.

Además, el supermercado puede almacenar sus productos en bodegas desde el día t al $t + 1$, por un precio de b_{pt} diario para cada producto p . Se sabe que el volumen que ocupa una unidad del producto p es v_p y que el volumen máximo que se puede almacenar en la bodega para todos los productos del tipo q es V_q .

Cada producto tiene una misma cantidad de días desde que se compra hasta que se vence y no se puede vender un producto que vence ese mismo día. Esta última restricción define que todos los días en la noche pasa una máquina que saca todos los productos que vencen el día siguiente, pues estos no podrán ser vendidos.

Se considera como día inicial $t = 1$, como un lunes, para facilitar el análisis semanal de los pedidos. Por la misma razón, se asume que T es un múltiplo de 7, para poder analizar el modelo para un número entero de semanas. Al inicio del día 1 el inventario de todos los productos es 0. Además, no es necesario realizar un inventario para el día T , ya que en el día $T + 1$ no analizaremos lo que pasa en el supermercado.

El modelo presentado anteriormente tiene el potencial de generar impacto en la sociedad. Según estadísticas de RTS, una compañía enfocada en el desperdicio de alimento, un 30 % de la comida que se compra en los supermercados se desecha, lo que equivale, en un supermercado promedio, a 7 millones de toneladas por año. Esta cantidad de comida está valuada en aproximadamente el doble de los ingresos obtenidos por el supermercado en un año. En un supermercado promedio, estos ingresos son de \$14 millones de dólares(CHRON, 2022).

Si se estima que con el modelo presentado se puede bajar ese 30 % a un 10 % de comida desperdiciada por año, el potencial impacto para un supermercado sería el siguiente:

- Se podrían vender 4,6 millones de toneladas de comida que anteriormente se desperdiciaban.
- Se ahorrarían \$18,7 millones de los \$28 millones de dólares que antes se gastaban en comida que se desechaba.

Asimismo, según el World Resources Institute, cada año se desperdician globalmente 1.300 millones de toneladas de alimentos, dentro de los cuales hay 170 billones de litros de agua, lo cual equivale al 24 % de toda al agua fresca utilizada para la agricultura (GMO, 2021).

Si extendemos el modelo a todos los supermercados y se estima una reducción del 20 % de los parámetros anteriores, el potencial impacto sería el siguiente:

- Se ahorrarían 34 billones de litros al año, que se utilizaban para producir la comida desperdiciada. Lo que equivale a un 4,8 % del agua utilizada para la agricultura.

2. Modelo de Optimización de cantidad de alimento desperdiciado por un supermercado

2.1. Subíndices y conjuntos

- Productos: $p \in P$
- Días: $t \in \{0, \dots, T\}$
- Días vencimiento: $e \in \{1, \dots, T\}$
- Tipo de Producto $q \in (C \vee R \vee A)/C \subseteq P, R \subseteq P, A \subseteq P$

(C: Productos Congelados, R: Productos Refrigerados, A: Productos a temperatura ambiente)

2.2. Parámetros

- F_{pt} : Costo fijo por hacer un pedido del producto p el día t .
- n_{pt} : Costo de una unidad de p en el día t .
- b_{pt} : Precio por guardar una unidad del producto p en bodega desde el día t al $t + 1$.
- V_q : Volumen máximo que se puede almacenar en la bodega del tipo de producto q .
- v_p : Volumen que ocupa una unidad del producto p .
- d_{pt} : Demanda del producto p en el día t .
- $minc_p$: Mínima cantidad que se puede pedir del producto p .
- $maxc_p$: Volumen máximo que se puede transportar del producto p .
- PR : Presupuesto inicial.
- z_p : Precio de venta del producto p .
- exp_p : Cantidad de días para que se venza p después de haberlo comprado.
- u_p : Costo de desechar un producto p debido a que está vencido.

2.3. Variables

- c_{pte} : Cantidad comprada del producto p en el día t que vence en e días.
- $C_{pt} = \begin{cases} 1 & \text{si se decide comprar el producto } p \text{ en el día } t \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$
- s_{pte} : Cantidad vendida del producto p en el día t que vencía en e días.
- i_{pte} : Cantidad en el inventario del producto p al final del día t que vence en e días.
- w_{pt} : Cantidad de p desechada al final del día t , porque vence en $t + 1$.
- B_t : Presupuesto del supermercado al final del día t , después de haber pagado el bodegaje para la noche.

2.4. Función Objetivo

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{p \in P} w_{pt}$$

2.5. Supuestos

- El supermercado puede realizar máximo dos pedidos a la semana para cada producto, teniendo cada pedido como máximo un camión con productos.
- El día inicial $t = 1$, corresponde al día lunes. Además, T es un número múltiplo de 7.
- El inventario inicial para cada producto es 0. Además, no es necesario realizar un inventario para el día T , ya que en el día $T + 1$ no analizaremos lo que pasa en el supermercado.
- Al final del día t , se retiran los productos que vencen el día $t + 1$, para que no sean comprados por consumidores.
- La bodega del supermercado se encuentra en este mismo, es decir, se pueden vender productos que están almacenados en la bodega. Adicionalmente, en la bodega se almacenan los productos por cada tipo de producto, es decir, refrigerados, congelados y temperatura ambiente.
- Cada producto tiene un proveedor específico.
- El precio n_{pt} considera el precio de un producto p y su costo de transporte.
- Cada producto tiene una misma cantidad de días desde que se compra hasta que se vence.
- Los camiones con las compras de producto llegan al supermercado ese día en la mañana antes de que se comience a vender.
- El presupuesto inicial es mayor a 0

2.6. Restricciones

- No gastar más del presupuesto: Se considera un presupuesto variable sumando los ingresos por ventas y restando costos de compras, bodegas hasta el día t y el costo de desechar los productos que vencen el día $t+1$.

$$B_t = B_{t-1} + \sum_{p \in P} \sum_{e=1}^T (s_{pte} \cdot z_p) - \sum_{p \in P} \sum_{e=1}^T (c_{pte} \cdot n_{pt}) - \sum_{p \in P} (w_{pt} \cdot u_p) - \sum_{p \in P} \sum_{e=2}^T (i_{pte} \cdot b_{pt}) - \sum_{p \in P} (C_{pt} \cdot F_{pt}) \quad \forall t \in \{2, \dots, T\} \quad (1)$$

$$B_1 = PR \quad (2)$$

- Relación entre variables:

$$c_{pte} \leq C_{pt} \cdot M \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall e \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P, M \gg 0 \quad (3)$$

$$\min c_p \cdot C_{pt} \leq c_{pte} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall e \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P : e = \exp_p \quad (4)$$

- Inventario inicial:

$$i_{p0e} = 0 \quad \forall e \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P \quad (5)$$

- Inventario:

$$i_{pte} = i_{p(t-1)(e+1)} + c_{pte} - s_{pte} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall e \in \{1, \dots, T-1\}, \forall p \in P \quad (6)$$

$$i_{ptT} = c_{ptT} - s_{ptT} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P \quad (7)$$

- Cada producto comprado tiene exp_p como su fecha de vencimiento:

$$c_{pte} = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P, \forall e \in \{1, \dots, T\} : e \neq exp_p \quad (8)$$

- Tener suficiente inventario para suplir la demanda:

$$\sum_{e=2}^T (i_{p(t-1)e} + c_{pte}) \geq d_{pt} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P \quad (9)$$

- Capacidad bodega:

$$\sum_{p \in q} \sum_{e=2}^T i_{pte} \cdot v_p \leq V_q \quad \forall q \in \{C, R, A\}, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (10)$$

- Capacidad transporte:

$$\sum_{p \in P} \sum_{e=1}^T c_{pte} \cdot v_p \leq maxc_p \quad \forall p \in P, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (11)$$

- Vender la cantidad demandada:

$$\sum_{e=1}^T s_{pte} = d_{pt} \quad \forall p \in P, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (12)$$

- Definir variable con cantidad de comida vencida:

$$w_{pt} = i_{pt1} \quad \forall p \in P, \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (13)$$

- Máximos pedidos por semana:

$$\sum_{t \in \{1+N \cdot 7, \dots, 7+N \cdot 7\}} C_{pt} \leq 2 \quad \forall p \in P, \forall N \in \{0, \dots, (T/7) - 1\} \quad (14)$$

- Naturaleza de las variables:

$$c_{pte} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P, \forall e \in \{1, \dots, T\} \quad (15)$$

$$s_{pte} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P, \forall e \in \{1, \dots, T\} \quad (16)$$

$$i_{pte} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P, \forall e \in \{1, \dots, T\} \quad (17)$$

$$w_{pt} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P \quad (18)$$

$$B_t \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (19)$$

$$C_{pt} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall p \in P \quad (20)$$

3. Datos

En la carpeta datos se pueden encontrar dos archivos, ambos con los mismos datos que se utilizarán para el proyecto. Se simularán 100 productos para un espacio de 28 días, lo que serían 4 semanas completas, comenzando desde un día lunes.

En cuanto a los archivos, en primer lugar, está el archivo con terminación .ipynb en el cual hay una explicación de cada parámetro antes de su código de Python correspondiente que crea este parámetro. En segundo lugar, hay un archivo .py con el mismo contenido que el Jupyter. Este archivo es el que se importa desde main.py para hacer uso de los datos en el modelo y así obtener los resultados.

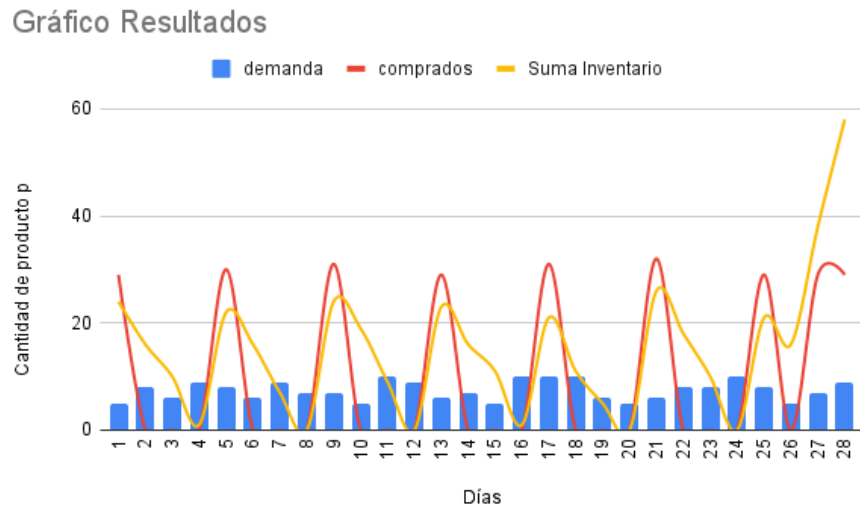
Por último, cabe mencionar que se intentó utilizar datos de empresas reales, como Cornershop, pero esta no estuvo dispuesta a colaborar por temas de confidencialidad empresarial.

4. Resultados

Los datos mencionados previamente se reemplazaron en el modelo para poder resolverlo mediante un software de programación, Gurobi de Python. Al correr el programa, se puede ver el valor óptimo de la función objetivo y una serie de resultados relevantes para el modelo.

Para nuestro problema modelado existen una gran cantidad de datos y variables asociadas a cada uno de los productos y días, por lo cual se decidió mostrar los resultados de solo uno de los productos, verificando que el modelo funciona correctamente.

A continuación se presenta un gráfico con los resultados del producto 1 para los 28 días que corre nuestro modelo.



Se puede ver que cada vez que se hace un pedido, se intenta de utilizar la mayor cantidad de productos en el inventario sin vencer. Por esta razón, las curvas de cantidad comprada y suma de inventario van de la mano. Cuando el inventario llega a 0, o se vencen todos los productos de la compra anterior, se realiza una nueva compra, lo cual se puede ver cuando la curva roja y amarilla llegan ambas cercanas a 0.

Luego, teniendo en consideración todo el periodo de tiempo para el producto 1, el valor que toma la función objetivo es de 2 productos perdidos debido a su fecha de expiración.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] Forbes Staff. (2019, October 22). Metano: el malvado hermano gemelo del CO2. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/metano-el-malvado-hermano-gemelo-del-co2/>
- [2] Fight climate change by preventing food waste. (n.d.). World Wildlife Fund. Retrieved April 19, 2022, from <https://www.worldwildlife.org/stories/fight-climate-change-by-preventing-food-waste>
- [3] Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. (n.d.). Fao.org. Retrieved April 19, 2022, from <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
- [4] Deutsche Welle (www.dw.com). (n.d.). Hambruna. DW.COM; Deutsche Welle (www.dw.com). Retrieved April 19, 2022, from <https://www.dw.com/es/hambruna/t-37951612>
- [5] Las impactantes cifras que deja el desperdicio de comida en el mundo (y cuáles son sus efectos). (2021, March 15). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56322961>
- [6] Pérdida y desperdicio de alimentos. (2019, July 22). ODEPA — Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/noticias/agro-en-la-prensa/perdida-y-desperdicio-de-alimentos>
- [7] Lewis, J. (2022, January 17). How does food waste affect the environment. Earth.Org - Past — Present — Future. <https://earth.org/how-does-food-waste-affect-the-environment/?gclid=Cj0KCQjwr>
- [8] Food systems account for more than one third of global greenhouse gas emissions. (n.d.). Fao.Org. Retrieved April 19, 2022, from <https://www.fao.org/news/story/en/item/1379373/icode/>
- [9] Turn down the heat: Why a 4°C warmer world must be avoided. (n.d.). Climateanalytics.Org. Retrieved April 19, 2022, from <https://climateanalytics.org/publications/2012/turn-down-the-heat-why-a-4c-warmer-world-must-be-avoided/>
- [10] Beatriz. (2021, February 23). Los comercios tradicionales generan hasta un 60 % menos de residuos que los supermercados. Financial Food. <https://financialfood.es/los-comercios-tradicionales-generan-hasta-un-60-menos-de-residuos-que-los-supermercados/>
- [11] Link, K. (2021, April 6). Supermarkets dig into the challenge of food waste. FoodPrint. <https://foodprint.org/blog/supermarkets-food-waste/>
- [12] Food losses wasted water. (n.d.). GMO Answers. Retrieved April 21, 2022, from <https://gmoanswers.com/food-waste-and-water-loss>