



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

Informe 3

Minimizar los costos del precio del trigo en Chile

Grupo 51

Leonora Castro Salas, 2163950, sección 3
Vicente Gajardo Fuentes, 21656088, sección 3
Bárbara Gómez Asencio, 21640904, sección 5
Diego Navarro Bustos, 21637296, sección 5
Emilio Peña Sepúlveda, 21639663, sección 5
Joaquín Rojas Cañete, 21637946, sección 1

Fecha entrega: 23 de noviembre de 2022

Índice

1. Descripción del problema	3
1.1. Contexto	3
1.2. Impacto	4
1.3. Objetivo del modelo	4
1.4. Supuestos	4
2. Modelación del problema	5
2.1. Subíndices	5
2.2. Conjunto y parámetros	5
2.3. Variables	5
2.4. Restricciones	6
2.5. Función objetivo	7
3. Definición de datos	7
4. Resolución del problema	8
5. Validación del resultado	8
6. Análisis de Sensibilidad	10
7. Conclusión	12
8. Referencias	13

1. Descripción del problema

1.1. Contexto

El trigo es una de las principales materias primas integradas en el día a día de la población mundial, siendo así el tercer cereal más consumido en el mundo, luego del maíz y el arroz (El País, 2018). Desde un punto de vista nutricional, el trigo aporta entre un 36-46 % de proteínas, un 36-38 % de energía, un 21-71 % de minerales (La Tercera, 2022) y además aporta vitaminas del complejo B y un alto contenido de fibra (Nourish, 2021). Gracias a su valor nutritivo, el trigo es uno de los cereales que le ha permitido a la humanidad pasar de ser cazadores a conocer la agricultura, asentándose y formando grandes comunidades autosuficientes en la producción de alimentos.

Durante los últimos años, gracias al auge de los tratados de libre comercio y la globalización de las economías nacionales, la demanda actual se ha logrado satisfacer por medio de múltiples fuentes tanto nacionales como internacionales, resultado de metodologías eficaces de transporte y un largo plazo de almacenamiento, propio del cereal en sí.

A nivel mundial, la demanda per cápita de trigo alcanza los 67,4 kg por persona, la cual es satisfecha en un 20 % por Rusia (38 millones de toneladas de las 198 millones que se exportan anualmente), convirtiendo a la nación rusa en el principal exportador de trigo del mundo (La Tercera). Con respecto a este país, a raíz del conflicto Rusia - Ucrania, se desató una crisis alimentaria mundial respecto al trigo, ya que entre estos dos países producen acerca de un tercio del trigo que se comercializa en los mercados mundiales y Rusia mantuvo bloqueados los puertos de Ucrania por casi 6 meses durante este año (The Washington Post, 2022).

Pese a que a Chile no le impacta directamente el conflicto bélico en temas de abastecimiento, sí lo ha hecho a nivel de precio, registrando un alza del 45 % este 2022, disparando el precio del pan, en medio de un alza generalizada en el precio de los alimentos, por efecto de la alta inflación que se registra en el país. Cabe mencionar que el consumo de trigo está sobre los 140 kilos anuales, muy por encima del promedio mundial (El Mostrador, 2022). Los problemas que involucran al trigo no solo tienen como causa el actual conflicto ya mencionado, si no que hay un factor importante que viene afectando ya hace años, el cambio climático. Según la NASA el aumento de la temperatura global en 1°C, junto a las lluvias intermitentes han afectado plantaciones de maíz en su mayoría pero también del trigo de manera en que las producciones de estos cereales no producen el total esperado (2021). Más bien el gran problema de plantaciones de trigo se le otorga al medio oriente, ya que al aumentar más la sequía y las temperaturas en esa parte del globo los cultivos podrían llegar a disminuir aproximadamente un 30 % en tres años más. Afectando de manera importante los precios de este cereal tomando en cuenta que India es el segundo productor mundial de trigo (Yahoo Finance, 2022).

Como se mencionó anteriormente a Chile no le afecta directamente en temas de abastecimiento, esto debido a que el 45 % del trigo consumido en este país es de producción nacional mayoritariamente producido por pequeños productores, y el otro 55 % es importado principalmente desde Argentina, Estados Unidos y Canadá (La Tercera).

Se añade dentro de los factores que afectan los costos y el presupuesto, la temporada en la que se planta trigo en Chile, ya que la mejor época son en los meses desde julio a septiembre aproximadamente, sumado a que la producción de trigo nacional ha bajado en un 20 % desde el 2015 y la cantidad de hectáreas plantadas disminuyeron en 53 mil, las cuales se encuentran principalmente en las regiones del Maule, Ñuble, Bío-Bío y la Araucanía. Tomando en cuenta estas problemáticas en el país es posible que se presenten distintos obstáculos dando prioridad al posible aumento de los precios de este alimento tan esencial en la vida del ser humano y en especial del ciudadano chileno, que en los últimos meses ya ha estado mostrando cambios. Tanto así que las últimas semanas de febrero 0,1 toneladas estaban entre los 30 mil y 33 mil pesos, pero las primeras dos semanas de marzo ya presentó un alza de mil pesos por 0,1 toneladas, lo que equivale a un quintal de harina, la medida más utilizada en este tipo de productos (La Tercera).

Los datos necesarios para el funcionamiento modelo, ya sea precio del trigo importado o producido, el precio de traslado de este nacionalmente, las cantidades importadas, y el almacenamiento se

obtendrán desde fuentes nacionales como lo son ODEPA (Oficina de Estudio de Políticas Agrarias) y COTRISA (Comercializadora de Trigo S.A.).

1.2. Impacto

Como ha sido mencionado anteriormente el trigo es un cereal fundamental en la dieta de los chilenos principalmente por que es consumido a través del pan. El poder generar un modelo que optimice los diferentes gastos que conlleva el trigo sería un gran aporte tanto al bolsillo de los compradores de este cereal como a los consumidores del alimento procesado. Considerando los datos mencionados como los 2,4 millones de toneladas que se consumen de trigo y los 30.000 pesos por quintal de trigo, que equivale a 0,1 toneladas, se estarían gastando aproximadamente 720 mil millones de pesos por año en Chile, eso sin tomar en cuenta que los precios van en alza (La Tercera).

Finalmente es importante pensar en un modelo que beneficie a la sociedad en temas de los costos que presente el utilizar el trigo como alimento esencial en la vida de la sociedad chilena, generando un impacto generoso para el bienestar de la sociedad en temas de economía y abastecimiento.

Respecto al impacto cuantitativo, gracias a este proyecto, el creciente precio del trigo debido a su déficit sería atenuado. A nivel país, desde la Sociedad Panificadora de Osorno, se informó que el precio de la harina podría llegar a subir un 47 % (CNN Chile, 2022). Considerando que los chilenos consumen mayoritariamente el trigo en su derivado; la harina y luego el pan, se puede hacer una aproximación de lo que supondría contrarrestar este aumento en el precio gracias a el proyecto. Los chilenos consumen alrededor de 140 kg de pan al año. En un escenario crítico, si el precio de la harina se aumenta en un 47 %, se hace el supuesto que el pan también. Luego, considerando que el precio del pan en la región Metropolitana es de \$2.000 (El Mostrador) el ahorro a nivel anual que se conseguiría contrarrestando el aumento de la harina con el proyecto, es de \$131.764 por persona.

1.3. Objetivo del modelo

Para que este problema tenga un real impacto y solución, el tomador de decisiones será un conjunto de empresas dedicadas tanto al transporte, almacenaje, y venta del trigo. Y para situar temporalmente la problemática el proyecto estará considerado durante los próximos tres años en el futuro, es decir, desde Octubre 2022 hasta Octubre 2025.

El principal objetivo del problema que se aborda en este proyecto es poder disminuir el costo que genera el hecho de que Chile consuma grandes cantidades de trigo. Sujeto a los distintos temas que esto abarca, como el transporte del cereal, su almacenamiento, el abastecimiento a diferentes zonas del país, la producción e importación, sumado al no desperdicio de alimentos por vencimiento. Todo esto con la finalidad de poder aliviar de alguna manera económica a la sociedad chilena, debido a la gran dificultad en temas de economía que se vive actualmente en el mundo entero.

Este modelo contará con una serie de restricciones definidas por el tomador de decisiones que consisten en no superar las cantidades máximas permitidas, ya sea en producción, almacenamiento, importación y transporte, además de que se debe cumplir con una demanda regional y con la continuidad del almacenamiento a lo largo de los meses. Considerando que solo ciertas regiones están posibilitadas para la importación y la producción del trigo además de evitar la caducidad de este.

1.4. Supuestos

1. El trigo que se envía de una región r a una i llega dentro del mismo mes que se envió.
2. El trigo se almacena en bodegas donde la humedad es menor al 14 %.
3. El trigo perece entre los 6 a 12 meses de almacenamiento bajo una humedad del 14 %, pero para efectos del proyecto se asumirá que perece finalizados los 9 meses.
4. Se decide gastar el trigo antes que perderlo por vencimiento.

5. El trigo importado fue producido durante ese mismo mes.

2. Modelación del problema

2.1. Subíndices

- Tipo de trigo: $j \in \{1, \dots, J\}$
- Meses: $t \in \{1, \dots, T\}$
- Regiones: $r \in \{1, \dots, 16\}$
 - En caso de ocuparse 2 veces este subíndice se ocupa la letra i .
 - Usamos el conjunto RI^t para referirse a las regiones aptas para recibir importaciones en el mes t .
 - Usamos el conjunto RP^t para referirse a las regiones aptas para producir en el mes t .

2.2. Conjunto y parámetros

1. $C_r^{i,t}$: Costo de transportar 1 tonelada de trigo de una región r a una región i en un mes t .
2. MC_r^t : Máxima cantidad de trigo que se puede transportar desde región r en un mes t
3. $I_{j,r}^t$: Costo de importar 1 tonelada de trigo j a una región r en un mes t .
4. $IF_{j,r}^t$: Costo fijo de importar trigo j a una región r en un mes t .
5. MI_r^t : Máxima cantidad de trigo que se puede importar a una región r en un mes t .
6. $P_{j,r}^t$: Costo de producir 1 tonelada de trigo j en una región r en un mes t .
7. $PF_{j,r}^t$: Costo fijo de producir trigo j en una región r en un mes t .
8. MP_r^t : Máxima cantidad de trigo que se puede producir en una región r en un mes t .
9. $D_{j,r}^t$: Demanda de trigo j en una región r en un mes t .
10. CA_r^t : Costo de almacenar 1 tonelada de trigo en una región r en un mes t .
11. MA_r^t : Máxima cantidad de trigo que se puede almacenar en la región r en un mes t .
12. $A_{j,r}^0$: Cantidad de trigo j almacenada al inicio del modelo en una región r .
13. N : Número lo suficientemente grande.

2.3. Variables

1. $X_{j,r}^t$: Cantidad de trigo j en toneladas producido en la región r en el mes t .
2. $W_{j,r}^t$:
$$\begin{cases} 1 & \text{si se produce trigo } j \text{ en la región } r \text{ en el mes } t \\ 0 & \text{E.O.C} \end{cases}$$
3. $Y_{j,r}^t$: Cantidad de trigo j en toneladas importado a la región r en el mes t .
4. $B_{j,r}^t$:
$$\begin{cases} 1 & \text{si se importa trigo } j \text{ en la región } r \text{ en el mes } t \\ 0 & \text{E.O.C} \end{cases}$$
5. $Z_{j,r}^{i,t}$: Cantidad de trigo j transportada desde la región r a la región i en el mes t .
6. $A_{j,r}^t$: Cantidad de trigo j almacenada en la región r en un mes t .
7. $G_{j,r}^t$: Cantidad de trigo j usada en la región r en un mes t .

2.4. Restricciones

1. No se puede superar la cantidad máxima de producción.

$$\sum_j X_{j,r}^t \leq MP_r^t \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

2. No se puede superar la cantidad máxima de importación.

$$\sum_j Y_{j,r}^t \leq MI_r^t \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

3. No se puede superar la cantidad máxima de transporte, debido a la cantidad finita de vehículos utilizados y el espacio limitado de estos.

$$\sum_j \sum_i Z_{j,r}^{i,t} \leq MC_r^t \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

4. No se puede superar la cantidad máxima de almacenamiento.

$$\sum_j A_{j,r}^t \leq MA_r^t \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

5. Se debe cumplir con la demanda.

$$G_{j,r}^t \geq D_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

6. El almacenamiento debe ser igual a lo que ya existe, sumado a lo que llega, y restado a lo que se ocupa y se manda (implícitamente; no se puede gastar más de lo que se posee):

$$A_{j,r}^{t-1} + X_{j,r}^t + Y_{j,r}^t + \sum_{i=1}^{16} Z_{j,i}^{r,t} - \sum_{i=1}^{16} Z_{j,r}^{i,t} - G_{j,r}^t = A_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{2, \dots, T\}$$

$$A_{j,r}^0 + X_{j,r}^1 + Y_{j,r}^1 + \sum_{i=1}^{16} Z_{j,i}^{r,1} - \sum_{i=1}^{16} Z_{j,r}^{i,1} - G_{j,r}^1 = A_{j,r}^1 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\}$$

7. No se considera el costo fijo de producción si no se produce

$$X_{j,r}^t \leq NW_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

8. No se considera el costo fijo de importación si no se importa

$$Y_{j,r}^t \leq NB_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

9. No se puede producir en las regiones que no son aptas para producir.

$$X_{j,r}^t = 0 \quad \forall r \notin RP^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

10. No se puede importar a las regiones que no son aptas para importar.

$$Y_{j,r}^t = 0 \quad \forall r \notin RI^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

11. El trigo producido e importado se debe gastar antes de su fecha de vencimiento correspondiente a 9 meses contando desde su producción/importación (se incluye el caso del primer mes, en donde se debe gastar el trigo que ya estaba almacenado).

$$\sum_r X_{j,r}^t + \sum_r Y_{j,r}^t \leq \sum_r \sum_{t=m}^{m+8} G_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall m \in \{2, \dots, T-8\}$$

$$\sum_r X_{j,r}^1 + \sum_r Y_{j,r}^1 + \sum_r A_{j,r}^0 \leq \sum_r \sum_{t=1}^9 G_{j,r}^t \quad \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

12. Una región no puede transportar trigo a si misma.

$$Z_{j,r}^{i,t} = 0 \quad \forall r = i \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

13. Naturaleza de las variables.

$$\begin{aligned} X_{j,r}^t &\in Q_0^+ & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ Y_{j,r}^t &\in Q_0^+ & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ Z_{j,r}^{i,t} &\in Q_0^+ & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall i \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ A_{j,r}^t &\in Q_0^+ & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ G_{j,r}^t &\in Q_0^+ & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ W_{j,r}^t &\in \{0, 1\} & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \\ B_{j,r}^t &\in \{0, 1\} & \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad \forall r \in \{1, \dots, 16\} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \end{aligned}$$

2.5. Función objetivo

Se busca **minimizar** los costos asociados al abastecimiento trigo en las 16 regiones durante un periodo de T meses:

$$\begin{aligned} \min \quad & \left(\sum_r \sum_i \sum_t \left(\sum_j Z_{j,r}^{i,t} \right) C_r^{i,t} \right) + \left(\sum_j \sum_r \sum_t X_{j,r}^t P_{j,r}^t + W_{j,r}^t P F_{j,r}^t \right) + \left(\sum_j \sum_r \sum_t Y_{j,r}^t I_{j,r}^t + B_{j,r}^t I F_{j,r}^t \right) \\ & + \left(\sum_r \sum_t \left(\sum_j A_{j,r}^t \right) C A_r^t \right) \end{aligned}$$

3. Definición de datos

Para poder encontrar una solución al problema planteado se deben definir los datos a utilizar en la resolución del problema. Estos se obtienen desde fuentes como ODEPA, Subsecretaría de Transporte y del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), entre otros, con tal de representar de manera fidedigna la realidad. A partir de los datos recolectados en estas fuentes se definen todos los parámetros descritos en el modelo que se presentan a continuación.

Dentro de los parámetros para los costos, en primer lugar, $C_r^{i,t}$ fue calculado mediante una ponderación de los kilómetros entre regiones y el precio de transporte por kilómetro para camiones que corresponde a aproximadamente \$128,8 (Transportes Zona Sur, 2022). En segundo lugar, $C A_r^t$ fue obtenido a través del análisis de los precios de mercado correspondientes al bodegaje en silos en Chile, el cual se estimó en \$8991,952 (BienesOnline, 2022). En tercer lugar, los valores para el costo de importación $I_{j,r}^t$ y costo de producción de trigo $P_{j,r}^t$ se obtienen directamente desde el Boletín de Cereales emitido por la ODEPA (2022). Y por último, los costos fijos $I F_{j,r}^t$ y $P F_{j,r}^t$ se definen como el 5 % del valor total de importación y producción mensual respectivamente.

Para los parámetros de máximas cantidades, primero los de importar y producir, $M I_r^t$ y $M P_r^t$ respectivamente, se usó un valor 1.5 veces mayor al importado y producido en el último mes. Segundo, la variable $M A_r^t$ referida a la máxima cantidad de trigo que se puede almacenar, se estimó como cuatro veces la cantidad que se posee actualmente en cada región. Tercero, para la máxima cantidad de trigo a transportar, $M C_r^t$, gracias a un aproximado de la información obtenida por la Confederación Nacional de Dueños de Camiones, para este proyecto se consideran 26 empresas de transporte con 5 camiones cada una, los cuales poseen una capacidad de 45 toneladas diarias, y se

distribuyeron entre las 16 regiones (EMB).

Para el parámetro $D_{j,r}^t$, se considera la demanda per cápita mensual de trigo en Chile que corresponde a 11.66 kg (La Tercera) la cual se multiplica por la cantidad de habitantes de cada región tomando un valor aproximado según el censo del 2017 (INE).

Finalmente, para la cantidad de trigo inicial almacenada $A_{j,r}^0$ se usó como referencia el trigo no procesado de enero del 2022 (ODEPA).

4. Resolución del problema

Para resolver el modelo se creó un programa de Python-Gurobi que utiliza los parámetros ya definidos y encuentra una solución óptima al problema planteado. Para poder ejecutar de manera correcta el programa se requiere el archivo *main.py* que contiene el código y el archivo *datos.py* con lo que se importa a *main.py*. El código encuentra la solución óptima, y genera 18 tablas simples de Excel las cuales se encuentran en la carpeta *resultados*, una por cada mes considerado en el modelo del problema, con una fila por región y que muestra los valores de las variables relacionadas a producción, importación, almacenamiento y utilización.

5. Validación del resultado

Para este modelo, la solución óptima del problema no se alcanza totalmente, ya que Gurobi necesita demasiadas iteraciones para lograr encontrar el verdadero óptimo, pero si entrega una opción muy cercana al óptimo, con un GAP de solo 0.5 %, y 480.315 iteraciones de Simplex, la cual es la que se considera como la mejor solución posible para este modelo. El resultado óptimo corresponde a aproximadamente \$1.0354 billones y este se obtiene de una lógica e intuitiva analizando los parámetros iniciales.

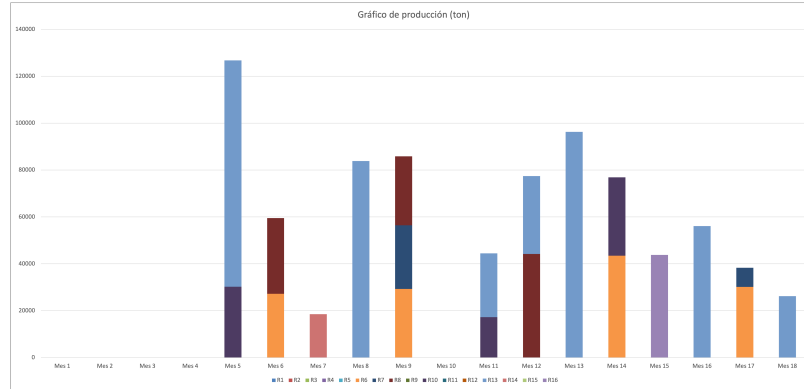


Figura 1: Gráfico de producción (ton) por cada mes t en cada región r .

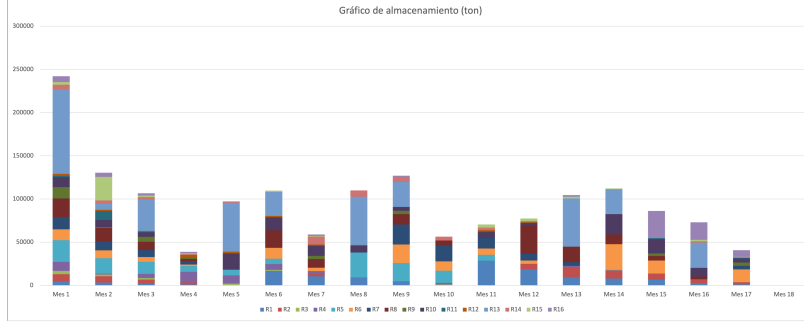


Figura 2: Gráfico de almacenamiento (ton) por cada mes t en cada región r .

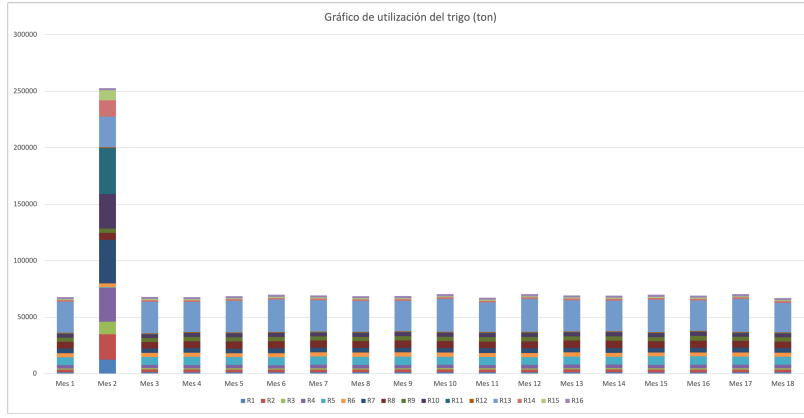


Figura 3: Gráfico de utilización del trigo (ton) por cada mes t en cada región r .

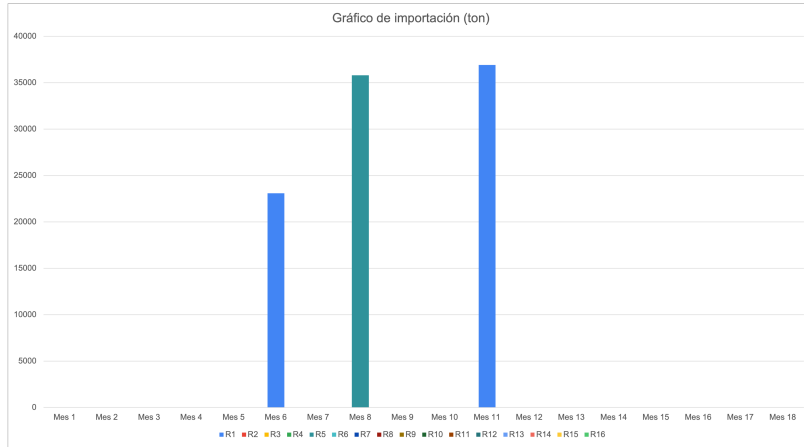


Figura 4: Gráfico de importación del trigo (ton) por cada mes t en cada región r .

En resumen, como se pueden observar en los gráficos 1 y 4 la clara diferencia entre las barras de cada uno, el modelo plantea que la mejor solución se obtiene priorizando la producción antes que la importación, donde 7 de cada 8 toneladas de trigo utilizadas en el país provienen de la producción y solo 1 de cada 8 es por parte de la importación. Esto puede deberse al hecho de que hay muchas regiones más que producen de las que importan, por lo que habiendo una capacidad máxima de ambas es lógico que la que tenga más opciones de generar sea la que genere más.

Además en el óptimo, el modelo se preocupa de satisfacer la demanda con lo justo y necesario, implicando que el almacenaje en cada región no alcance nunca el valor de máximo estipulado, ya que este valor es mucho más grande en comparación con la demanda regional. Además ni la producción ni la importación alcanzan valores máximos en ningún mes y en ninguna región, pero para la producción siempre hay al menos 2 regiones que producen trigo en cada mes. Se puede estipular que el modelo no sobrecarga el almacenaje, producción ni importación para minimizar costos, y que solo produce e importa lo justo y necesario para cumplir con la demanda haciendo que solo 2 regiones, que se intuye serán las que posean los menores costos, sean las que abastezcan a las regiones en cada mes.

Este modelo resulta ser muy favorable para el país, ya que como se estipuló, hay una deficiencia de trigo a nivel mundial, por lo que este modelo permite que Chile no sea afectado a gran escala por este fenómeno debido a la priorización de la producción por sobre la importación, permitiendo solventar la deficiencia de trigo al menor costo posible, lo que podría influir en una disminución del precio comercial del trigo en Chile, beneficiando a los ciudadanos.

6. Análisis de Sensibilidad

Se estudian distintas modificaciones sobre parámetros relevantes en nuestro modelo con el fin de poder analizar qué tan susceptible a cambios es el proyecto.

Nos preguntamos qué tanto afectaría a la solución el hecho de que el trigo no tenga una fecha de vencimiento de 9 meses, sino de 12. Esto, en miras a abrir la posibilidad de utilizar nuevas especies de trigo con más durabilidad u otras conclusiones útiles que se pueden extraer de este proyecto. Es por esto, que en la modelación se cambia la restricción 11, pasando de 9 meses de durabilidad del trigo a 12.

Se analiza el cambio a través de Gurobi. El resultado que arroja el modelo indica que este cambio supone que el valor óptimo de la solución cambia de 1.0354 billones a 1.0358 billones, lo que supondría un cambio porcentual de un 0.038 %.

Por otro lado, en un contexto de diversos cambios y revueltos en la población, también cabe preguntarse qué tan sensible es nuestro modelo a un posible cambio en los costos de producción del trigo, situación similar a el aumento del costo del trigo de manera indirecta por la guerra en Ucrania, situación que se sufrió hace un tiempo a nivel país. Para ello, se analiza el aumento en la producción del trigo a nivel país. Se aprecia a continuación el Cuadro 1, con variaciones en los costos de producción del trigo, aumentando un 10 %, 20 % y un 30 %.

Cuadro 1: Variación en el costo de producción

	Original	+10 %	+20 %	+30 %
Valor óptimo (en \$ billones)	1.0354	1.1000	1.1531	1.2070
% de aumento con respecto al original	-	6.24 %	11.36 %	16.57 %

Como podemos apreciar en la tabla, variando el costo en la producción del trigo a nivel país en nuestro modelo, se obtiene que el valor óptimo cambia en las 3 variaciones planteadas. Con un 10 % de variación en el costo de producción el valor objetivo cambia en un 6.24 %, con un 20 % un 11.36 % y finalmente con un 30 % cambia un 16.57 %. Se puede ver que a medida que se va aumentando el costo de producción, va aumentando la diferencia de porcentaje que hay entre las 2 variaciones en

los valores óptimos.

Hoy en día la población de Chile crece a gran escala por diferentes causas (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2019), y dentro de sus ciudades destaca principalmente el aumento de la población en la región Metropolitana. Es por esto, que es importante analizar también, qué tanto puede cambiar el modelo frente a ciertos aumentos de porcentaje en la demanda del trigo en la capital.

Se aprecia a continuación el cuadro 2, con variaciones en la demanda de la región metropolitana, aumentando un 10 %, 20 % y un 30 %.

Cuadro 2: Variación en la demanda en Región Metropolitana

	Original	+10 %	+20 %	+30 %
Valor óptimo (en \$ billones)	1.0354	1.0858	1.1326	1.1829
% de aumento con respecto al original	-	4.86 %	9.38 %	14.24 %

Al analizar el cuadro 2, es posible denotar un aumento en la demanda bastante acorde a las proyecciones del crecimiento del país y de su correspondiente población. Por otro lado, se aprecia que el crecimiento porcentual debido a la variación de demanda es menor que el producido por el aumento en los costos de producción, lo que puede deberse a que la variación de costo afecta a todas las regiones, en cambio la variación de demanda que estamos analizando solo afecta a la región Metropolitana.

En resumen nuestro modelo es sensible a cierto tipo de cambios, como por ejemplo la demanda o los costos, los cuales afectan entre un 5 y un 15 % aproximadamente al valor óptimo. Por otro lado, el modelo no presenta grandes cambios en cuanto a parámetros de almacenaje se refiere, notando que el cambio de duración del trigo afecta menos de un 0.1 % al valor óptimo.

Por otro lado, existe una disminución del valor óptimo con respecto a la tabla anterior, ya que la variación en el valor es menor a la vista anteriormente en el cuadro 1.

7. Conclusión

Chile es un gran consumidor de pan, consumiendo hasta 5,3 kilos mensuales por persona (Bío Bío, 2022), por ende existe un alto consumo de su materia prima, el trigo. Con el creciente aumento de la población chilena, la presente inflación y conflicto Rusia - Ucrania, el precio de esta materia prima se ha visto en aumento, de acuerdo a la ODEPA se trata de un fuerte crecimiento de 17,94 % en comparación al año pasado. Debido a esto, las autoridades para frenar esta situación, han decidido tomar cartas en el asunto y buscar una solución para esta problemática, de esta manera se ha ideado un plan para disminuir el costo del pan (Diario Concepción, 2022) y de su materia prima, el trigo. El presente informe tiene como objetivo poder modelar un plan que disminuya el costo de la materia prima y con ello buscar una solución óptima para dicho problema.

En términos del resultado, es relevante mencionar que el modelo solucionado en Python-Gurobi, arrojó un valor óptimo de \$1.0354 billones, lo que hace referencia al precio total de los procesos respectivos del trigo (producción, almacenamiento, transporte e importación) en un período de 18 meses. Como grupo, este valor nos parece adecuado con respecto a la cantidad de población por región, su demanda y sus costos asociados.

Ahora bien, a pesar de que el modelo responde a las necesidades actuales que tiene el país, es posible que exista una mejor manera de abordar la problemática debido a que se limitó a trabajar solo con un modelo lineal, no permitiendo así agregar restricciones más complejas para poder haber elevado la precisión tanto del problema como de la solución. Por otro lado, la modelación pudo haber sido más exacta y acercada a la realidad si es que hubiésemos tenido acceso a parámetros más concretos en vez de haber tenido que usar aproximaciones a través de los datos encontrados.

Cabe destacar que este modelo es realista, coherente y robusto, ya que nos entrega un valor óptimo adecuado, al variar la mayoría de los parámetros no entrega solución infactible para ninguno de los casos probados, por lo que esta solución funciona para distintos casos. Sin embargo es susceptible a cambios, principalmente en la variación de los costos y demandas de los parámetros.

Por último, es necesario que este modelo se pueda implementar en la realidad, por lo que la solución óptima debe ser coherente y realista; lo que se buscaba en este modelamiento era que la población chilena lograra acceder al trigo y a los derivados de este de una manera que no lastime sus bolsillos, ya que este alimento es fundamental para la dieta de la población del país. Como proyección a futuro, se espera que este modelo pueda ser complejizado con un modelo no lineal y parámetros más acertados y actualizados, para así poder encontrar una solución si es que en algún futuro es necesario volver a controlar el precio del trigo.

8. Referencias

1. N.A. (22 de junio de 2018). Los tres cereales que nos alimentan desde hace milenios. El País. Rescatado de: [Link](#)
2. Bearak, M. (7 de abril de 2022). Ukraine's wheat harvest, which feeds the world, can't leave the country. The Washington Post. Rescatado de: [Link](#)
3. Mesa de noticias de El Mostrador. (13 de mayo de 2022). Precio del trigo por las nubes: kilo de pan supera los \$2.000 en la RM. El Mostrador. Rescatado de: [Link](#)
4. Akiko F. (23 de agosto 2022). World food shortage going from 'bad to worse', UN official says. Yahoo! Finance. Rescatado de: [Link](#)
5. María T. (12 de marzo 2022). Trigo: El cereal más consumido en Chile, entre dos países en guerra. La Tercera. Rescatado de: [Link](#)
6. Ellen G. (2 de noviembre 2021). Global Climate Change Impact on Crops Expected Within 10 Years, NASA Study Finds. NASA's Earth Science News Team. Rescatado de: [Link](#)
7. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa). (mayo de 2022). Boletín de Cereales : Cereales: producción, precios y comercio exterior de trigo, maíz y arroz. Rescatado de: [Link](#)
8. Sin Autor. (2022). Transportes Zona SUR. Rescatado de [Link](#)
9. Sin Autor. (2022). BienesOnline. Rescatado de [Link](#)
10. CNN Chile. (16 de marzo 2022). Preocupación por alza de la harina. Rescatado de [Link](#)
11. EMB Negocios Globales.(Enero, 2011) Rescatado de [Link](#)
12. Bío Bío. (25 de abril de 2022). Precio del pan en Chile: por qué ha subido su valor. Rescatado de [Link](#)
13. Ministerio de Familia y Desarrollo Social. (Diciembre, 2019). Análisis de proyecciones de población INE período 2015-2035. Rescatado de [Link](#)
14. Diario Concepción. (21 de abril de 2022). Avanza iniciativa que busca frenar alza en el precio del pan y productos derivados del trigo. Rescatado de [Link](#)