

---

# PLANIFICACIÓN DEL MENÚ SEMANAL DE COLACIONES DE UN HOSPITAL DE ARGENTINA POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

---

SEBASTIÁN GUALA\*  
JAVIER MARENCO\*

## Resumen

La programación de colaciones en centros de salud siempre ha sido un área compleja que involucra varios factores: estándares alimentarios, variedad, costos y aspectos culturales. En este trabajo presentamos el desarrollo de un modelo de programación entera para la planificación de un menú semanal de colaciones para un hospital de Argentina. En este contexto, la programación del menú contempla los almuerzos y las cenas, y cada colación se compone de entrada, plato de fondo más acompañamiento y postre. El objetivo de la planificación es proponer un menú semanal que minimice los costos respetando las exigencias de variedad de platos que se ajusten al gusto local. Dentro del marco de los estándares alimentarios se plantearon dos escenarios: uno restringido a los estándares recomendados por organismos internacionales y otro más cercano a las características culturales de los pacientes. Los resultados muestran mejoras de un 21 % a un 25 % comparados con los costos obtenidos por los métodos manuales utilizados actualmente.

**PALABRAS CLAVE:** Problema de la Dieta, Programación Lineal Entera

---

\* Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, Argentina.

---

## 1. Introducción

---

La alimentación en centros de salud es un área compleja y delicada por sus implicancias en los tiempos de recuperación de los pacientes y en el bienestar tanto de pacientes como del personal médico y administrativo [1]. En este contexto, es necesaria una correcta programación de los menús y planes de alimentación, que garantice una dieta equilibrada y con un impacto positivo en la salud de los pacientes. Determinar el menú semanal o mensual que debe ser elaborado implica una tarea compleja debido al gran número de variables que deben ser tenidas en cuenta, entre las cuales se encuentran los requerimientos nutricionales máximos y mínimos recomendados (hidratos de carbono, proteínas, grasas, colesterol, calcio, hierro, etc.), las influencias culturales en las características gastronómicas de los platos e ingredientes utilizados (tipos y preparaciones “culturalmente aceptadas” por los pacientes), la variedad de platos en lo referente a ingredientes y presentación, y los costos del menú.

Existen destacados trabajos relacionados con estos aspectos, en los que se desarrollan modelos de planificación alimentaria que satisfacen los requerimientos nutricionales diarios al menor costo [1, 2, 3, 4, 10, 13]. Sin embargo, la planificación propuesta en estos modelos es realizada al nivel de los ingredientes disponibles, sin considerar platos y preparados. En otras palabras, combinando alimentos en general tales como leche, cereales, carnes, verduras, etc. obtienen una propuesta que satisface los requerimientos diarios, pero sin considerar las formas en que esos alimentos son combinados o presentados al paciente. En consecuencia, no se obtiene en estos trabajos una propuesta gastronómica factible, sino que se obtiene una cota inferior ideal sin contemplar las preferencias del paciente.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de programación entera que permita programar menús semanales de almuerzos y cenas donde se indiquen los platos preparados dentro de un conjunto de platos propuestos, de acuerdo al tipo y cantidad de cada ingrediente y sus cualidades nutricionales. El modelo es aplicable a servicios de alimentación en general, pero este desarrollo fue motivado a propuesta de los requerimientos específicos de un hospital de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta programación debe tener en cuenta los estándares alimentarios establecidos y demás consideraciones culturales y de variedad minimizando los costos del menú. Con este modelo se pretende optimizar el costo semanal de alimentación del personal y de los pacientes internados que no tengan restricciones alimentarias (como los pacientes

diabéticos, cardíacos y celíacos, entre otros, que reciben dietas especiales).

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se define el problema, los tipos de platos que componen cada colación y una descripción general de las restricciones que deben incluirse en el modelo. En la Sección 3 se formula el modelo de programación entera. La Sección 4 presenta las características de la implementación del modelo y se muestran los resultados obtenidos según se sigan las recomendaciones de organizaciones internacionales o se flexibilicen levemente ciertos parámetros nutricionales para adaptarse cuantitativamente al gusto local. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones del trabajo.

---

## 2. Definición del problema

---

Se deben planificar las combinaciones de platos a incluir en el almuerzo y la cena durante un período de 7 días. Tanto los funcionarios del hospital (médicos, enfermeros y personal administrativo) como los pacientes internados que no requieren una dieta especial reciben el mismo menú para el almuerzo y la cena. Salvo los pacientes, los turnos laborales hacen que los funcionarios que almuerzan no sean los mismos que los que cenan en el hospital. Ambas colaciones deben estar compuestas por una serie de platos ordenados en “entrada”, “plato de fondo”, “acompañamiento” y “postre”. El plato de fondo y el acompañamiento pueden ser reemplazados por un solo plato que no lleve acompañamiento (por ejemplo, pastas) y que a los efectos de este trabajo llamaremos “plato contundente”. El menú se genera sobre la base de un listado de platos prefijados –acompañados por los datos de ingredientes necesarios, sus cantidades y costo– y cada ingrediente a su vez está acompañado por su información nutricional. Cada plato pertenece a sólo uno de los tipos posibles.

La planificación debe respetar las siguientes restricciones:

- Cada colación debe estar compuesta por exactamente una entrada, un plato de fondo con acompañamiento y un postre. Se puede reemplazar el plato de fondo y el acompañamiento por un solo plato contundente.
- La entrada, acompañamiento y postre pueden aparecer en el menú semanal a lo más dos veces y, si aparecen dos veces, deben pasar a lo menos dos colaciones entre la primera y la segunda aparición del mismo plato. Esto evita que dentro de la estadía media de internación un paciente repita estos platos. A su vez, dado que el personal no es el mismo en el almuerzo que en la cena, cada turno no repetiría estos platos antes de dos días.

- No se pueden repetir platos de fondo ni platos contundentes dentro de las 14 colaciones planificadas. Esta condición fuerza una mayor variedad de platos, priorizando la variedad de platos de fondo y platos contundentes por sobre los demás (que pueden aparecer hasta dos veces).
- El aporte nutricional total de los platos servidos por día debe encontrarse dentro de los valores diarios máximos y mínimos recomendados. Al no considerar el desayuno y la once, a los requerimientos nutricionales diarios recomendados se les descuentan los valores típicos aportados por el desayuno y la once.

En lo respectivo a la variedad de platos y exigencias nutricionales, estas restricciones en principio son suficientes para obtener un menú acorde con los estándares nutricionales. Sin embargo, los funcionarios del hospital a cargo de la planificación del menú solicitaron ciertas exigencias cualitativas asociadas a una cultura de alimentación saludable en general, que exceden el mero cumplimiento de valores nutricionales:

- A lo menos uno de los dos postres de cada día debe ser una fruta o contener frutas frescas.
- A lo más un plato al día debe estar compuesto por pastas, arroz o polenta. Estos platos se encuentran dentro de la categoría “contundente” puesto que no llevan acompañamiento. Adicionalmente, si se sirve uno de estos platos contundentes en una de las colaciones, la entrada debe ser a base de verduras.

Finalmente, existe otro grupo de condiciones que fueron establecidas para satisfacer las costumbres gastronómicas locales. Se consideraron dos escenarios, según el menú se ajuste estrictamente a los valores nutricionales máximos y mínimos diarios recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [5, 6, 14] y otras organizaciones de referencia internacional [7, 8, 9] o a una versión más “tradicional” que permita que los valores máximos de ciertos parámetros nutricionales puedan ser moderadamente excedidos y que determinados platos sean evitados, con el fin de adaptarse al gusto local. Las proteínas y el colesterol, asociados principalmente al consumo de carne están entre los parámetros excedidos, mientras que el pescado forma parte de los platos evitados:

- No se sirve pescado en el almuerzo y a lo más un plato con pescado en la cena. Esto obedece a la poca cultura gastronómica basada en pescados y mariscos en la región pampeana de Argentina y especialmente en la Provincia de Buenos Aires, donde se aplicó el modelo. Particularmente

se evitó el pescado en el almuerzo debido a las repetidas quejas de los funcionarios del turno diurno.

- En el almuerzo debe haber un plato con no menos de 100 gramos de carne de ave, ovina, bovina o porcina (excluido pescado), y en la cena a lo más un plato con 40 o más gramos de carne (incluido pescado entre las posibilidades). Esto obligó a que se incrementaran los límites máximos recomendados de consumo diario de proteínas y de colesterol dentro de valores considerados seguros, dado que la incorporación de esta condición podría llevar a que no hubiera soluciones factibles para las recomendaciones de la OMS, que sugiere que el consumo diario de carnes debe estar alrededor de 80 gramos.

En resumen, las restricciones impuestas a la planificación se dividen en tres grupos: el primero es el grupo básico que caracteriza el tipo de servicio y los parámetros nutricionales internacionalmente recomendados, el segundo grupo aporta buenas prácticas alimentarias generales no contempladas explícitamente en los parámetros nutricionales y el tercero ajusta el menú resultante a la gastronomía local. A partir de la omisión o aplicación de este tercer grupo de restricciones se generan dos propuestas alternativas: una propuesta considerara un menú estrictamente ajustado a las recomendaciones de la OMS y otra propuesta refleja un menú más cercano al consumo tradicional de la región, lo que implica algunas “licencias” alimentarias.

Vale aclarar que el conjunto total de platos disponibles para confeccionar el menú ya puede interpretarse como parte de una cultura gastronómica local, lo que significa que cualquier combinación de estos platos dará como resultado un menú socialmente aceptable desde el punto de vista cualitativo. Sin embargo, desde el punto de vista de la *etno-gastronomía*, el último grupo de condiciones le da una perspectiva localista al consumo de proteínas de origen animal.

---

### 3. Desarrollo del modelo

---

Presentamos en esta sección un modelo de programación lineal entera para el problema descrito en la sección anterior. Como parte de la definición se explicitará el manejo que se realiza de los datos de ingredientes, grupos de ingredientes y aportes nutricionales, que se describió en términos cualitativos en la sección anterior. Llamamos *ingredientes* a los elementos que el hospital debe comprar para preparar los distintos platos (por ejemplo, algunos ingredientes son manzanas, leche, tomates, carne de vaca, etc.). Cada ingrediente realiza un aporte de distintos *atributos nutricionales* (especificados en el Cuadro 1).

Atributo ( $t$ )	$\min_t$	$\max_t$ (OMS)	$\max_t$ (local)
Hidratos de Carbono (g)	200	400	400
Proteínas (g)	30	70	80
Grasas (g)	30	70	70
Calorías (Kcal)	1000	2500	2500
Sodio (mg)	300	2000	2000
Colesterol (mg)	0	300	400
Hierro (mg)	2	N/A	N/A
Calcio (mg)	400	N/A	N/A
Fibra (g)	7	N/A	N/A
Fósforo (mg)	300	N/A	N/A
Potasio (mg)	1000	N/A	N/A

Tabla 1: Listado de atributos nutricionales, con sus requerimientos diarios mínimos y máximos para ambos escenarios. Las entradas “N/A” indican que en una dieta regular no hay riesgos asociados a un consumo excesivo (siempre dentro de valores razonables).

Los ingredientes se combinan entre sí para formar *platos* (por ejemplo, carne al horno, pollo al verdeo, tallarines con crema, etc.).

Para la formulación del modelo, contemplamos los siguientes conjuntos:

- $I$ : conjunto de *ingredientes*. Utilizamos habitualmente el índice  $k \in I$  para referirnos a los ingredientes, y asumimos que este conjunto está particionado en  $I = \text{Verdura} \cup \text{Fruta} \cup \text{Carne} \cup \text{Pescado} \cup \text{Pollo} \cup \text{Harinas} \cup \text{Otros}$ .
- $P$ : conjunto de *platos disponibles*. Utilizamos habitualmente el índice  $i \in P$  para referirnos a los platos, y asumimos que este conjunto está particionado en  $P = \text{Entrada} \cup \text{PFondo} \cup \text{Acomp} \cup \text{Cont} \cup \text{Post}$ , del siguiente modo:
  1. Entrada: Entradas,
  2. PFondo: Platos de fondo que llevan acompañamiento,
  3. Acomp: Acompañamientos,
  4. Cont: Platos contundentes (platos de fondo que no llevan acompañamiento),
  5. Post: Postres.
- $J = \{1, \dots, 2n\}$ : conjunto de *colaciones* a lo largo de los  $n$  días del horizonte de planificación. Para  $d = 1, \dots, n$ , el almuerzo del  $d$ -ésimo

día es la colación  $2d - 1$ , y la cena del  $d$ -ésimo día es la colación  $2d$ . Utilizamos habitualmente el índice  $j \in J$  para referirnos a las colaciones. De acuerdo con esta definición, los almuerzos tienen índice impar y las cenas tienen índice par.

- $T$ : conjunto de *atributos nutricionales* dado por el Cuadro 1. Utilizamos habitualmente el índice  $t \in T$  para referirnos a los elementos de este conjunto.

Además, asumimos como datos de entrada los dados por los siguientes parámetros:

- $bp_k$ : Cantidad base para el cálculo proporcional de los atributos del ingrediente  $k$ , prácticamente todos los ingredientes tienen  $bp_k = 100$  gramos.
- $prop_{kt}$ : Cantidad del atributo  $t$  (en gramos o miligramos) por cada  $bp_k$  unidades del ingrediente  $k$ .
- $min_t$ : Consumo mínimo diario recomendado del atributo  $t$  (expresado en las unidades correspondientes).
- $max_t$ : Consumo máximo diario recomendado del atributo  $t$  (expresado en las unidades correspondientes).
- $precio_k$ : Precio unitario del ingrediente  $k$  (expresado en pesos por kilogramo).
- $bruto_{ik}$ : Peso bruto comprado del ingrediente  $k$  destinado a cada plato  $i$  (expresado en gramos). Esta cantidad representa cuánto lleva el plato con el ingrediente tal y como se compra: con cáscaras, semillas, piel o huesos dependiendo del ingrediente, que debe quitarse para cocinar pero que forma parte del peso total y, por lo tanto, del costo del plato
- $neto_{ik}$ : Peso neto utilizado del ingrediente  $k$  en cada plato  $i$  (expresado en gramos). Esta cantidad representa el peso del ingrediente que efectivamente se sirve en el plato y por lo tanto es la fracción que debe ser considerada para el cálculo nutricional.

Para cada plato  $i \in P$  y cada colación  $j \in J$ , introducimos la variable binaria  $x_{ij}$ , de modo tal que  $x_{ij} = 1$  si el plato  $i$  se sirve en la colación  $j$ , y  $x_{ij} = 0$  en caso contrario. Con estas definiciones, el modelo se puede formular del siguiente modo:

1. La función objetivo solicita minimizar el costo total:

$$\text{mín} \sum_{i \in P} \sum_{j \in J} x_{ij} \left( \sum_{k \in I} \text{precio}_k \text{bruto}_{ik} / 10^3 \right).$$

2. Exactamente una entrada por colación:

$$\sum_{i \in \text{Entrada}} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J.$$

3. O bien un plato contundente o bien un plato de fondo y acompañamiento por colación:

$$\sum_{i \in \text{Cont}} 2x_{ij} + \sum_{i \in \text{PFondo}} x_{ij} + \sum_{i \in \text{Acomp}} x_{ij} = 2, \quad \forall j \in J.$$

4. A lo más un plato de fondo por colación:

$$\sum_{i \in \text{PFondo}} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J.$$

5. A lo más un acompañamiento por colación:

$$\sum_{i \in \text{Acomp}} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J.$$

6. Exactamente un postre por colación:

$$\sum_{i \in \text{Post}} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J.$$

7. No se pueden repetir platos de fondo ni platos contundentes:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in \text{PFondo} \cup \text{Cont}.$$

8. Los postres, entradas y acompañamientos se repiten a lo más dos veces durante las  $2n$  colaciones:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq 2, \quad \forall i \in \text{Entrada} \cup \text{Acomp} \cup \text{Post}.$$

9. Los postres, entradas y acompañamientos no se repiten en una ventana de tres colaciones:

$$x_{ij} + x_{i,j+1} + x_{i,j+2} \leq 1, \quad \forall j \in J, j < 2n-1, i \in \text{Entrada} \cup \text{Acomp} \cup \text{Post}.$$

10. Se deben respetar los consumos mínimos y máximos de cada atributo nutricional:

$$\min_t \leq \sum_{i \in P} (x_{ij} + x_{ij+1}) \left( \sum_{k \in T} \frac{\text{prop}_{kt} \text{neto}_{ik}}{\text{bp}_k} \right) \leq \max_t,$$

$$\forall t \in T, j \in J, j \text{ impar.}$$

11. Se debe tener exactamente un plato con carne en el almuerzo. Definimos el conjunto  $C$  de los *platos con carne* como los platos cuyos ingredientes de carne aportan al menos 100 gramos al total, es decir  $CA = \{i \in P : \sum_{k \in \text{Carne} \cup \text{Pollo}} \text{neto}_{ik} \geq 100\}$ . Es importante observar que el conjunto Carne incluye platos con carne ovina, bovina y porcina. Esta es la restricción más significativa de las impuestas para que el menú se adapte al consumo local de carnes, lo que obligó a elevar el margen superior del consumo de proteínas y colesterol, aunque manteniéndose dentro de parámetros de seguridad:

$$\sum_{i \in CA} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, j \text{ impar.}$$

12. Se debe tener a lo sumo un plato con carne en la cena. En este caso, alcanza con que los ingredientes aporten 40 gramos o más de carne para que un plato ingrese a esta categoría, y definimos el conjunto  $CN = \{i \in P : \sum_{k \in \text{Carne} \cup \text{Pollo} \cup \text{Pescado}} \text{neto}_{ik} \geq 40\}$ :

$$\sum_{i \in CN} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J, j \text{ par.}$$

13. No se debe incluir pescado en el almuerzo. Para esto, definimos el conjunto  $PP$  de los platos con pescado como  $PP = \{i \in P : \sum_{k \in \text{Pescado}} \text{neto}_{ik} > 0\}$ :

$$\sum_{i \in PP} x_{ij} = 0, \quad \forall j \in J, j \text{ impar.}$$

14. A lo más un plato de pescado en cada cena:

$$\sum_{i \in PP} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J, j \text{ par.}$$

15. No puede haber solamente verdura en la cena. Definimos el conjunto de platos que no tienen exclusivamente verdura como  $PV = \{i \in P \setminus \text{Post} : \sum_{k \notin \text{Verdura}} \text{neto}_{ik} > 0\}$ :

$$\sum_{i \in PV} x_{ij} \geq 1, \quad \forall j \in J, j \text{ par.}$$

16. No puede haber pastas ni polenta ni arroz sin verduras (al menos 50 gramos en la entrada). Para esto, definimos el conjunto  $EV$  de entradas con verdura como  $EV = \{i \in \text{Entrada} : \sum_{k \in \text{Verdura}} \text{neto}_{ik} > 50\}$ , y definimos el conjunto  $CH$  de platos contundentes con harina como  $CH = \{i \in \text{Cont} : \sum_{k \in \text{Harinas}} \text{neto}_{ik} > 0\}$ :

$$\sum_{i \in EV} x_{ij} \geq \sum_{i \in CH} x_{ij}, \quad \forall j \in J, j \text{ par.}$$

17. A lo más un plato con pasta, polenta o arroz (igual o más de 20 gramos de harinas) por colación. Definimos el conjunto  $PH$  de platos con harina como  $PH = \{i \in P : \sum_{k \in \text{Harinas}} \text{neto}_{ik} \geq 20\}$ :

$$\sum_{i \in PH} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J.$$

18. No menos de una fruta por día de postre. Definimos el conjunto  $PF$  de postres con fruta como  $PF = \{i \in \text{Post} : \sum_{k \in \text{Fruta}} \text{neto}_{ik} > 0\}$ :

$$\sum_{i \in PF} x_{ij} + x_{i,j+1} \geq 1, \quad \forall j \in J, j \text{ impar.}$$

19. Naturaleza de las variables:

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in P, j \in J.$$

---

## 4. Resultados

---

En esta sección se presenta un resumen de los resultados obtenidos para el caso de los dos escenarios de menú planteados (siguiendo los requerimientos de la OMS y siguiendo un criterio más localista) y una comparación con la situación actual. Para tener en cuenta exclusivamente los requerimientos de la OMS, se eliminan las restricciones (12) a (16). Para la ejecución se utilizó un total de 63 platos clasificados en 13 entradas, 10 platos de fondo, 9 acompañamientos, 14 platos contundentes y 17 postres. A su vez, los platos están compuestos por un total de 75 ingredientes clasificados por tipo y clase. Todos los datos utilizados fueron aportados por el personal encargado del servicio de colaciones del hospital.

Para estos datos, el modelo de programación lineal entera está compuesto por 882 variables binarias y 838 restricciones (incluyendo las restricciones localistas). El modelo se codificó en el lenguaje de modelado ZIMPL [11] y se resuelve por medio del paquete SCIP 3.0.0 [12]. A modo ilustrativo, la resolución de este modelo en un computador con procesador Intel Core 2 Duo con procesadores de 2 GHz y 4 GB de memoria RAM finaliza luego de 3 minutos con un 8% de gap de optimalidad, valores que son aceptables para los usuarios. Se implementó una aplicación en Java para el manejo de los datos, la resolución del modelo y la visualización adecuada de los resultados (ver Figura 1), con la intención de que esta herramienta pueda ser utilizada por personal no especializado en investigación de operaciones. Se utiliza tecnología Java para la interfaz y SCIP para la resolución del modelo dado que se espera distribuir la aplicación en distintos hospitales, y no es factible utilizar software comercial que involucre licencias de alto costo en estas instalaciones.

El Cuadro 2 contiene el menú obtenido a partir de los platos disponibles y de los costos y atributos nutricionales de sus ingredientes, ajustado a las recomendaciones alimentarias diarias de la OMS. Como se mencionó, este menú no es una formulación “abstracta” dado que el hecho de planificar a partir de una lista de platos preestablecidos ya implica una primera adaptación al gusto local dado por la disponibilidad de los ingredientes utilizados y por la forma de preparar los platos.

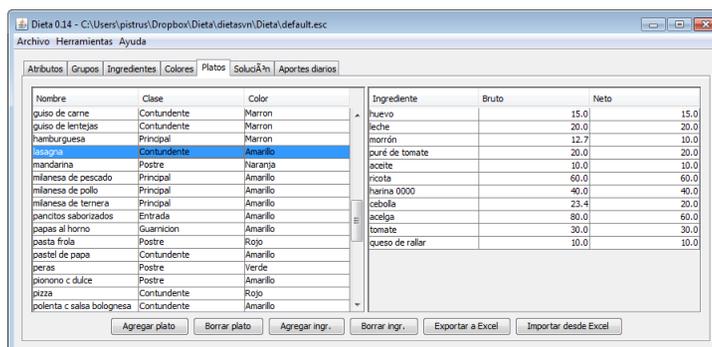


Figura 1: Interfaz principal de la aplicación computacional implementada para manejar los datos y visualizar los resultados.

Día	Almuerzo	Cena
1	sopa de verdura tallarines con salsa de pollo pionono con dulce	empanada de verdura milanesa de ternera ensalada jardinera compota de manzana
2	salchichas envueltas hamburguesa papas al horno mandarina	ensalada primavera pizza gelatina bicolor
3	croquetas de arroz pollo a la portuguesa puré de papa compota de manzana	sopa de verdura tallarines con crema de verdeo flan con vainillas
4	empanada de verdura arroz con pollo pionono con dulce	budín de anco fuccile con salsa de pollo duraznos
5	revuelto de zapallitos tallarines con salsa bolognesa vigilante	salchichas envueltas tarta de pollo ensalada jardinera gelatina con frutas
6	pancitos saborizados pollo al verdeo papas al horno mandarina	budín de anco lasagna vigilante
7	ensalada primavera polenta con salsa bolognesa duraznos con crema	pancitos saborizados milanesa de pollo puré de papa flan

Tabla 2: Planificación de menús obtenida por el modelo respetando los estándares nutricionales solicitados por la OMS.

Día	1	2	3	4	5	6	7
Costo	11.16	9.32	9.11	9.04	9.54	10.16	9.92
Hidratos	206.48	201.52	201.03	209.77	226.20	200.52	202.45
Proteínas	62.30	48.66	41.98	56.1	50.26	51.14	57.71
Grasas	33.75	44.30	32.05	30.75	47.35	35.84	30.69
Calorías	1379.35	1399.45	1260.45	1340.75	1532.00	1329.16	1316.81
Sodio	594.78	751.68	335.55	555.83	787.50	436.13	474.13
Colesterol	288.00	292.30	299.30	284.0	295.30	294.20	298.80
Hierro	15.24	11.92	23.60	13.89	9.98	9.69	11.15
Calcio	430.00	538.64	451.25	405.2	426.64	515.49	479.79
Fibra	19.67	13.93	19.19	18.44	15.88	16.38	17.31
Fósforo	934.68	747.74	772.60	761.13	950.96	951.89	957.64
Potasio	2701.05	2098.05	2405.20	1924.6	2220.15	2373.53	2799.68

Tabla 3: Aportes nutricionales diarios de la solución del Cuadro 2.

El Cuadro 3 muestra los aportes diarios del menú propuesto en el Cuadro 2. Se puede ver que se ha obtenido una combinación de platos que logra un balance nutricional satisfactorio ya que mantienen un aporte equilibrado que, en general, no va de un extremo al otro de los rangos de recomendaciones nutricionales. Este hecho era uno de los puntos a evaluar debido a que los modelos previos citados en las referencias resuelven problemas con variables continuas asociadas con los ingredientes, teniendo más flexibilidad para el cumplimiento de las restricciones nutricionales (aunque –como se mencionó– con el inconveniente de no generar menús atractivos).

De igual manera, el Cuadro 4 y el Cuadro 5 muestran el menú obtenido y sus aportes diarios ajustados a las costumbres locales, respectivamente. Este menú evidencia el aumento efectivo de platos con alto contenido de carnes, lo que se refleja en el mayor nivel de proteínas y colesterol diarios consumidos en comparación con el Cuadro 3. Sin embargo, el mayor consumo de proteínas de origen animal y de colesterol se mantiene dentro de niveles considerados seguros para adultos que no tengan prescripciones alimentarias específicas. El criterio de consumo que es considerado seguro se valora a partir de la apreciación de los especialistas puesto que no hay valores exactos sino que se basan en las experiencias de la especialidad.

Desde el punto de vista de los costos, el Cuadro 6 muestra el mejor uso de los recursos mediante la planificación del menú con las herramientas propuestas en este trabajo en comparación con la planificación manual. Como era de esperar, la versión con las recomendaciones de la OMS logra menores costos al tener condiciones menos restrictivas respecto del consumo de carnes que la versión localista. No obstante, es importante tener en cuenta que el menú actual se elabora considerando la versión local del consumo de carnes.

Día	Almuerzo	Cena
1	rollitos de jamón y queso milanesa de pollo ensalada jardinera pasta frola	tortilla de verdura tallarines con salsa bolognesa mandarina
2	croquetas de arroz carne al horno papas al horno flan con vainillas	ensalada primavera tallarines con crema de verdeo gelatina con frutas
3	pancitos saborizados hamburguesa puré de papa flan	budín de anco polenta con salsa bolognesa duraznos con crema
4	croquetas de arroz pollo al verdeo ensalada de tomate pionono con dulce	ensalada primavera pizza gelatina con frutas
5	empanada de jamón y queso pollo a la portuguesa papas al horno pasta frola	sopa de verdura lasagna compota de manzana
6	empanada de verdura pastel de papa mandarina	tortilla de verdura tallarines con salsa de pollo vigilante
7	budín de anco milanesa de ternera ensalada jardinera compota de manzana	pancitos saborizados tarta de pollo puré de papa flan con vainillas

Tabla 4: Planificación de menús obtenida por el modelo ajustado a las preferencias locales.

Día	1	2	3	4	5	6	7
Costo	10,56	10,72	9,42	8,18	11,78	11,48	8,93
Hidratos	235,95	211,48	211,05	205,35	219,43	201,68	200,13
Proteinas	65,15	72,27	49,41	46,70	55,75	62,00	57,51
Grasas	43,50	35,85	32,29	34,60	62,65	32,05	36,44
Calorías	1595,90	1257,65	1332,41	1320,10	1664,55	1343,15	1358,46
Sodio	1067,50	314,30	366,38	517,75	1147,27	549,58	470,10
Colesterol	388,40	388,90	351,49	380,40	392,20	387,30	359,90
Hierro	12,41	25,37	11,05	10,26	11,16	15,08	25,45
Calcio	413,15	442,58	463,20	575,63	483,15	448,00	464,80
Fibra	15,38	15,60	16,63	11,35	16,94	18,42	22,23
Fósforo	976,70	777,25	894,69	660,35	937,08	1031,08	1039,17
Potasio	2442,00	2199,05	2646,83	1417,55	2395,05	2773,05	3142,58

Tabla 5: Aportes nutricionales diarios de la solución del Cuadro 4.

Criterio	Costo semanal	Diferencia	Mejora
Internacional(OMS)	\$68,24	\$22,21	24,56 %
Local	\$71,07	\$19,38	21,43 %

Tabla 6: Costos semanales por paciente de los menús obtenidos con respecto al costo de \$90,45 del menú confeccionado manualmente.

---

## 5. Conclusiones

---

El modelo desarrollado permite generar propuestas gastronómicas factibles y aplicables para servicios de colaciones. Este modelo permite una mejora de los costos de entre un 21 % y un 25 % sobre la situación presente del hospital que presentó la inquietud. Estas mejoras dependen, respectivamente, según se trate del modelo ajustado a la versión local o a la OMS. Sin embargo, es importante tener en cuenta en la comparación que la planificación actual se hace sobre la base de los patrones de consumo local, lo que lleva la mejora más cerca del 21 %.

Con relación a los tiempos de ejecución, cabe señalar que el tiempo que el personal encargado de la gestión del servicio de colaciones debe dedicarle actualmente a la planificación manual del menú semanal, teniendo en cuenta la complejidad del caso, es del orden de varias horas para obtener una planificación razonable. En este sentido, la disminución de los tiempos de procesamiento al utilizar la herramienta propuesta en este trabajo permite que los funcionarios encargados de esta tarea puedan analizar múltiples escenarios (que además son óptimos para el costo y no solamente “razonables”). Además, la herramienta permite reaccionar rápidamente ante cambios en los precios de los ingredientes.

El modelo presentado está siendo implementado actualmente para la planificación de las colaciones del hospital como menú base. Los convincentes resultados han animado a los funcionarios responsables de la planificación de los menús del hospital a solicitar nuevas características sobre la solución, que se comentan a continuación.

La revisión más importante y compleja consiste en incorporar la combinación de los colores de los platos que se sirven en una colación como una nueva característica a tener en cuenta. Una posible restricción puede ser que cada colación contenga platos de a lo menos tres colores distintos. Esta propiedad no afecta la calidad nutricional de la colación, pero puede mejorar la experiencia gastronómica del paciente al recibir una combinación de platos más colorida.

El agregado de estas restricciones implica la incorporación de un nuevo juego de variables binarias al modelo, que hace que los tiempos de resolución se resientan. La complejidad de esta incorporación radica en que no existe un criterio claro y uniforme sobre la combinación de colores que debe tener una colación, y esta discusión entre los propios funcionarios del hospital demora la implementación de esta característica.

Paralelamente, los funcionarios del hospital encargados de la programación del servicio plantearon el interés de extender el número de días que abarca el menú a dos semanas e incluso un mes. Esto requiere la inclusión de nuevos platos para ampliar la posibilidad de combinaciones y va a implicar la revisión de algunas restricciones centrales del modelo como la imposibilidad de repetir platos de fondo y la limitación de repetir postres a los sumo dos veces, entre otras. Es posible que los tiempos de resolución también se vean afectados por esta ampliación del horizonte de planificación.

Finalmente, otra inquietud que despertó el interés del personal del hospital es la posibilidad de que el modelo contemple la diferencia en la cantidad de personas que reciben el servicio de colaciones al mediodía y en la cena. El hecho de que la población diurna del hospital duplica a la nocturna abre otra posibilidad de lograr un uso más eficiente de los recursos.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen a la Lic. Cecilia Volk por su valioso aporte a este trabajo acercando datos y comentarios sobre los resultados.

## Referencias

- [1] J. L. Balintfy. A Mathematical Programming System for Food Management Applications. *Interfaces*, 6:13-31, 1975.
- [2] J. L. Balintfy. The Cost of Decent Subsistence. *Management Science*, 25(10):980-989, 1979.
- [3] G. Dantzig. The Diet Problem. *Interfaces* 20:43-47, 1990.
- [4] G. Dantzig. Linear Programming and Extensions, Princeton Press, Princeton, New Jersey, 1963.
- [5] FAO/WHO Expert Consultation. Carbohydrates in human nutrition. FAO Food and Nutrition paper No. 66. Rome, 1998.
- [6] FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Report on Human Energy Requirements. Interim Report, Rome, 2004.

- [7] Food and Nutrition Board-Commission on Life Sciences-National Research Council. Recommended Dietary Allowances (10th ed). Washington DC: National Academy Press, 1989.
- [8] Food and Nutrition Board/Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes (DRI) and Recommended Dietary Allowances (RDA) for energy, carbohydrate, fiber, fats, fatty acids, cholesterol, proteins and amino acids. Institute of Medicine of the National Academies. Washington DC. The Nacional Academy Press, 2002.
- [9] Food and Nutrition Board/Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes (DRI) for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and Fluoride. Institute of Medicine of the National Academies. Washington DC. The Nacional Academy Press, 2002.
- [10] S. G. Garille and S. I. Gass. Stigler's Diet Problem Revisited. *Operations Research*, 49:1-13, 2001.
- [11] T. Koch. Rapid Mathematical Programming. ZIB-Report 04-58, 2004.
- [12] T. Achterberg. SCIP: solving constraint integer programs. *Mathematical Programming Computation*, 1(1):1-41, 2009.
- [13] G. J. Stigler. The Cost of Subsistence. *Journal of Farm Economics*, 27:303-14, 1945.
- [14] WHO/FAO Joint WHO/FAO Expert Consultation. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Technical Report Series No. 916. Geneva, 2003.

