



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

# Informe 2

---

Maximizar la cantidad de calorías presente en los platos preparados en colegios vulnerables de la región metropolitana en el periodo de un semestre

Grupo 18

Ignacio Neira, 20638795, sección 3  
Joaquín López, 20639678, sección 4  
Sebastián Castro, 20642083, sección 4  
William Aguilera, 20208162, sección 3

Fecha entrega: 09 de septiembre de 2022

## Índice

Descripción del problema	<b>3</b>
Contexto	3
Impacto	4
Objetivo del modelo	4
Modelación	<b>5</b>
Conjuntos	5
Parámetros	6
Variables	6
Restricciones	7
Función Objetivo	9
Referencias	10

## **Contexto**

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), planteó objetivos con el fin de alcanzar un mundo más sustentable, los que fueron llamados como objetivos de desarrollo sostenible, dentro de los cuales está el de “hambre cero”, el que apunta a eliminar la hambruna que se produce a nivel mundial (ONU, s.f.).

Con el objetivo de cumplir la meta propuesta por la ONU, en Chile se instauró una serie de beneficios relacionados con la alimentación de las personas, el cual se basa en un rango etario, con el fin de que cada uno consiga una ingesta de alimentos a lo largo del día.

Uno de los beneficios más importantes a los que pueden acceder los estudiantes de nivel pre-básica, básica, media y adultos es el Programa de Alimentación Escolar (PAE). Según el Registro Social de Hogares, los beneficiados por este programa son el 60% de las familias vulnerables o con mayor desventajas socioeconómicas (Galdames, 2022).

Sin embargo, actualmente se cuestiona si este programa es un real beneficio para la alimentación saludable. Pues, en el 2021 se inició un proceso de reformulación del programa PAE por parte del Departamento de Alimentación Escolar ya que este no tenía criterios pertinentes que hicieran posible cumplir los requerimientos nutricionales que necesitaban los beneficiarios con los presupuestos dados por el gobierno (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2021).

Además, en los últimos años ha ocurrido un alza en las personas que tienen un mayor peso corporal, en donde se consideran las personas que están sobrepeso, obesidad no mórbida y obesidad mórbida, el que llegó a un 75% de la población de la total de Chile (Ministerio de Salud, 2016-2017).

Debido a esto último se llegó a la propuesta para maximizar la cantidad de calorías presente en los platos preparados en colegios vulnerables de la región metropolitana en el periodo de un año, con el fin de optimizar el presupuesto entregado por el Estado al servicio Junaeb, alimentar a los estudiantes cumpliendo con ciertos estándares nutricionales, como por ejemplo, el mínimo de calorías y

aumentar la cantidad de comida considerando que la caloría sirve para medir cuanta comida es entregada a los estudiantes.

### **Impacto**

A partir de lo anterior, el impacto que tendría a nivel nacional, sería muy positivo porque por medio de un mismo presupuesto se lograría maximizar la ingesta de alimentos para los 3,6 millones de estudiantes beneficiarios del Programa de Alimentación Escolar (PAE), y permitir que el presupuesto actual pueda ser utilizado por un grupo mayor de usuarios, siempre que se cumplan con los requerimientos nutricionales (Libertad y Desarrollo, 2022).

Además, habrá un impacto a nivel ambiental, porque se logrará tener un mejor control de los desperdicios generados durante las preparaciones de las raciones alimentarias, ya que se cocinará una cantidad ideal de ración, lo que llevará a que se esté minimizando los residuos.

De la misma forma, el impacto también será a nivel individual, dado que al controlar los nutrientes, se espera que aumente la tendencia a tener una buena alimentación, lo que conlleva a una mejoraría en la calidad de vida de niños y niñas, supliendo sus necesidades nutricionales, las cuales son esenciales para su desarrollo y correcto desempeño escolar.

### **Objetivo del modelo**

Se desarrollará un modelo de optimización con el objetivo de maximizar las calorías presentes en los menús que son preparados en las escuelas de la región metropolitana adscritas al PAE. Esto se conseguirá mediante el cumplimiento de un mínimo de 1000 calorías por estudiante, de las cuales 350 cal son destinadas en el desayuno y 650 cal en el almuerzo, en el que se asegure el aporte nutricional de lípidos, hidratos de carbono y proteínas (BCN, 2016).

Además, se busca asegurar la variabilidad en la alimentación, es decir, los platos deben ser distintos durante los 5 días de la semana, con el fin de que no se produzca rechazo hacia alguno de los alimentos.

Además, se debe tener en cuenta que los recintos educacionales tienen capacidades de almacenamiento de alimentos y que se necesita de una gasto

adicional para mantener los alimentos, en donde se hace referencia a los gastos asociados a electricidad consumida por los equipos utilizados.

Por último, el modelo considera que el costo de la alimentación no debe superar el presupuesto actual de la PAE, por lo que, cada instituto presenta un presupuesto máximo a la semana, el cual puede variar entre institutos dependiendo de por ejemplo el menú que tengan o de la cantidad de estudiantes. Todo esto ya que el objetivo es maximizar la cantidad de alimento dentro de los márgenes económicos dispuestos por el estado.

### **Modelación**

A continuación se muestra la modelación de optimización de la problemática previamente descrita.

### **Conjuntos**

- $s \in \{1, \dots, S\}$ : Semana del año escolar
- $t \in \{1, \dots, 5\}$ : Días de la semana en los cuales se servirá el alimento, donde 1 es el día Lunes y 5 el día Viernes.
- $i \in \{1, \dots, I\}$ : Alimentos que ofrece la Junaeb al instituto (Pollo, Huevo, Arroz, etc...) (Ministerio de Educación, 2018)
- $j \in \{1, \dots, J\}$  : Colegios inscritos que sirven comida Junaeb. (Galdames, 2022; Libertad y Desarrollo, 2022)

### **Parámetros**

- $p_s$ : Presupuesto entregado por Estado en semana  $s \in \{1, \dots, S\}$  para todos los institutos
- $cg_i$ : Costo por 1 gramo del alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$ .
- $cc$ : Costo fijo de almacenamiento por guardar comida por una semana
- $mca / MCA$ : Mín/Máx de calorías promedio que deben consumir las personas.
- $qca_i$ : Cantidad de calorías que aporta el alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$  por 1 gramo.
- $qc_j$ : Cantidad máxima de gramos que puede almacenar el instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$  por semana.
- $qp_j$ : Cantidad de estudiantes en el instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$

- $\alpha$ : Costo fijo por servir y cocinar un tipo de alimento.
- $M$ : Número suficientemente grande.

### Variables

- $L_{js}$ : Presupuesto destinado al colegio  $j \in \{1, \dots, J\}$  para la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$ .
- $QS_{ijtjs}$ : Cantidad total de gramos del alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$  a servir en el día  $t \in \{1, \dots, 5\}$  en el instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$  para la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$ .
- $QA_{ijs}$ : Cantidad de gramos del alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$  que se almacena en el instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$  al final de la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$ .
- $QN_{ijs}$ : Cantidad de gramos del alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$  que se destina al instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$  en la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$ .
- $Y_{ijtjs}$ : 1 sí y sólo sí alimento  $i \in \{1, \dots, I\}$  se utiliza en el día  $t \in \{1, \dots, 5\}$  para cada instituto  $j \in \{1, \dots, J\}$  en la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$ ; 0 e.o.c.
- $Z_{sj}$ : 1 sí y sólo sí se guarda cualquier alimento de la semana  $s \in \{1, \dots, S\}$  a la siguiente en el colegio  $j \in \{1, \dots, J\}$ ; 0 e.o.c.

### Restricciones

1. Si el ingrediente está presente en el plato

$$Y_{ijtjs} \leq QS_{ijtjs}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

2. No superar el presupuesto por semana de cada colegio

$$\sum_{i=1}^I \left( \sum_{t=1}^5 (Y_{ijtjs} \alpha + cg_i * QS_{ijtjs}) + cc * Z_{sj} \right) \leq L_{js} \quad \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

3. No superar el presupuesto semanal que la Junaeb entrega a todos los colegios

$$\sum_{j=1}^J L_{js} \leq p \quad \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

4. Variación de menú cada día. No se puede repetir un alimento más de dos veces dentro de la semana

$$\sum_{t=1}^5 Y_{ijtjs} \leq 2 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

5. Variación de menú cada semana. No se puede repetir un alimento más de cuatro veces entre dos semanas adyacentes

$$\sum_{t=1}^5 Y_{ijtjs} + \sum_{t=1}^5 Y_{ijtjs-1} \leq 4 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{2, \dots, S\}$$

6. Variación del orden en el menú en las semanas. No se puede repetir el mismo alimento en el mismo día en tres semanas adyacentes

$$Y_{ijtjs} + Y_{ijtjs-1} + Y_{ijtjs-2} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, 137\}, \forall j \in \{1, \dots, 9.931\}$$

$$\forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall s \in \{3, \dots, S\}$$

7. Calorías mínimas y máximas que se puede consumir en un día por edad

$$mca \leq \sum_{i=1}^I (QS_{ijtjs} * qca_i) \leq MCA \quad \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

8. Cinco o más alimentos en cada comida de cada dieta por día

$$\sum_{i=1}^I Y_{ijtjs} \geq 5 \quad \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

9. Definición de  $Z_{sj}$

$$QA_{ijs} \leq M * Z_{sj} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

10. No se puede superar la capacidad de alimentos almacenados en cada institución

$$\sum_{i=1}^{137} QA_{ijs} \leq qc \quad \forall s \in \{1, \dots, S\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

11. Ecuación de flujo de alimentos almacenados

$$QA_{ijs-1} + QN_{ijs} - \sum_{t=1}^5 QS_{itjs} = QA_{ijs} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{2, \dots, S\}$$

12. Ecuación de flujo de alimentos almacenados en la primera semana

$$QN_{ijs} = QA_{ijs} + \sum_{t=1}^5 QS_{itjs} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1\}$$

13. Definición de  $\mu$

$$\mu \leq \sum_{i=i}^I QS_{itjs} * qca_i \quad \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

14. Naturaleza de las variables

$$L_{js} \in \mathbb{Z}_0^+ \quad \forall s \in \{1, \dots, S\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

$$QA_{ijs}, QS_{itjs}, QN_{ijs} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}, \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall i \in \{1, \dots, I\}$$

$$Y_{itjs} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\}, \forall t \in \{1, \dots, 5\}, \forall s \in \{1, \dots, S\}$$

### Función Objetivo

Se busca maximizar  $\mu$ , que es la cota mínima que tiene el total de calorías servidas por día, es decir, que la mínima cantidad de calorías sea la máxima para todos los estudiantes en un día en cualquier instituto.

$$\max \mu$$



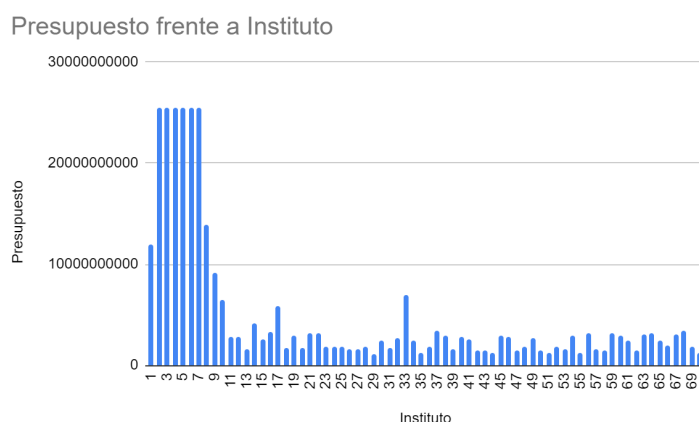
## Definición de datos

- $p_s$ : Corresponde al presupuesto correspondiente al año 2021, específicamente las transferencias realizadas para el programa Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas relacionadas, el que es de 544 mil millones de pesos (BCN, 2021).
- $cg_i$ : Corresponden a los costos de todos los alimentos, los cuales son basados en los precios observados en supermercados y otras tiendas similares, pero calculando en base a 1 gramo del producto.
- $cc$ : Se tendrá en cuenta el costo del kWh según el plan BT1 (consumo domiciliario) y el consumo eléctrico de un refrigerador corriente A+ (Enel).
- $mca / MCA$ : Para el mínimo de calorías, la diferencia entre requerimientos masculinos y femeninos se considera irrelevante para este modelo considerando que dividir por sexo podría ser complicado a la hora de entregar alimentos en el establecimiento (Reviriego, 2021).
- $qca_i$ : Las calorías están calculadas a partir de los macronutrientes de los alimentos, por lo que pueden variar dependiendo del alimento pero aun así se considera una aproximación funcional para el modelo (Zanin, 2022).
- $qc_j$ : Se realizará el supuesto que todos establecimientos tienen la misma capacidad de almacenamiento según un refrigerador que puede almacenar en base a gramos en vez de volumen para simplificar los cálculos.
- $qp_j$ : Se considera que la cantidad de estudiantes en cada colegio será aleatoria de manera uniforme para poder analizar el modelo desde un punto de vista que servirá con cualquier número de estudiantes y de cualquier dieta.
- $\alpha$ : Se tendrá en cuenta el valor del gas GLP y lo que gasta una cocina promedio para suponer el gasto que tendrían los alimentos para ser cocinados y preparados en el tiempo de una hora (ENAP, 2022)

## Resolver el problema usando software apropiado

Mediante la realización del código con el lenguaje de python se llegó a que la función objetivo llega a la solución óptima de  $\mu = 1608$  kcal, lo que corresponde a la cota inferior en la cantidad de calorías entregadas en un colegio a los

estudiantes. Además, se permite conocer cuales son los menús ideales de los colegios con el fin de que cumplan con las calorías óptimas para su crecimiento y desarrollo, como también permite comprender cuánto es el costo de los alimentos que se usan en los menús realizados, es decir, cual es el presupuesto que están gastando para la formación de los menús alimenticios.



## Validación de resultados

La solución encontrada es factible, dado que desde un análisis observable la cantidad entregada de calorías está entre el mínimo y máximo de calorías recomendado para los estudiantes. También se puede observar que el gasto está dentro del presupuesto y que existe variación en los tipos de alimentos entregados. La solución encontrada es óptima dado que siempre se llega a que el mínimo de calorías entregada a cada alumno está en el límite máximo de calorías que se puede entregar

Considerando que la JUNAEB actualmente entrega un mínimo de 1000 cal por día, con nuestro modelo podemos llegar hasta un máximo de 1608 cal en los menús y a la vez promover una variedad en la alimentación y se mantienen los límites en los presupuestos, como el máximo para calorías por estudiante. Mediante el modelo se puede comprobar cuanto seria el aumento de los beneficiarios en los colegios o también cuanto seria el ahorro que puede conseguir al formular los menús.

## Referencias

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). ( 2016, 19 de abril). Descripción del modelo de licitación de la JUNAEB  
<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCIENTO&prmID=14130>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2021). Asignación presupuestaria de la Junta Nacional de Auxilio  
[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32155/1/BCN\\_JUNAEB\\_final.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32155/1/BCN_JUNAEB_final.pdf)

ENAP. (2022). Recuperado el 15 de octubre de 2022, de  
[https://www.enap.cl/pag/66/1295/tabla\\_de\\_precios\\_de\\_paridad](https://www.enap.cl/pag/66/1295/tabla_de_precios_de_paridad)

Enel. *Consumo Artefactos Eléctricos*. (s/f). Recuperado el 15 de octubre de 2022, de  
<https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/consumo-artefactos-electricos.html>

Galdames, C. (2022, abril 11). ¿Qué come tu hijo en el colegio? Así puedes revisar la minuta Junaeb. *MEGANOTICIAS*.  
<https://www.meganoticias.cl/dato-util/373572-minuta-junaeb-menu-colegio-a-lmuerzo-2022-11-04-2022.html>

Ministerio de Salud. (2018). Informe Encuesta Nacional de Salud 2016-2017: Estado Nutricional. Santiago de Chile, 42p. Disponible en:  
<https://goo.gl/oe2iVt>

Michael C. Latham.(2002). NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29.  
<https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s1a.htm>

*Libertad y Desarrollo*. (2022, 28 febrero). INICIO AÑO ESCOLAR 2022: PRINCIPALES CIFRAS. Recuperado 9 de septiembre de 2022, de [https://lyd.org/centro-de-prensa/noticias/2022/02/inicio-ano-escolar-2022-principales-cifras/#:%7E:text=Establecimientos%20y%20estudiantes%3A,\(el%20resto%20son%20adultos\)](https://lyd.org/centro-de-prensa/noticias/2022/02/inicio-ano-escolar-2022-principales-cifras/#:%7E:text=Establecimientos%20y%20estudiantes%3A,(el%20resto%20son%20adultos).).

Ministerio de Educación. (2018, 12 de junio). Manual de fichas técnicas de materia prima y productos de programa de alimentación escolar y párvulos JUNAEB-JUNJI-INTEGRA. JUNAEB. <https://www.junaeb.cl/wp-content/uploads/2013/02/MANUAL-FICHAS-T%C3%89CNICAS-REV-11.pdf>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2021). *Informe de Detalle de Programas Sociales: Evaluación Ex Ante - Proceso Formulación Presupuestaria 2021: Programa de Alimentación Escolar*. [http://www.dipres.gob.cl/597/articles-212472\\_doc\\_pdf1.pdf](http://www.dipres.gob.cl/597/articles-212472_doc_pdf1.pdf)

ONU. *Objetivo 2: Poner fin al hambre*. OBJETIVOS DE DESARROLLO SUSTENTABLE. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>

Reviriego, C. (2021, julio 1). *Calorías adecuadas para niños por edades*. Guiainfantil.com. <https://www.guiainfantil.com/articulos/alimentacion/ninos/calorias-ade cuadas-para-ninos-por-edades/>

Zanin, T. (2022, agosto 2). *Cómo calcular las calorías de los alimentos*. Tua Saúde. <https://www.tuasaude.com/es/calorias-de-los-alimentos/>

<https://alimentacionsaludable.ins.gob.pe/adultos/cantidades-por-dia>

+

<https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s1a.htm>

<https://www.fundacioncadah.org/web/articulo/necesidades-nutricionales-segun-edad-des-.html>