

Un modelo de asignación-empaque de despensas personalizadas para bancos de alimentos: un sistema sujeto a condiciones nutricionales y logísticas



Jonathan Cuevas-Ortuño*
Alejandra Gómez-Padilla**

Ingeniero Industrial
Dra. Ingeniería Industrial

* CENTRO DE INNOVACIÓN APLICADA EN TECNOLOGÍAS COMPETITIVAS (CIATEC, A.C).
Omega 201, Fracc. Industrial Delta - 37545 León, Guanajuato (MÉXICO).

Tel. +52/477 710 0011. jcuevas.picyt@ciatec.mx

** UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA. Dpto. de Ingeniería Industrial. Blvd. Marcelino García
Barragán 1421 - 44430, Guadalajara, Jalisco (MÉXICO). Tel. +52/33 1378 5900.

Recibido: 21/11/2012 • Aceptado: 08/04/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5584>

AN ALLOCATION-PACKING MODEL OF CUSTOMIZED FOOD PARCELS TO FOOD BANKS: A SYSTEM SUBJECT TO NUTRITIONAL AND LOGISTICS CONDITIONS

ABSTRACT

• A food management and distribution system in a food bank (FB) implies the gathering, classification (good and bad conditions), allocation and distribution of the food to families living in poverty. Our research is part of a reengineering project of the food management-distribution system in a Food Bank (FB) of México.

The problem of a diet configuration has been studied in the literature focusing mainly on selecting the food quantities that minimize the total cost of a diet, and satisfying the nutritional requirements specified in the diet. In the context of a supply chain, food-allocation to multiple families implies the extension of this problem subject to nutritional restrictions mainly, to other kind of limiting such as: resource availability, resource-allocation to multiple points, weight and volume restrictions due to the use of containers during distribution and the cost of the recovery of the set of products delivered to the client.

This article presents a food allocation-packing mathematical model to simultaneously configure various food parcels customized per family, subject to nutritional and logistic restrictions. The contribution of this research lies in simultaneously consider the restrictions and characteristics of three problems that had been studied in the literature separately: the problem of the limited allocation of resources in a supply chain, the diet problem and the food-packing problem. The model is presented as a mixed-integer linear programming problem, and solved using Lingo 13[®]. The validation of the model was performed through experiments in different operation scenarios using information provided by the FB of México. The search time of the solution is analyzed in each scenario and a non-parametric statistical analysis is executed comparing the nutritional and dimensional characteristics of the obtained pantries in each scenario.

• **Keywords:** food logistics, food banks, perishable and non-perishable, resource-allocation problem, diet problem, food packing problem, mixed integer linear programming, non-parametric analysis.

RESUMEN

Un sistema de manejo y distribución de alimentos en un banco de alimentos (BA) implica el acopio, clasificación (en buenas y malas condiciones de consumo), asignación y distribución del alimento a familias en pobreza. Nuestra investigación forma parte de un proyecto de reingeniería del sistema de manejo-asignación de alimento en un Banco de Alimentos (BA) de México.

El problema de configuración de una dieta ha sido estudiado en la literatura principalmente con un enfoque en seleccionar las cantidades de alimento que minimicen el costo total de una dieta y satisfaciendo los requerimientos nutricionales especificados en la misma. En el contexto de una cadena de suministro, la asignación del alimento a múltiples familias implica extender éste problema sujeto a restricciones nutricionales principalmente, a otro tipo de limitantes como: disponibilidad de recursos, asignación de recursos a múltiples puntos, restricciones de peso y volumen por uso de contenedores du-

rante la distribución y el costo de recuperación del conjunto de productos entregados al cliente.

Nuestro artículo presenta un modelo matemático de asignación-empaque de alimentos para configurar simultáneamente múltiples despensas personalizadas por familia, sujeto a restricciones nutricionales y logísticas. La contribución de esta investigación radica en considerar simultáneamente las características y restricciones de tres problemas que han sido estudiados en la literatura de forma separada: el problema de asignación limitada de recursos en una cadena de suministro, el problema de la dieta y el problema de empaque de alimentos. El modelo es planteado como un problema de programación lineal entera-mixta y resuelto utilizando Lingo 13®.

La validación del modelo se realizó a través de experimentos en diferentes escenarios de operación utilizando la información proporcionada por el BA de México. Se analiza el tiempo de búsqueda de la solución en cada escenario y se realiza un análisis estadístico no-paramétrico comparando las características nutricionales y dimensionales de las despensas obtenidas en cada escenario.

Palabras clave: logística alimentaria, bancos de alimentos, alimentos perecederos y no-perecederos, problema de asignación de recursos, problema de la dieta, problema de

empaque de alimentos, programación lineal entera-mixta, análisis no-paramétrico.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación ha sido motivada por un banco de alimentos (BA) de México. La cadena de suministro (CS) objeto de estudio está formada por 3 eslabones: donadores, el BA y las familias beneficiarias agrupadas en comunidades. Entre las actividades que realiza el BA se incluyen el acopio de alimentos a granel de diferentes donadores (Figura 1a), la separación del alimento apto para consumo (Figura 1b) y su asignación diaria a granel a un número programado de comunidades en donde la cantidad de alimento distribuido a cada comunidad depende solamente del número de familias en cada una de ellas. Cada día, el personal del BA carga los camiones programados para cada comunidad (Figura 1c) y un responsable de cada una (un líder seleccionado por la comunidad) reparte el alimento a cada familia. El objetivo del BA es facilitar que las personas con menos oportunidades puedan alcanzar una mejor calidad de vida a partir de la alimentación recibida.



Fig. 1a: Recepción de alimento a granel en el almacén



Fig. 1b: Separación de alimento apto para consumo



Fig. 1c: Envío de alimento a granel a comunidades

Fig. 1: Sistema tradicional de manejo-distribución de alimentos a granel en BA de México



Fig. 2a: Instalación de transportador para la recepción directa del alimento desde el andén en contenedores de 550 kilogramos



Fig. 2b: Instalación de transportadores para el manejo de alimento dentro del almacén en contenedores identificados por grupo nutricional.



Fig. 2c: Instalación de racks carton-flow utilizados en el armado de despensas personalizadas desde el almacén

Fig. 2: Instalación de equipos para el manejo de alimentos requeridos en la reingeniería del BA en México.

Una administración adecuada de una CS involucra diferentes niveles de decisiones jerárquicas que de acuerdo a Simchi-Levi 2002 [1] se clasifican como: *estratégicas*, *tácticas* y *operacionales*. En éste contexto, los BA diariamente toman una decisión de tipo *operacional* cuando deciden qué

alimentos asignar a cada comunidad. Este trabajo de investigación forma parte de un proyecto de reingeniería del sistema de manejo-distribución de alimentos que se está realizando en el BA y cuenta con las características mostradas en la Tabla I. La segunda columna explica el funcionamiento

Reingeniería del sistema de manejo-distribución de alimento en el BA				
Área	<i>Sistema tradicional de asignación por comunidad</i>	<i>Sistema de asignación personalizada por familia</i>	Beneficios con la reingeniería	Implicaciones de la reingeniería
Manejo de alimento al interior del almacén	Se realiza a granel con apoyo de montacargas disponibles	Realizado en contenedores identificados por grupo nutricional y su traslado en transportadores de banda y rodillos dentro del almacén (Figura 2a).	<ul style="list-style-type: none"> • Un mayor control e identificación del tipo, grupo nutricional y cantidad de alimento en el almacén. • Disminución de tiempos de espera para traslado de alimento en el almacén. • Un mayor orden y limpieza en el manejo de alimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseño del flujo de alimento dentro del almacén. • Reubicación de áreas (panadería, cámaras de refrigeración) en el almacén. • Evaluación e instalación de transportadores y racks para el manejo del alimento (Figura 2b).
Sistema de asignación de alimento a beneficiarios	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de alimento (kilogramos) asignado a una comunidad depende del número de familias en cada comunidad. • La asignación del alimento por familia no es realizada por el BA por lo que no es posible monitorear que alimento recibe cada una. • Un líder de la comunidad es el responsable de asignar de forma equitativa el alimento a cada familia. 	<ul style="list-style-type: none"> • La asignación del alimento por familia considera los requerimientos energéticos (kilocalorías) de cada familia a partir del número y tipo de miembros de cada una. • La asignación personalizada toma en cuenta la disponibilidad en el almacén y las características nutricionales (grupo nutricional, aporte energético) y dimensionales (peso, volumen) del alimento. • Es considerado el empaque del alimento en contenedores para una mejor preservación del mismo durante su distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> • El BA es el responsable de la asignación del alimento por familia. • La asignación por familia se realiza en el almacén por lo que se lleva un adecuado control de las asignaciones. • Será posible monitorear el impacto nutricional por familia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y validación de un modelo matemático de asignación-empaque de despensas personalizadas • Instalación de racks <i>carton-flow</i> para un ágil armado de cada despensa en el almacén (Figura 2c).
Sistema de entrega de alimento a beneficiarios	La distribución del alimento es realizada a granel a cada comunidad	La distribución del alimento es realizada en despensas personalizadas por familia y enviada en contenedores individuales.	<ul style="list-style-type: none"> • El alimento está protegido durante la distribución. • Se evita la mezcla de alimentos entre las despensas asignadas por familia. 	Adquisición de contenedores para distribución de alimento por familia

Tabla I: Características generales e implicaciones del proceso de reingeniería del BA

Estudios previos han analizado el problema de manejo-distribución de alimento en BA desde diferentes perspectivas y técnicas: Nguyen et al. 2009 [2] simulan las operaciones en un centro de distribución dedicado a recolectar alimento donado y repartirlo a diferentes cocinas de beneficencia, construyen un modelo en Arena® para simular la utilización de dos andenes de recepción de alimento y mejorar el servicio. Okore-Hanson et al. 2012 [3] enfocan su investigación en identificar factores que pueden ser usados para predecir la demanda de un BA basado en modelos de regresión. En Sengul et al. 2012 [4] formulan un modelo de PL para un problema de flujo en una red de un BA con restricciones de capacidad y buscan asignar alimento donado para minimizar la desviación de una distribución completamente equitativa. Ninguno de estos modelos propuestos involucra ni las características nutricionales ni dimensionales de los alimentos.

Otros trabajos han analizado el problema de manejo-distribución de alimentos en CSA enfocándose a restricciones logísticas sin considerar condiciones nutricionales: Rong, et al. 2011 [5] proponen un modelo de programación lineal entera-mixta (PLEM) para una CSA que modela la degradación del producto a través de la cadena basado en la calidad de un solo producto, Borghi, et al. 2009 [6] se centran en la influencia de la temperatura durante el almacenaje de frutas y verduras en centros de distribución; utiliza variables binarias para minimizar los costos relacionados al almacenaje, y Cai, et al. 2008 [7] estudian la selección y programación de trabajos, sujeto a restricciones de materia prima y tiempos de producción buscando minimizar el costo total. Ahumada, et. al. 2009 [8] revisan la aplicación de modelos de planeación en una cadena de suministro agro-alimenticia (CSAA) e identifican cuatro áreas de estudio: producción, cultivo, almacenaje y distribución, concluyendo que las investigaciones se han enfocado al manejo de productos no-perecederos y aunque se han estudiado modelos basados en programación lineal, éstos se enfocan al problema de producción y/o cosecha de alimento y no integran restricciones nutricionales con logísticas.

De acuerdo a Cadenas, et al. 2004 [9], el problema de la dieta (PD) considera las características nutricionales de los alimentos para la configuración de una dieta personalizada; es formulado como un problema de PL donde el objetivo es minimizar el costo de la dieta y satisfacer las necesidades nutricionales. Este problema consiste en seleccionar la cantidad de alimento i que debe ser incluido en una dieta para satisfacer requerimientos mínimos de nutrientes en el organismo. La revisión realizada de estos modelos indican que se enfocan en aspectos nutricionales y dejan de lado limitantes logísticas asociadas al manejo y distribución del alimento; ejemplo: asignaciones múltiples, restricciones de capacidad y/o restricciones de disponibilidad en inventario. Abd Rahman, et al. 2010 [10] mencionan que el PD ha sido abordado con métodos individuales (programación lineal, programación por metas) e integrados (programación difusa).

También, se ha encontrado que el problema de empaque de alimento (PEA) ha sido estudiado por Mahalik et al. 2010

[11] y Brody et al. 2008 [12] más con un enfoque en la preservación del alimento que como un problema de optimización. El problema de empaque desde un enfoque de optimización implica ubicar objetos juntos (dentro de un contenedor) tan densamente como sea posible. El problema de la mochila (PM) selecciona los productos que deberán ser empacados en un contenedor apoyado en PL con variables binarias y una sola restricción de capacidad. Sin embargo, Hill y Hiremath 2007 [13] mencionan que debido a la naturaleza compleja de las aplicaciones industriales, otro tipo de restricciones han sido agregadas: urgencia de solicitud, prioridad y ventanas de tiempo de la solicitud y empaque con diferentes requerimientos de volumen y peso. En éste contexto, han sido poco los estudios del PEA que utilizan modelado matemático. Karuno et al. 2007 [14], Imahori et al. 2010 [15] y Karuno et al. 2010 [16] analizan sistemas de empaque de alimentos utilizando programación dinámica con variables de decisión binarias; se centran en la selección de producto que permita minimizar el peso total de los artículos seleccionados para empaque haciendo que el peso total de cada empaque sea menor a un peso máximo permitido, se busca además priorizar la selección de productos con mayor duración de espera en tolvas. Sin embargo, aunque estos estudios incluyen la prioridad en la selección de productos y empaque de alimentos en contenedores, utilizan variables binarias, las restricciones se centran en el peso de los productos y no toman en cuenta características y restricciones nutricionales para el empaque del producto en contenedores.

En el contexto de una CS de un BA, el problema que abordamos en la presente investigación involucra expandir el PD de un problema exclusivamente de selección de alimentos a un problema de asignación de recursos limitados (alimentos) a múltiples clientes (familias) con restricciones de disponibilidad. El manejo y distribución de las despensas por medio de contenedores implica incluir en el modelo otras restricciones logísticas como: costo de despensas, capacidad máxima en volumen y peso del contenedor y el volumen y peso de los alimentos.

La contribución de éste artículo radica en presentar un nuevo problema de PLEM para la asignación-empaque de múltiples despensas personalizadas. Este análisis es parte de un proceso de reingeniería del sistema de manejo-asignación de alimento de un BA de México. El modelo presentado integra parámetros y restricciones nutricionales y logísticas al considerar simultáneamente las características y restricciones de tres problemas de optimización que han sido estudiados en la literatura por separado: problema de asignación de recursos limitados en una cadena de suministro, el problema de la dieta y el problema de empaque de alimentos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Nuestro modelo (Figura 5) genera una selección y asignación del tipo y cantidad de alimento que diariamente debe

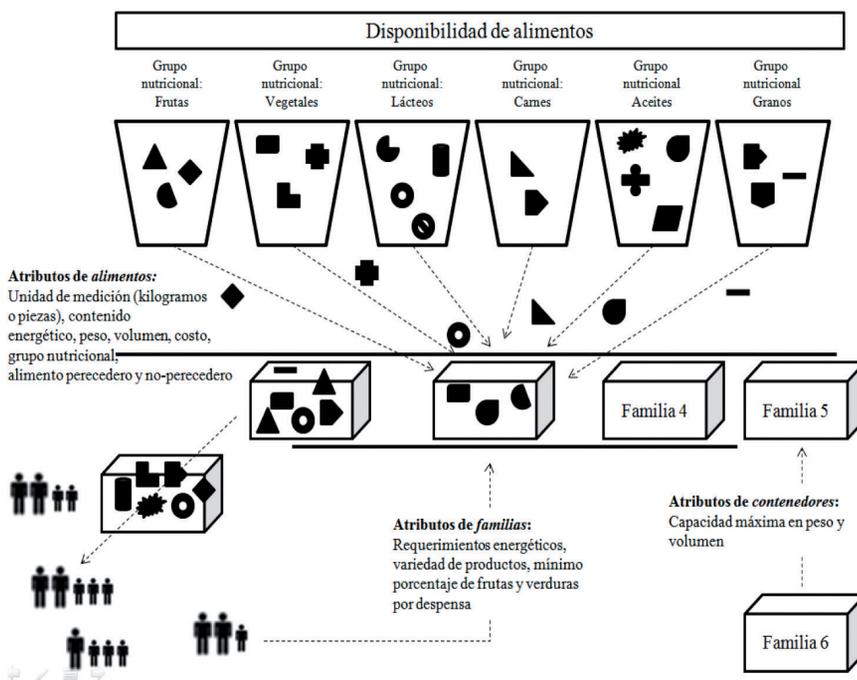


Fig. 5: Modelo de asignación-empaque de alimento requerido en la reingeniería del BA

ser entregado a familias con características diferentes. Los alimentos pueden ser clasificados de acuerdo a su grupo nutricional en: vegetales, frutas, granos, lácteos, carnes, aceites (como en [17]) y su aporte energético medido en Kilocalorías (Kcal.) y/o KiloJoule (kJ) depende de cada tipo de producto (como en [18,19]). Los requerimientos energéticos mínimos de cada familia pueden ser determinados de acuerdo a su número de integrantes y características: edad, sexo, actividad física, peso y altura y que pueden ser estimados a partir de la información proporcionada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en [20] y/o [21].

La asignación depende de la cantidad disponible del producto en el almacén. Para proteger físicamente los alimentos durante su distribución y asegurar la personalización de cada despensa, los productos seleccionados son empacados en contenedores por familia. Para asegurar que cada contenedor contenga una canti-

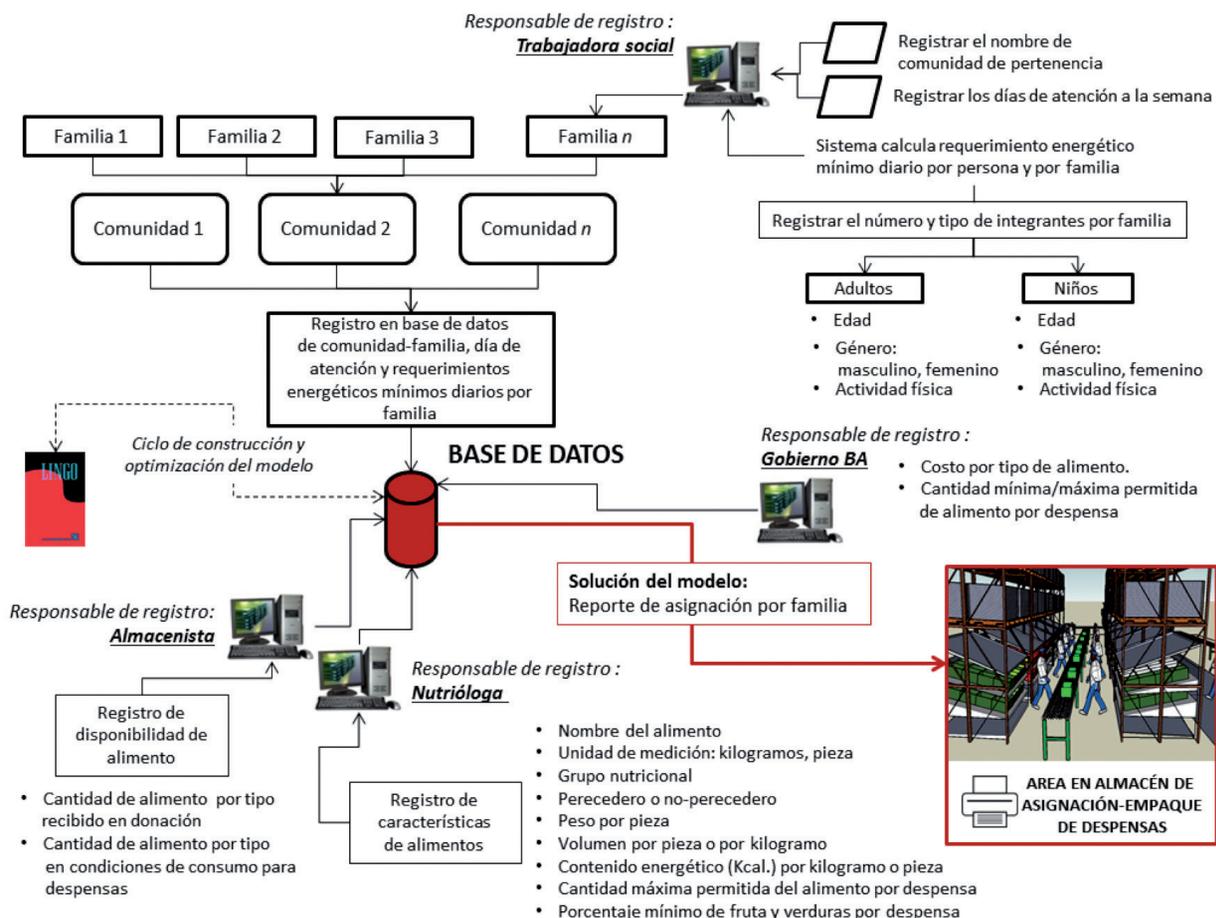


Fig. 6: Sistema de administración de la información para el modelo de asignación-empaque de alimento

dad mínima de alimento y evitar reclamos de las familias atendidas, se contempla que cada contenedor deberá de tener mínimo 30 kilogramos de alimento y un máximo de 40. Cada despensa debe contar con un porcentaje mínimo (α) de alimentos de los grupos nutricionales verduras y frutas; se considera una restricción que permite a la organización definir el valor α para la asignación. Para evitar una variedad reducida de tipos de alimentos en cada contenedor, se incluye una restricción de la cantidad máxima permitida de cada tipo de producto. Finalmente, no todo el producto recolectado por el BA es donado, es necesaria la compra de algunos alimentos a precios especiales. Por esto, el costo total de los productos seleccionados por despensa, no deberá exceder un costo de recuperación predefinido por la organización.

La entrada de datos, la solución y el manejo de la información del modelo matemático de asignación-empaque es administrada actualmente por una base de datos en Excel® vinculada al software de optimización Lingo®. Como una extensión de nuestra investigación, un nuevo sistema de información (Figura 6) se está programando para permitir una adecuada y más ágil administración del sistema de asignación de alimento por parte del personal del BA.

2.2. FORMULACIÓN DEL MODELO

Se consideran los siguientes conjuntos de datos:

- grupo nutricional $i \in I = \{1: \text{vegetales}, 2: \text{frutas}, 3: \text{granos}, 4: \text{lácteos}, 5: \text{carnes}, 6: \text{aceites}\}$
- alimento medido en kilogramos: incluye el alimento j que forma parte del grupo nutricional $i = \{1_p, 2_p, 3_p, \dots, a_i\}$
- alimento medido en piezas: incluye el alimento k que forma parte del grupo nutricional $i = \{1_p, 2_p, 3_p, \dots, b_i\}$
- número de familias atendidas: incluye la familia $s \in S$ que es atendida por día, $S = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

Las variables de decisión del modelo son:

$X_{i,j,s}$ = kilogramos del alimento j del grupo nutricional i que es enviado a la familia s .

$Z_{i,k,s}$ = número de piezas del alimento k del grupo nutricional i que es enviado a la familia s .

El modelo incluye los parámetros de la Tabla II:

2.3. OBJETIVO DEL MODELO

Para éste artículo se evalúa el desempeño del modelo con dos enfoques diferentes en el objetivo: enfoque logístico (objetivo 1) y enfoque nutricional (objetivo 2).

Escenario 1 (Objetivo 1): priorizar la cantidad de alimento perecedero (kilogramos) que es enviado a las familias en un día (1).

$$\text{Max } Y = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} \sum_s^n [TA_{i,j}] [X_{i,j,s}] + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} \sum_s^n [TA_{i,k}] [Z_{i,k,s}] [P_{i,k}] \quad (1)$$

Escenario 2 (Objetivo 2): maximizar el contenido energético total (kilocalorías) que es enviado a las familias atendidas en un día (2).

$$\text{Max } Y = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} \sum_s^n [APNK_{i,j}] [X_{i,j,s}] + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} \sum_s^n [APNP_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \quad (2)$$

2.4. RESTRICCIONES DEL MODELO

Disponibilidad de alimento en almacén.

(R1). Restricción de disponibilidad (3-4), asegura que la suma total de cada tipo de alimento asignado a las familias se encuentra en existencia en el almacén.

$$\sum_s^n X_{i,j,s} \leq \beta_{i,j}, \forall i, j \quad (3)$$

$$\sum_s^n Z_{i,k,s} \leq \beta_{i,k}, \forall i, k \quad (4)$$

Parámetro	Tipo	Unidad de medida	Descripción
$APNK_{i,j}$	N	Kilocalorías	Contenido energético por kilogramo del alimento j del grupo i
$\beta_{i,j}$	L	Kilogramos	Disponible en almacén del alimento j del grupo i
$\gamma_{i,j}$	L	Kilogramos	Cantidad máxima permitida del alimento j del grupo i por despensa.
$VK_{i,j}$	L	Centímetros cúbicos	Volumen por kilogramo del alimento j del grupo i
$CK_{i,j}$	L	Pesos mexicanos	Costo por kilogramo de cada alimento j del grupo i
$TA_{i,j}$	N		Tipo de alimento j del grupo i en almacén = {1: alimento perecedero, 0: alimento no-perecedero}
$APNP_{i,k}$	N	Kilocalorías	Contenido energético por pieza del alimento k del grupo i
$\theta_{i,k}$	L	Piezas	Disponible en almacén del alimento k del grupo i
$\delta_{i,k}$	L	Piezas	Cantidad máxima permitida del alimento k del grupo i por despensa.
$VP_{i,k}$	L	Centímetros cúbicos	Volumen por pieza del alimento k del grupo i
$P_{i,k}$	L	Kilogramos	Peso) por pieza del alimento k del grupo i
$CP_{i,k}$	L	Pesos mexicanos	Costo por pieza de cada alimento k del grupo i
$TA_{i,k}$	N		Tipo de alimento k del grupo i en almacén = {1: alimento perecedero, 0: alimento no-perecedero}
MR_s	N	Kilocalorías	Requerimiento energético mínimo (Kcal.) por cada familia s . El requerimiento energético por familia depende del número de integrantes por cada familia, edad, sexo, peso, altura y actividad física [5]
CR_{rec}	L	Pesos mexicanos	Costo de recuperación de cada despensa = \$100
α_s	N	Porcentaje	Mínimo frutas y verduras (en peso) que la despensa s debe contener =30%
CTR_s	L	Centímetros cúbicos	Volumen de cada contenedor s para enviar alimento a cada familia= (73x43x33)= 103,587 cm ³
PM_{in_s}	L	Kilogramos	Peso mínimo del alimento por contenedor s = 30 kilogramos
PM_{ax_s}	L	Kilogramos	Peso máximo del alimento por contenedor s = 40 kilogramos

Tabla II. Descripción y tipos de parámetros incluidos en el modelo. L=logístico, N: Nutricional.

Empaque de alimento en contenedores.

(R2) Restricción de peso mínimo (5), asegura que cada despensa asignada a una familia contiene un mínimo de alimento (kilogramos) dentro del contenedor.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} X_{i,j,s} + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [P_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \geq PMin_s, \quad \forall s \in S \quad (5)$$

(R3) Restricción de peso máximo (6), asegura que cada despensa asignada a una familia contiene un máximo de alimento (kilogramos) dentro del contenedor.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} X_{i,j,s} + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [P_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \leq PMax_s, \quad \forall s \in S \quad (6)$$

(R4) Restricción de volumen (7), permite que el volumen total de los alimentos seleccionados para cada despensa personalizada no exceda el volumen máximo del contenedor.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} [VK_{ij}] [X_{i,j,s}] + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [VP_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \leq Ctr_s, \quad \forall s \in S \quad (7)$$

(R5) Cantidad máxima de producto (8-9), se incluye para asegurar una mayor variedad de productos en cada despensa al no permitir que se exceda una cantidad máxima de cada tipo de alimento por contenedor.

$$X_{i,j,s} \leq \gamma_{i,j}, \quad \forall i, j, s \quad (8)$$

$$Z_{i,k,s} \leq \gamma_{i,k}, \quad \forall i, k, s \quad (9)$$

Características nutricionales de despensas.

(R6) Restricción nutricional (10), incluida en el modelo para lograr que la despensa contenga un mínimo de requerimientos energéticos.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} [APNK_{ij}] [X_{i,j,s}] + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [APNP_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \geq MR_s, \quad \forall s \in S \quad (10)$$

(R7) Restricción de grupos nutricionales (11), permite que la organización asigne el porcentaje mínimo (α) de verduras y frutas (medido en peso) que cada despensa debe incluir.

$$\sum_{j=1}^{a_i} X_{1,j,s} + \sum_{j=1}^{a_i} X_{2,j,s} + \sum_{k=1}^{b_i} [P_{1,k}] [Z_{1,k,s}] + \sum_{k=1}^{b_i} [P_{2,k}] [Z_{2,k,s}] \geq \left(\frac{\alpha}{100}\right) * [\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} X_{i,j,s} + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [P_{i,k}] [Z_{i,k,s}]], \quad \forall s \in S \quad (11)$$

Costo máximo de recuperación de despensa.

(R8) Restricción de costo máximo por despensa (12), asegura que el costo total de los productos incluidos en cada contenedor no exceda el costo de recuperación de la despensa.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{a_i} [CK_{ij}] [X_{i,j,s}] + \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{b_i} [CP_{i,k}] [Z_{i,k,s}] \leq Crec, \quad \forall s \in S \quad (12)$$

(R9) Restricción de no-negatividad de variables.

$$X_{i,j,s} \geq 0, \\ Z_{i,k,s} = \{0, 1, 2, 3, \dots, q\}$$

2.5. EJECUCIÓN DEL MODELO

Nuestros experimentos incluyen las características nutricionales y dimensionales de 100 alimentos, éstos forman parte de alguno de los seis tipos de grupos nutricionales e incluyen alimentos perecederos y no-perecederos (alimentos con mayor tiempo de vida en anaquel). Las simulaciones del modelo fueron realizadas con Lingo 13®. En las corridas experimentales se utilizó un =30% (porcentaje mínimo de frutas y verduras en cada despensas). Para evaluar el desempeño del modelo en condiciones de operación diferentes se analizó la asignación-empaque de alimento para 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1250 y 1500 familias respectivamente considerando la información proporcionada por el BA (Figura 7).

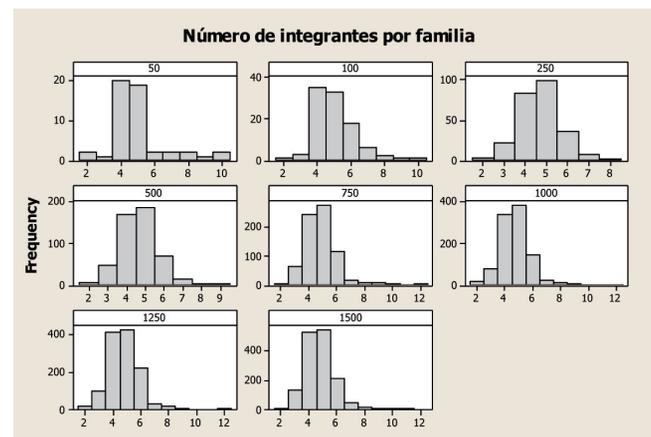


Fig. 7: Número de integrantes en familias consideradas para las simulaciones

La arquitectura usada para la implementación y resolución del modelo descrito anteriormente es ilustrada en la Figura 8. Todos los experimentos fueron realizados en una computadora con procesador Intel® Core 2 Duo con 4.0 GB de memoria RAM.

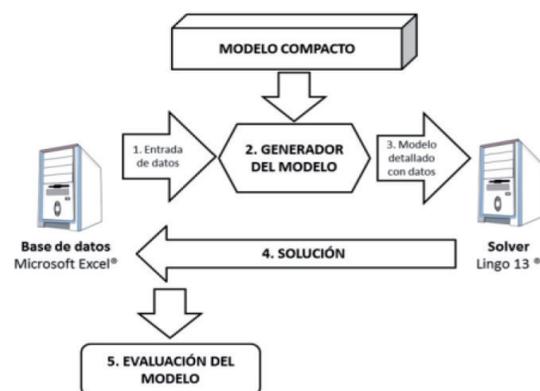


Fig. 8: Diagrama de experimentos computacionales

No. Familias	Objetivo	Objetivo del modelo	Variables	Enteros	Restricciones
50	1	Alimento perecedero (Kgs)	5,000	3,950	5,401
	2	Aporte energético (Kcal)	5,000	3,950	5,401
100	1	Alimento perecedero (Kgs)	10,000	7,900	10,701
	2	Aporte energético (Kcal)	10,000	7,900	10,701
250	1	Alimento perecedero (Kgs)	25,000	19,750	26,601
	2	Aporte energético (Kcal)	25,000	19,750	26,601
500	1	Alimento perecedero (Kgs)	50,000	39,500	52,201
	2	Aporte energético (Kcal)	50,000	39,500	52,201
750	1	Alimento perecedero (Kgs)	75,000	59,250	78,851
	2	Aporte energético (Kcal)	75,000	59,250	78,851
1000	1	Alimento perecedero (Kgs)	100,000	79,000	105,101
	2	Aporte energético (Kcal)	100,000	79,000	105,101
1250	1	Alimento perecedero (Kgs)	125,000	98,750	131,351
	2	Aporte energético (Kcal)	125,000	98,750	131,351
1500	1	Alimento perecedero (Kgs)	150,000	118,500	157,601
	2	Aporte energético (Kcal)	150,000	118,500	157,601

Tabla III: Resumen del número de variables y restricciones en modelos

Como se aprecia en la Tabla III, el número de variables de decisión y restricciones consideradas en el modelo se incrementa conforme aumenta el número de familias incluidas.

3. RESULTADOS

Para evaluar el desempeño del modelo se analiza el tipo de solución encontrada, el tiempo de búsqueda de la solución, el contenido energético total asignado, la cantidad total de alimento perecedero asignado y el porcentaje promedio de alimento perecedero por despensa (Tabla IV).

Para analizar los atributos de las despensas configuradas en cada escenario, se realizó un análisis estadístico comparativo de cada atributo entre ambos escenarios considerando

ANÁLISIS PARA 50 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	2	4,452	1,345,314.79	2,000.00	100.00%
2	OBJETIVO 2	Factible	3600	25,380,654	2,209,923.80	1,724.84	86.53%
ANÁLISIS PARA 100 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	3	6,976	2,503,399.47	4,000.00	100.00%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	67	135,831	3,888,819.37	3,537.58	88.44%
ANÁLISIS PARA 250 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	14	20,312	5,759,309.11	7,383.91	94.05%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	165	58,699	6,986,030.77	7,383.91	90.06%
ANÁLISIS PARA 500 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	9	19,227	6,334,277.48	9,885.08	96.31%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	10	23,878	9,580,244.18	9,885.08	87.87%
ANÁLISIS PARA 750 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	14	33,467	8,450,907.96	10,411.23	91.52%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	16	39,351	11,605,464.18	10,411.23	84.17%
ANÁLISIS PARA 1000 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	40	85,252	8,998,545.94	10,937.38	91.06%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	28	60,749	12,573,564.34	10,937.38	83.48%
ANÁLISIS PARA 1250 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	63	114,376	10,062,921.82	11,326.03	89.30%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	81	165,043	12,708,714.34	11,326.03	83.63%
ANÁLISIS PARA 1500 FAMILIAS							
Escenario	Objetivo analizado	Tipo de solución	Tiempo de solución (segundos)	Iteraciones	Contenido energético total (kilocalorías) asignado	Cantidad total de alimento (kilogramos) perecedero asignado	Porcentaje promedio de alimento perecedero repartido por despensa
1	OBJETIVO 1	Óptima global	214	222,800	12,047,739.22	11,602.18	85.65%
2	OBJETIVO 2	Óptima global	136	174,755	12,792,114.34	11,602.18	84.27%

Tabla IV: Tiempo de solución y valor del objetivo encontrado por escenario de operación

No.	Atributo por despensa	Unidad	Tipo
1	Peso de alimento	Kilogramos	Logístico
2	Volumen de alimento del contenedor	Porcentaje	Logístico
3	Costo	Pesos mexicanos	Logístico
4	Variedad de alimento	Tipos de alimentos	Logístico
5	Frutas y verduras por contenedor	Porcentaje	Nutricional
6	Alimento no-perecedero	Porcentaje	Nutricional
7	Duración nutricional de despensa	Días	Nutricional

Tabla V: Atributos para evaluar calidad de despensas configuradas

atributos nutricionales y logísticos para las despensas definidos por la organización (Tabla V).

Esta investigación realiza un análisis comparativo de los atributos obtenidos en las despensa considerando el modelo el objetivo 1 (Escenario 1) y el objetivo 2 (Escenario 2). La Figura 9 muestra un comparativo del peso por despensa obtenido por el modelo considerando cada objetivo e incrementando el número de familias en las simulaciones.

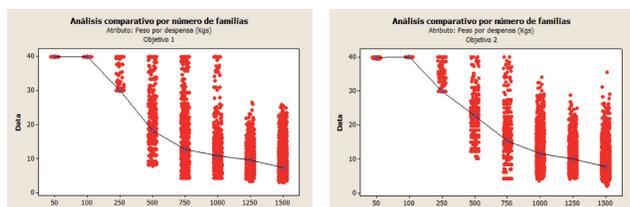


Fig. 9: Análisis comparativo del peso de despensas al incrementar el número de familias atendidas

La prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada [22] fue requerida para probar el supuesto de normalidad de los datos en la comparación de atributos (Tabla VI).

N	Familias incluidas en modelo								
	50	100	250	500	750	1000	1250	1500	
Objetivo 1	-	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Objetivo 2	-	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

*** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, podemos rechazar la idea que la muestra proviene de una distribución normal con nivel de confianza del 95%

Tabla VI: Prueba de normalidad para atributo: peso por despensa

Debido a que los datos utilizados en el análisis comparativo de los atributos no cumplieron con el supuesto de normalidad, esta investigación utilizó la prueba comparativa de medianas de Mann-Whitney (Wilcoxon) para cada atributo (12). Estas es una prueba no-paramétrica para la igualdad de medianas para dos poblaciones [23].

$$H_0: \tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2(12) \quad (12)$$

$$H_1: \tilde{\mu}_1 < \tilde{\mu}_2$$

También se realizó un análisis comparativo de varianzas

para probar su igualdad entre las muestras de cada atributo. Se utilizó la prueba de Levene (13) ya que es más robusta al supuesto de no-normalidad de los datos.

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2(13)$$

$$H_1: \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2 \quad (13)$$

La Tabla VII indica que el peso del alimento por despensa (de 50 a 1500 familias) obtenido en cada escenario son estadísticamente diferentes en sus parámetros de tendencia central (mediana) y el de dispersión (varianza), excepto para la comparación de varianzas con 750 (valor-p=0.963) y 1250 (valor-p=0.995) familias respectivamente.

	Familias incluidas en modelo							
	50	100	250	500	750	1000	1250	1500
Mann-Whitney (Wilcoxon)**	-	-	< 0.04	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Prueba de Levene***	-	-	< 0.05	< 0.05	0.963	< 0.05	0.995	< 0.05

** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, la mediana de la muestra 1 es estadísticamente menor que la mediana de la muestra 2 con un nivel de confianza del 95%.

*** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, podemos rechazar la idea que las varianzas son estadísticamente iguales con un nivel de confianza del 95%.

Tabla VII: Análisis comparativo de medianas y varianzas entre escenario para peso por despensa

En la Figura 10 se presenta un análisis comparativo gráfico del resto de los atributos mencionados en la Tabla V al incluir en el modelo cada objetivo. La medida de tendencia central (mediana) de la muestra es representada con un círculo.

La Tabla VIII presenta un resumen de la validación del supuesto de normalidad para la comparación de escenarios por cada atributo. Tal como se aprecia en el análisis, podemos rechazar la idea de que las muestras provienen de una distribución normal, excepto en el atributo *volumen* con 50 y 100 familias y con *frutas y verduras* considerando 100 familias.

Atributo por despensa	Modelo	Familias incluidas en modelo							
		50	100	250	500	750	1000	1250	1500
Volumen	Objetivo 1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	0.051	0.300	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Costo	Objetivo 1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Variedad de alimentos	Objetivo 1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Frutas y verduras	Objetivo 1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	0.012	0.100	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Alimento no-perecedero	Objetivo 1	-	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	-	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Días de duración	Objetivo 1	0.009	0.010	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Objetivo 2	< 0.05	0.001	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

*** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, podemos rechazar la idea que la muestra proviene de una distribución normal con nivel de confianza del 95%

Tabla VIII: Prueba de normalidad por atributos en despensas

Debido a que los datos utilizados en el análisis no se ajustan a una distribución normal, se realizó un análisis estadístico no-paramétrico comparativo entre escenarios para el resto de los atributos de interés para la organización. Como también se observa en las Figuras 11 y 12, el valor-p 0.05 en el análisis no-paramétrico comparativo de medianas y varianzas (Tabla IX) concluyen que las características de las despensas configuradas con el modelo para cada atributo son

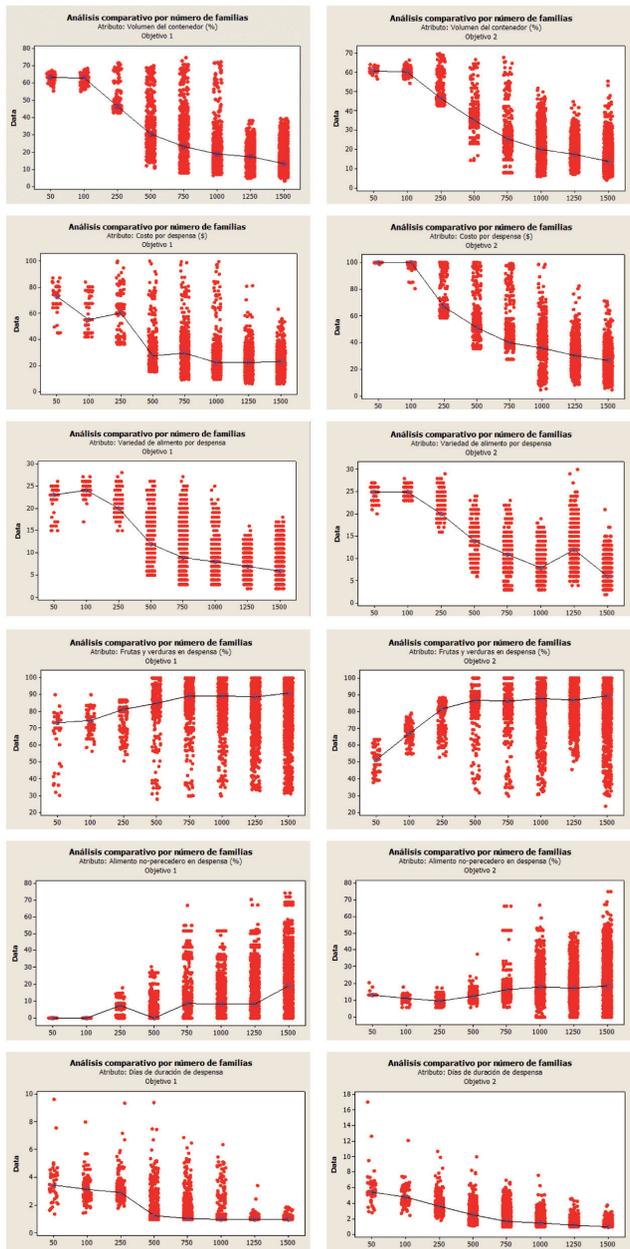


Fig. 10: Representación del valor del atributo por familia

estadísticamente diferentes entre escenarios para la mayoría de atributos.

La Figura 11 presenta un análisis comparativo que resume el valor obtenido de cada atributo considerando cada escenario propuesto y el número de familias utilizado en las simulaciones. Debido a que la mayoría de los datos analizados no cumplen con el supuesto de normalidad, se prefirió el uso de la *mediana* sobre la media como parámetro de tendencia central.

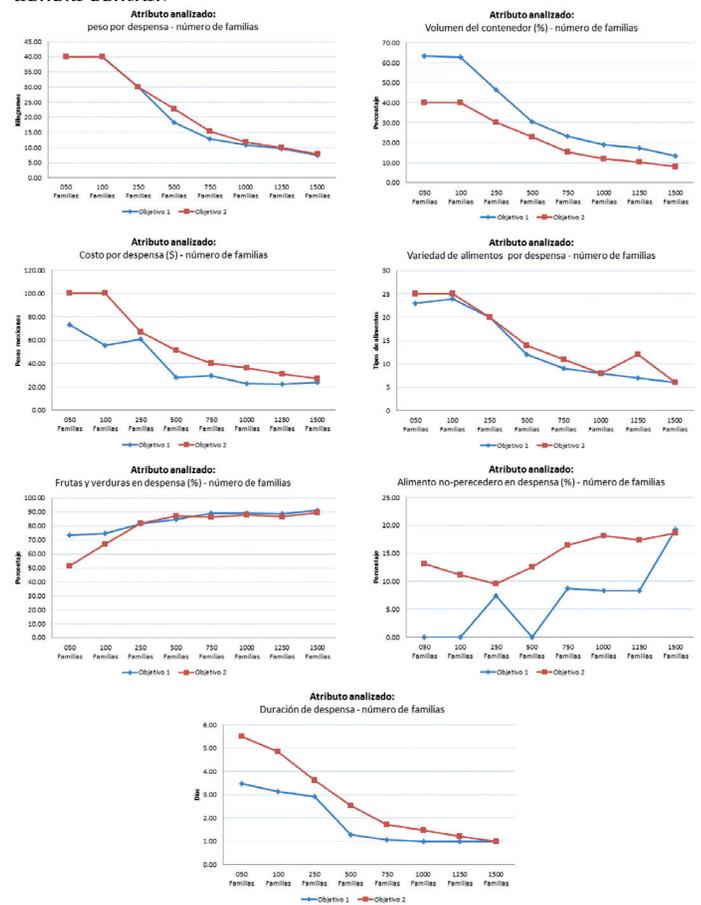


Fig. 11: Análisis comparativo de tendencia central (medianas) para cada atributo de despesa evaluado por objetivo

Atributo por despesa	Famílias incluídas en modelo	Famílias incluídas en modelo							
		50	100	250	500	750	1000	1250	1500
Volumen	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	0.999	0.999	0.002	<0.05	<0.05	<0.05	0.004	0.013
	Prueba de Levene***	<0.05	<0.05	0.003	<0.05	<0.05	0.278	0.033	0.001
Costo	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Prueba de Levene***	<0.05	<0.05	0.284	0.483	0.016	0.020	0.655	<0.05
Variedad de alimentos	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	<0.05	<0.05	0.337	<0.05	<0.05	0.369	<0.05	<0.05
	Prueba de Levene***	0.036	0.595	0.060	<0.05	<0.05	0.354	<0.05	<0.05
Frutas y verduras	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	<0.05	<0.05	0.869	0.2354	0.266	0.071	0.002	0.072
	Prueba de Levene***	0.082	0.262	0.579	0.455	0.803	0.002	<0.05	0.202
Alimento no-percadero	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.781
	Prueba de Levene***	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Días de duración	Mann-Whitney (Wilcoxon)**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Prueba de Levene***	0.166	0.149	<0.05	0.001	<0.05	<0.05	-	<0.05

** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, la mediana de la muestra 1 es estadísticamente menor que la mediana de la muestra 2 con un nivel de confianza del 95%.

*** Dado que el Valor-P es menor a 0.05, podemos rechazar la idea que las varianzas son estadísticamente iguales con un nivel de confianza del 95%.

Tabla IX: Análisis comparativo de medianas y varianzas por atributos

Por otro lado, la Figura 12 muestra un análisis comparativo de la dispersión (desviación estándar) de las despesas por atributo cuando se incrementa el número de familias en el modelo para cada escenario de operación.

4. DISCUSIÓN

En el análisis de la Tabla IV, se observa que en el escenario 1 se obtienen soluciones óptimas en un menor tiempo excepto para 1000 y 1500 familias, sin embargo, ésta decisión implica que el porcentaje de

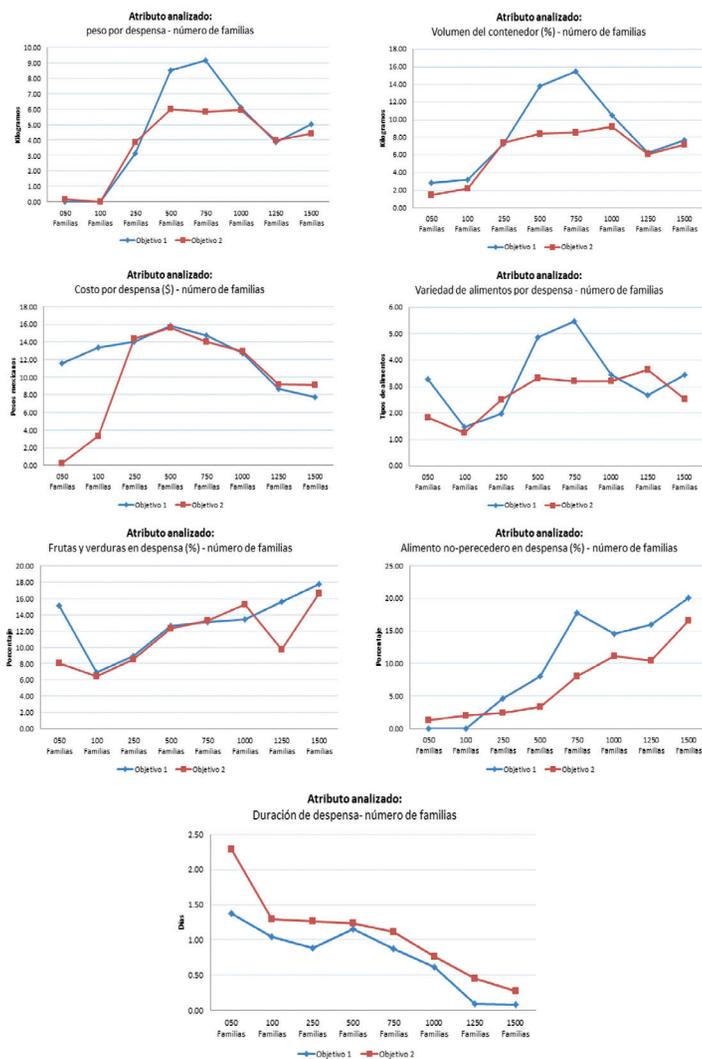


Fig. 12: Análisis comparativo de dispersión (desviación estándar) para cada atributo de despensa evaluada por objetivo

alimentos percedero sea mayor al considerar un menor número de familias aunque éste porcentaje empieza a nivelarse al escenario 2 conforme se incrementan las familias. Bajo el escenario 1, el modelo genera asignaciones con menor cantidad de contenido energético que en el escenario 2. Del análisis también se aprecia que los kilogramos de alimento percedero asignado son similares en ambos escenarios a partir de 250 familias aunque en proporción es mayor con el escenario 1, por lo que se concluye que se asigna más kilogramos de alimento (percedero y no-percedero) con el escenario 2.

Así mismo, de la Tabla III se aprecia que a pesar del incremento del número de instancias en el modelo, la Tabla IV nos indica que el tiempo de solución en ambos escenarios es adecuado. Por otro lado, el análisis realizado nos arrojó que a partir de 500 familias es requerido eliminar del modelo la restricción (5) para obtener soluciones factibles, a pesar de

esto, el análisis de la Figura 9 nos indica que siguen configurándose despensas con más de 30 kilogramos hasta con 1000 familias.

Tal como se observa en la Figura 10, en los atributos porcentaje de frutas y verduras y de alimento no-percedero existe una tendencia incremental (en tendencia central) en ambos escenarios analizados conforme se aumenta el número de familias incluidas en el modelo, mientras que en el resto se observa una tendencia negativa conforme se incrementan las familias.

Algunos puntos a resaltar del análisis de las Figuras 11 y 12, son:

- Aunque el peso de las despensas tiende a disminuir en su medida de tendencia central (mediana) conforme se incrementa el número de familias, también se aprecia que la medida de dispersión (desviación estándar) aumenta a partir de 100 familias y obteniendo una mayor dispersión en éste atributo con el escenario 1.
- Se observa que aunque la mediana del volumen por despensa disminuye conforme aumenta el número de familias, el modelo configura despensas con mayor dispersión en éste atributo, es decir, se obtienen despensas más heterogéneas, presentando una mayor dispersión en el escenario 1 a partir de 250 familias.
- El costo por despensa tiende a disminuir y esto se debe principalmente a que se incluyen menos alimento por despensa con más familias, aunque la Tabla IX indica que la varianza observada entre escenarios es estadísticamente igual para 250, 500 y 1250 familias.
- La variedad de alimento por despensa también tiende a disminuir con más familias, aunque se aprecia un ligero incremento con 1250 familias.
- En los dos escenarios de operación, el porcentaje de frutas y verduras incluidas en cada despensa se incrementa en su medida de tendencia central (mediana) y de dispersión (desviación estándar) conforme se incrementa el número de familias. Resalta el hecho que estadísticamente son iguales las medidas de medianas y varianzas para 250, 500, 750 y 1500 familias.
- Se observa una mayor dispersión en el atributo porcentaje de producto no-percedero cuando se incrementa el número de familias, principalmente en el objetivo 2, aunque el análisis de dispersión nos arroja que el objetivo 1 configura despensas más heterogéneas.
- En los días de duración por despensa calculados a partir los requerimientos nutricionales por familia, el valor de tendencia central (mediana) tiende a disminuir en ambos escenarios conforme se incrementa el número de familias en el modelo, además que la medida de dispersión (desviación estándar) del atributo también se reduce. Es decir, se configuran despensas con un menor contenido energético y despensas más homogéneas entre sí cuando se incrementa el número de familias.

El análisis estadístico de medianas y varianzas realizado en las Tablas VII y IX y el análisis de tendencia central y

ATRIBUTO	TIPO	MODELO	ESCENARIO
Peso por despensa (Kgs.)	Logístico	Objetivo 2	2
Volumen del contenedor (%)	Logístico	Objetivo 2	2
Costo por despensa (\$)	Logístico	Objetivo 1	1
Variedad de alimentos por despensa (tipos)	Logístico	Objetivo 2	2
Frutas y verduras en despensa (%)	Nutricional	Objetivo 1 o 2	1 o 2
Alimento no-perecedero en despensa (%)	Nutricional	Objetivo 1	1
Duración de despensa (Días)	Nutricional	Objetivo 2	2

Tabla X: Preferencia de escenario por atributo

dispersión de las Figuras 11 y 12 nos permiten mostrar en la Tabla X las preferencias de escenarios por atributo. Los resultados obtenidos indican que es mejor el escenario 2 en la mayoría de los atributos definidos en el estudio.

Finalmente, en la Figura 13 se resumen las características de las despensas para 10 familias seleccionadas aleatoriamente en la solución del modelo con el escenario 2 (objetivo 2) y considerando 250 familias.

5. CONCLUSIONES

Resulta complicado contar con una adecuada administración de una CSA ya que frecuentemente se deben tomar diferentes decisiones de tipo: estratégico, táctico y operacional. En éste contexto, en nuestra investigación se ha presentado un problema con una decisión de tipo *operacional* para la asignación-empaque de alimento en un BA; la motivación de éste artículo fue investigar un problema de manejo de alimento

donado en éste tipo de organización que ha recibido poca atención en la literatura.

A partir de nuestra revisión de la literatura, se resume que los estudios de manejo-distribución de alimento en una CS se enfocan principalmente a minimizar los costos de operación y la inclusión de parámetros y restricciones de tipo logísticos. Por otro lado, aunque el problema de la dieta incluye parámetros y restricciones nutricionales para la configuración de una dieta adecuada, no se encontró en la literatura,

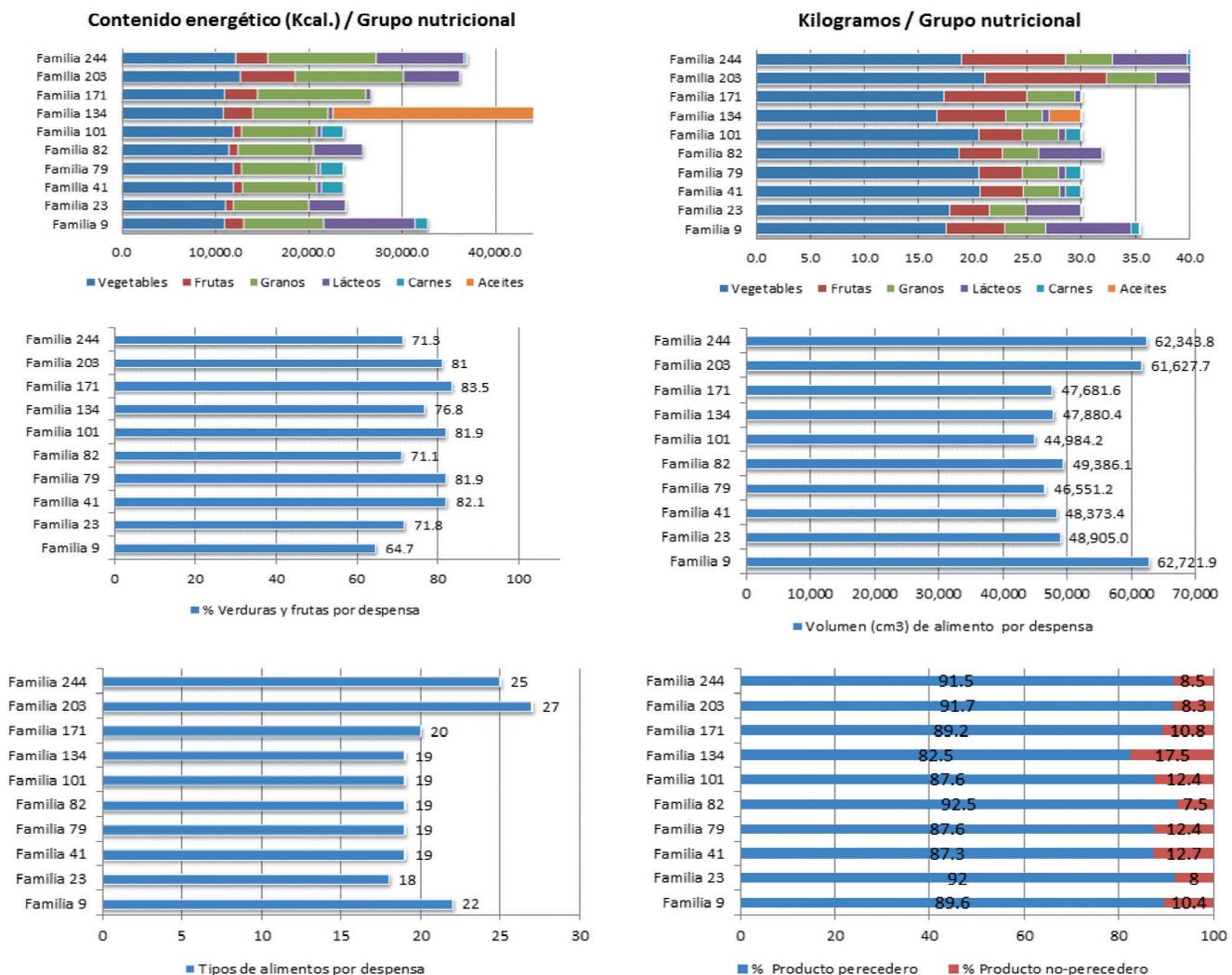


Fig. 13: Ejemplo de características nutricionales y dimensionales de despensas configuradas en escenario 2 con 250 familias

estudios que extiendan éste problema a otras restricciones de tipo logístico (oferta, demanda, costo, capacidad) que si son consideradas en estudios de CSA. Por otro lado, considerar la protección y adecuado manejo de alimentos en contenedores, implica incluir restricciones propias del PM pero enfocado a alimentos.

Otra contribución de nuestra investigación radica en la aplicación del modelo en una institución no-lucrativa con impacto social con un problema de asignación-empaque de alimento que considera simultáneamente características y restricciones de tipo logísticas y nutricionales que han sido estudiados de forma separada en tres problemas: asignación de recursos limitados en una CS, problema de empaque de alimento y problema de la dieta.

Los resultados de las simulaciones realizadas con dos escenarios de operación han demostrado que cuando se busca priorizar la selección de producto perecedero en el modelo (objetivo 1), el tiempo de búsqueda de la solución óptima se reduce en la mayoría de los casos; aunque el contenido energético total asignado en las despensas es menor que en el escenario 2 (objetivo 2). Una desventaja del escenario 1 es que asigna menor cantidad (kilogramos) de alimentos. Se ha comprobado con un análisis no-paramétrico, que en la mayoría de atributos, las despensas configuradas entre escenarios son estadísticamente diferentes en tendencia central y dispersión sin importar el número de familias incluidas.

El modelo presentado para BA ha demostrado ser adecuado para la asignación de alimento-familias integrando restricciones logísticas y nutricionales. Nuestro modelo cuenta con algunas suposiciones: primero, se asumen parámetros determinísticos; por lo que esta suposición será relajada en futuros estudios al considerar la programación difusa; además, nuestro artículo plantea la solución de un modelo mono-objetivo por lo que se considera analizar en futuras investigaciones las características de las despensas en una modelación bi-objetivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada con el apoyo del CONACYT-México. Se agradece el apoyo brindado por el Tecnológico de Monterrey y al personal del Banco de Alimentos por su cooperación e información brindada.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Simchi-Levi D. *Designing and Managing the Supply Chain: concepts, strategies, and case studies*. 2nd Edition. New York, N.Y., McGraw-Hill. 2002. ISBN-10: 0072845538
- [2] Nguyen H, Godbole G, Kalkundri K, et al. "Simulation of a food warehouse for a hunger outreach program". En: *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference*. Miami 2009. p. 1646-1651.
- [3] Okore-Hanson, A, Winbush, H, Davis, L, et al. "Empirical modeling of demand for a local food bank". En: *Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research*

- Conference. Orlando 2012.
- [4] Sengul, I, Ivy J, Uzsoy R. "Modeling for equitable food distribution under capacity constraints". En: *Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference*. Orlando 2012.
- [5] Rong A, Akkerman R, Grunow M. "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain". *International Journal of Production Economics*. 2011. Vol. 131 p. 421-429. (doi: 10.1016/j.ijpe.2009.11.026)
- [6] Borghi D, Guirardello R, Cardozo L. "Storage of fruits and vegetables in distributions centers". En: *10th International Symposium on Process Systems Engineering*. 2009. p. 1737-1742.
- [7] Cai X, Chen J, Xiao Y, Xu X. "Product selection, machine time allocation, and scheduling decision for manufacturing perishable products subject to a deadline". *Computer & Operations Research*. 2008. Vol. 35, p. 1671-1683. (doi: 10.1016/j.cor.2006.09.027)
- [8] Ahumada O, Villalobos R. "Application of planning models in the agri-food supply chain: a review". *European Journal of Operational Research*. 2009. Vol. 195, p. 1-20. (doi: 10.1016/j.ejor.2008.02.014)
- [9] Cadenas J, Pelta D, Pelta, et al. "Application of fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms". *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 158. p. 218-228.
- [10] Abd Rahman R, Ang C, Ramli R. "Investigating feed mix problem approaches: an overview and potential solution". *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2010. Vol. 70, P. 467-475.
- [11] Mahalik N, Nambiar A. "Trends in food packaging and manufacturing systems and technology". *Trends in Food Science & Technology*. 2010. Vol. 21 p. 117-128. (doi: 10.1016/j.tifs.2009.12.006)
- [12] Brody A, Bugusu B, Han J, et al. "Innovative food packaging solutions". *Journal of Food Science*. 2008. Vol. 73-8 p.107-116. (doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00933.x)
- [13] Hill R, and Hiremath C. "Generation methods for multidimensional knapsack problems and their implications". *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*. 2007. Vol. 5-5 p. 59-64.
- [14] Karuno Y, Nagamochi H, Wang X. "Bi-criteria food packing by dynamic programming". *Journal of the Operations Research - Society of Japan*. 2007. Vol. 50-4 p. 376-389.
- [15] Imahori S, Karuno Y, Yoshimoto Y. "Dynamic programming algorithms for duplex food packing problems". En: *8th IEEE International Conference (2010)* p. 857-862
- [16] Karuno Y, Nagamochi H, Wang X. "Optimization problems and algorithms in double-layered food packing systems". *Journal of advanced mechanical design, systems, and manufacturing*. 2010. Vol. 4-3, p.605-615. (doi: 10.1299/jamdsm.4.605)
- [17] United States Department of Agriculture [online]. Disponible en: <http://www.choosemyplate.gov/foodgroups/index.html> [consultado en octubre 2011].
- [18] Tablas de composición nutricional de los alimentos [online]. Disponible en: <http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentosm>. [consultado en octubre 2011].
- [19] Aporte nutricional de los alimentos [online]. Disponible en: <http://www.zonadiet.com/tablas>. [consultado en octubre 2011].
- [20] United States Department of Agriculture [online]. Disponible en: <http://www.choosemyplate.gov/myplate/index.aspx> [consultado en octubre 2011].
- [21] United States Department of Agriculture [online]. Disponible en <http://www.choosemyplate.gov/weight-management-calories/calories/empty-calories-amount.html> [consultado en octubre 2011].
- [22] Banks J, Carson J, Nelson B, Nicol D. *Discrete-event system simulation*. Fifth edition. United States of America. Prentice Hall. 2010. No. de páginas: 622. ISBN-10: 0-13-606212-1
- [23] Devore J. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Quinta edición. México. Thomson Learning. 2001. No. de páginas: 762. ISBN 970-686-067-3