

Trabajo de Grado – Maestría Ingeniería Industrial

## Modelo de Distribución de Alimentos para la Coordinación de Proveedores, Fundaciones y Comedores Comunitarios, considerando requerimientos mínimos nutricionales.

Jose Alejandro Girón Corso<sup>a,c</sup>, Clara Mabel Solano Vanegas<sup>b,c</sup>,  
Juan Pablo Caballero Villalobos<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Maestría de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>c</sup>Profesor, Codirector del Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>d</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

---

### Resumen

El presente trabajo de grado consiste en el diseño de un modelo de distribución de alimentos para la coordinación de proveedores de alimentos, fundaciones, bancos de alimentos y comedores comunitarios específicamente en Bogotá. Este modelo contempla dos módulos, el primero, consiste en el diseño de un sistema de distribución de pedidos, el cual tiene como propósito atender la demanda reduciendo el tiempo de operación y el costo de entrega. El segundo módulo busca, cumplir con los requerimientos nutricionales de los niños a través del cumplimiento de pedidos partiendo de los menús propuestos por los comedores comunitarios y el banco de alimentos de Bogotá (BDAB), para ello se hace uso de modelos matemáticos de optimización que permiten encontrar una buena solución a los problemas de coordinación en la entrega de pedidos y cumplimiento de requerimientos nutricionales. Los resultados de los módulos se compararán con la situación actual de la distribución de alimentos en el BDAB.

El resultado del Módulo de Distribución para la entrega de pedidos es la asignación de proveedores, transporte y rutas para el cumplimiento de la minuta generada actualmente por el BDAB buscando disminuir los costos asociados al pedido y el segundo módulo, tendrá como resultado un menú alimenticio que cambie de acuerdo con la disponibilidad de alimentos y a los requerimientos nutricionales de los niños que se encuentren inscritos a los programas de alimentación del BDAB. El planteamiento del primer Módulo consistió en dos modelos matemáticos, el primero, el Modelo Matemático de Coordinación de Pedidos (MMCP), el cual tiene como objetivo la disminución del costo del pedido, cumpliendo con las restricciones de oferta y demanda por parte de las fundaciones y proveedores inscritos al programa de Nutrición Integral. Para la solución del modelo se hizo uso del método Lexográfico para la solución de problemas multiobjetivo, el segundo es el Modelo Matemático de Ruteo, el cual busca disminuir la longitud de la ruta y con ello su costo, para dar solución a este modelo se utilizó la metaheurística de Búsqueda Tabú, con una solución inicial a través del Vecino más Cercano. Adicionalmente, se propone el modelo de Nutrición con el objetivo de construir menús que permitan disminuir su costo y cumplir con los requisitos nutricionales de los niños que se encuentran dentro del programa de NI.

Por último, se propone una metodología de mejora continua a través de indicadores para ajustar el modelo de distribución de pedidos a la situación actual del BDAB, a través de modelo de mejora continua DMAIC en conjunto con la metodología Jerárquica Analítica AHP.

**Palabras claves:** *Humanitarian Supply Chain, Operation, food insecurity, Tabú.*

---

## Contenido

<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
1.1. Revisión bibliográfica. ....	4
<b>2. Justificación y planteamiento del problema .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
1.1. Objetivos específicos.....	13
<b>2. Metodología. ....</b>	<b>13</b>
<b>3. Desarrollo del Proyecto .....</b>	<b>14</b>
3.1. Modelo de Nutrición (MN).....	14
3.1.1. Descripción de la Operación actual del BDAB.....	14
3.1.2. Modelo Matemático de Nutrición (MMN).....	14
3.1.3. Programación Lineal Entera-Mixta y COIN Branch and Cut para solución de MMN	16
3.1.4. Desarrollo del MMN.....	16
3.1.5. Resultados del MMN.....	17
3.2. Modelo de Distribución de Pedidos (MDP).....	23
3.2.1. Descripción de la Operación actual del BDAB.....	23
3.2.2. Modelo Matemático de coordinación de pedidos (MMCP).....	24
3.2.3. Programación Lineal Multiobjetivo con el Método Lexicográfico. ....	26
3.2.4. Desarrollo y de MMCP .....	27
3.2.5. Resultados del modelo MMCP .....	30
3.2.6. Desarrollo del Modelo Matemático Para el Ruteo de los Camiones. (MMRC).....	32
3.2.7. Búsqueda Tabú para la solución del MMRC.....	35
3.2.8. Desarrollo del MMRC .....	38
3.2.9. Resultados del MMRC .....	38
3.3. Mejora Continua del MDP.....	47
3.3.1. Metodología de Jerarquía Analítica .....	48
3.3.2. Metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC).....	49
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>53</b>

## **Glosario Abreviaturas**

CSH: Cadena de Suministros Humanitaria.

BDAB: Banco de Alimentos de Bogotá

MDP: Modelo de Distribución de Pedidos

PNI: Programa de Nutrición Integral

MMCP: Modelo Matemático de Coordinación de Pedidos

MMRC: Modelo Matemático de Ruteo de Camiones

VRPTW: Modelo de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo.

VRP: Problema de Agente Viajero (Siglas en Ingles)

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones.

RIEN: Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes

CBC: Branch and Cut

MMN: Modelo Matemático de Nutrición.

AHP: La Metodología de Jerarquía Analítica

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

## 1. Antecedentes.

Las investigaciones documentadas en bases científicas se presentan como un punto de partida para identificar las diferentes propuestas desarrolladas hasta la fecha a nivel mundial para resolver problemas en los diferentes campos de conocimiento. La preocupación e interés de diseñar organizaciones y procesos que faciliten de forma eficiente los flujos de información y bienes desde los proveedores hasta las comunidades vulnerables, se enmarcan en el concepto de logística humanitaria, proceso que se desarrolla en las cadenas de suministro humanitarias (CSH) (Abidi, De Leeuw & Klumpp, 2014). A continuación, se presenta la metodología de búsqueda aplicada y los resultados de esta.

### 1.1. Revisión bibliográfica.

La metodología de revisión de artículos científicos relacionados con el tema de este proyecto implicó inicialmente la identificación de las palabras claves para la realización de la búsqueda bibliográfica en la base de revistas científicas SCOPUS, a partir de ecuaciones de búsqueda según se resume en la tabla 1, resultando 2,622 artículos relacionados, de los cuales se seleccionaron 203 que cumplían con los siguientes tres (3) criterios, establecidos por el autor: pertenecer a los cinco autores con mayor citación, que correspondieran a los países con mayor producción de artículos científicos sobre el tema y finalmente, que estas investigaciones se refirieran a situaciones reales en el contexto de Colombia, por ser este país el de interés del investigador.

En la tabla 1, se relacionan las búsquedas realizadas y las palabras claves que resultaron en cada grupo, permitiendo identificar una primera categorización de las áreas de interés en el campo de las CSH, como son los temas relacionados con la locación y el ruteo, los sistemas de información y el manejo de recursos.

<b>Palabras claves comunes para las cuatro ecuaciones de búsqueda.</b>	
Humanitarian Logistic chain, Humanitarian Organization, Humanitarian Supply, Social Welfare Chain, Food Bank, Humanitarian Operation.	
Locación y Ruteo.	<b>Sistemas de información en las cadenas de suministros humanitarias.</b>
Facilities, location, optimization, Routing, Transportation network, transportation plan, pareto, Allocation, distribution center, cross docking.	Donor, fundraising, relief good.
Manejo de Donaciones	<b>Manejo de recursos en las cadena de suministros humanitarias</b>
Information technology, system information, supply chain	Human resource, relief network, relief work, supply chain, relief agency.

Tabla 1 Palabras Claves

A partir de esta primera revisión, se identifican dos corrientes de investigación; la primera enfocada en la comprensión y el estudio de los métodos para mejorar los procesos de atención oportuna de las poblaciones afectadas por desastres y la segunda línea, interesada en disminuir la escases de alimentos o bienes de necesidad primaria en poblaciones vulnerables, tal como se observa en la tabla 2. El trabajo desarrollado en este documento se enfoca hacia esta segunda línea de investigación.

<b>Corriente de investigación de Logística Humanitaria</b>	<b>Numero de artículos dedicados a la investigación del tema</b>
Atención oportuna y efectiva de los desastres.	80
Disminución de la escases alimentaria o de bienes en sectores vulnerables.	39
No definen una corriente.	84
Total, artículos	203

*Tabla 2 Coteo de Artículos que Estudian Cada una de las Corrientes de la Logística Humanitaria*

Los esfuerzos por recoger donaciones de alimentos y bienes, y distribuirlos a la población necesitada, se materializan al diseñar cadenas de suministros, ya que se presentan como un sistema de múltiples empresas que de forma sinérgica unen sus esfuerzos para permitir la entrega de alimentos y bienes, de forma responsable y eficiente en estos contextos catastróficos y vulnerables. De hecho, la ocurrencia de desastres, hambrunas y las emergencias humanitarias, cada vez más frecuentes, obliga a las organizaciones humanitarias a buscar formas de organización cada vez más eficientes de operar, (Abidi, De Leeuw & Klumpp, 2014). En la tabla 3 se presentan algunas propuestas de autores para lograr esta eficiencia por parte de las CSH, donde se observa que el tema de mayor preocupación es el de la inseguridad alimentaria, seguida por soluciones propuestas para un mejor manejo de recursos y donaciones, la entrega de las ayudas, la gestión de la CSH, la atención integral de la población vulnerable y ya en específico, propuestas de manejo de inventarios y transporte.

<b>Temas</b>	<b>Artículos</b>	<b>Autores de los artículos</b>
<b>Inseguridad Alimentaria</b>	18	(Yushimito, Jaller & Ukkusuri, 2012), (Handforth, Hennink & Schwartz, 2013), (Holguín-Veras, Van Wassenhove & Aros-Vera, 2013), (Phillips, Hoenigman, Higbee & Reed, 2013), (Kretschmer, Spinler & Van Wassenhove, 2014), (Fernando, Judith & Gabriel, 2014), (Brock III & Davis, 2015), (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015), (Davis, Jiang, Morgan, Nuamah & Terry, 2016), (Pérez-Rodríguez & Holguín-Veras, 2016), (Mukoya, McKay & Dunn, 2017), (Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017), (Wang, Liang, Yue & Van Wassenhove, 2017), (Gutjahr & Fischer, 2018), (Macea, Amaya, Cantillo & Holguín-Veras, 2018), (Cooksey-Stowers, Read, Wolff, Martin, McCabe & Schwartz, 2019), (Chapnick, Barnidge, Sawicki & Elliott, 2019), (Allsopp & Hosler, 2019).
<b>Manejo de recursos</b>	7	(Kovács, Tatham & Larson, 2012), (Wie & Giebler, 2013), (Tatham and Nezi Altay, Bölsche, Klumpp, & Abidi, 2013), (Kretschmer, Spinler & Van Wassenhove, 2014), (Brock III & Davis, 2015), (Ülkü, Bell & Wilson, 2015), (Davis, Jiang, Morgan, Nuamah & Terry, 2016)
<b>Gestión de la CSH</b>	7	(Balcik, Beamon, Krejci, C. C., Muramatsu & Ramirez, 2010), (Yushimito, Jaller & Ukkusuri, 2012), (Lin, Batta, Rogerson, Blatt & Flanigan, 2012), (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015), (Pérez-Rodríguez & Holguín-Veras, 2016), (Orgut, Uzsoy & Wilson, 2016)

<b>Entregas de ayuda humanitaria</b>	6	(Lin, Batta, Rogerson, Blatt & Flanigan, 2012), (Özpolat, Ribbink, Hales, & Windle, 2015), (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015), (Orgut, Ivy, Uzsoy & Wilson, 2016), (Prasad, Zakaria & Altay, 2018), (Oloruntoba & Kovács, 2015)
<b>Manejo de Donaciones</b>	5	(Handforth, Hennink & Schwartz, 2013), (Brock III, & Davis, 2015), (Özpolat, Ribbink, Hales & Windle, 2015), (Ülkü, Bell & Wilson, 2015), (Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017)
<b>Atención a población vulnerable</b>	4	(Kovács, Tatham, & Larson, 2012), (Tatham, Bölsche, Klumpp, & Abidi, 2013), (Davis, Jiang, Morgan, Nuamah, & Terry, 2016), (Wang, Liang, Yue & Van Wassenhove, 2017)
<b>Gestión de Inventarios y Transporte</b>	2	(Brock III & Davis, 2015), (Pérez-Rodríguez & Holguín-Veras, 2016)

*Tabla 3 Temas específicos tratados en los artículos referentes a Cadenas de Suministro Humanitarias*

Revisando las propuestas de modelos de CSH, se observa como Mohan, Gopalakrishnan & Mizzi (2013), consideran varios proveedores como bancos de alimentos y almacenes de cadena, y como destino, comedores comunitarios, otros bancos de alimentos y comunidades de personas vulnerables. De forma interesante, estiman la demanda y puntos de entrega a partir del nivel de ingreso de los hogares y se enfocan en la mejora de la operación de distribución. De igual forma se presenta un modelo de CSH en Kenya el cual plantea un híbrido entre el problema de locación sin considerar capacidad (UFLP) y el modelo de cobertura (LCP), el cual resuelven mediante un modelo de programación lineal que busca minimizar el costo de llevar alimentos a la población.

Los diferentes autores han incluido en sus modelos de CSH diferentes actores siendo los bancos de alimentos una de las organizaciones con mayor presencia, de acuerdo con lo observado en la tabla 4. Los bancos participan activamente en la consecución, manejo y distribución de alimentos, medicamentos y bienes a las diferentes poblaciones, en las situaciones donde aumenta el riesgo de inseguridad alimentaria. Se encuentra igualmente gran participación de entidades privadas en la conformación de las CSH, en momentos de requerir atender las necesidades de poblaciones vulnerables. De igual forma, de la revisión de los documentos, se destaca la participación de la Cruz Roja, como organización que atiende la ocurrencia de desastres de rápido impacto como terremotos o tsunamis.

<b>Actores de la CSH</b>	<b>Artículos</b>	<b>Autores</b>
<b>Banco de Alimentos</b>	10	(Lin, Batta, Rogerson, Blatt & Flanigan, 2012), (Handforth, Hennink & Schwartz, 2013). (Phillips, Hoenigman, Higbee & Reed, 2013), (Kretschmer, Spinler & Van Wassenhove, 2014), (Brock III & Davis, 2015), (Orgut, Ivy, Uzsoy & Wilson, 2016), (Mukoya, McKay, & Dunn, 2017), (Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017), (Cooksey-Stowers, Read, Wolff, Martin, McCabe & Schwartz, 2019), (Chapnick, Barnidge, Sawicki & Elliott, 2019)
<b>Entidades Privadas</b>	8	(Lin, Batta, Rogerson, Blatt, A & Flanigan, 2012) (Yushimito, Jaller & Ukkusuri, 2012), (Lin, Batta, Rogerson, Blatt & Flanigan, 2012), (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015) (Lee, Sönmez, Gómez, & Fan, 2017) (Kretschmer, Spinler & Van Wassenhove, 2014) (Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017), (Chapnick, Barnidge, Sawicki & Elliott, 2019).
<b>Cruz Roja</b>	2	(Ülkü, Bell & Wilson, 2015), (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015).
<b>Entidades gubernamentales</b>	3	(Özpolat, Ribbink, Hales & Windle, 2015) (Allsopp, & Hosler, 2019) (Allsopp, & Hosler, 2019)
<b>Organizaciones no gubernamentales</b>	3	(Prasad, Zakaria & Altay, 2018) (Phillips, Hoenigman, Higbee & Reed, 2013) (Mukoya, McKay, & Dunn, 2017) (Rancourt, Cordeau, Laporte, & Watkins, 2015)

*Tabla 4 Actores que participan en las CSH*

Adicionalmente, se evidencia la aplicación de modelos de optimización y modelos matemáticos, como modelos de optimización lineal ( Sharifyazdi, Navangul, Gharehgozli & Jahre, 2018), heurísticas y metaheurísticas, para el diseño de CSH. Dentro de estas últimas aplican la búsqueda tabú para la locación de centros de distribución (Salman & Yücel, 2015), algoritmo genético para la locación de centros de distribución y la distribución de alimentos (Najafi, Farahani, De Brito & Dullaert, 2015).

<b>Herramientas y modelos</b>	<b>Artículos</b>	<b>Autores</b>
Modelos matemáticos Modelo de Optimización	10	(Brock III & Davis, 2015), (Orgut, Ivy, Uzsoy & Wilson, 2016), (Oloruntoba & Kovács, 2015) (Yushimito, Jaller & Ukkusuri, 2012), (Lin, Batta, Rogerson, Blatt & Flanigan, 2012), (Pérez-Rodríguez & Holguín-Veras, 2016), (Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017), (Wang, Liang, Yue & Van Wassenhove, 2017), (Gutjahr & Fischer, 2018), (Macea, Amaya, Cantillo & Holguín-Veras, 2018)
Modelos de simulación	2	(Phillips, Hoenigman, Higbee & Reed, 2013), (Brock III & Davis, 2015)
Inteligencia Artificial	2	(Brock III & Davis, 2015), (Prasad, Zakaria & Altay, 2018)
Métodos no paramétricos	1	(Allsopp & Hosler, 2019)
Sistemas de Información Geográfica	1	(Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015)

*Tabla 5 Herramientas y Modelos utilizados en las investigaciones revisadas*

Específicamente, los autores preocupados por lograr la seguridad alimentaria mediante un suministro suficiente de alimentos, estabilidad en el suministro de alimentos, durante todo el año y de un año a otro y el acceso físico y económico de los alimentos, lo cual requiere que exista la capacidad y los recursos, con el objetivo de producir u obtener todos los alimentos necesarios (Latham, 2002), han utilizado varias herramientas y modelos como se observa en la tabla 6.

Herramientas y modelos	Artículos	Autores
Planeación de la demanda	1	(Mohan, Gopalakrishnan & Mizzi, 2013).
"Schedule optimization" y "Network Optimization"	2	(Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017), (Mohan, Gopalakrishnan & Mizzi, 2013).
Modelo de optimización estocástica	1	(Lee, Sönmez, Gómez & Fan, 2017)
Método Rasch para medición de estadísticos	1	(Camargo, Quintero & Herrán, 2012)
Política de distribución de alimentos	1	(Sucharitha & Lee, 2018)
Modelo de programación Linear determinística multiobjetivo (Equidad y efectividad)	1	(Orgut, Ivy, Uzsoy & Wilson, 2016)

*Tabla 6 Herramientas y Modelos utilizados en la investigación del tema de inseguridad Alimentaria*

De hecho, Sucharitha & Lee (tabla 6) proponen el diseño de una política de vecino más cercano, partiendo de la adquisición de alimentos basado en la programación semanal de pedidos bajo un sistema de horario fijo. El banco de alimentos, luego de recibir los pedidos, se encarga de su procesamiento e inspección y envía a las fundaciones y comedores comunitarios, tomando como criterio la heurística del vecino más cercano, presentando resultados satisfactorios en cuanto a disminución del desperdicio y cobertura (2018).

Por otra parte, Orgut , Ivy , Uzsoy & Wilson proponen un modelo que busca maximizar la cantidad de alimentos distribuidos en un tiempo determinado, cumpliendo una restricción de igualdad de suministro para todos los beneficiarios. En el estudio se logró encontrar algunos beneficiarios que son cuello de botella y formuló un algoritmo que tiene como fin asignar alimentos adicionales a cada uno de los beneficiarios de acuerdo con los resultados de cuello de botella del primer algoritmo (2016).

Es así como se establece que enfocar este trabajo a la propuesta de soluciones que permitan atender problemas presentes en las CSH interesadas en disminuir la escases alimentaria es altamente pertinente, especialmente en países como Colombia donde la existencia de estas poblaciones vulnerables es permanente, ya que las condiciones sociales y económicas los mantienen en esta situación. También se encuentra que el papel de los bancos de alimentos en las CSH se presenta como una organización que facilita la operación de esta, no solo en momentos de ocurrencia de catástrofes, sino como entidad coordinadora de alimentos entre los donadores y las poblaciones vulnerables. Los modelos matemáticos de optimización se presentan como una opción ampliamente acogida para proponer soluciones que mejoren la eficiencia de la CSH, y en específico, el problema de la inseguridad alimentaria.

## **2. Justificación y planteamiento del problema**

Los desastres naturales, la pobreza, la hambruna y las catástrofes son fenómenos naturales y sociales constantes en la historia de la humanidad, sin embargo, la respuesta planeada y organizada por parte de organizaciones humanitarias a estos eventos catastróficos es una problemática que los investigadores han abordado recientemente (Anaya-Arenas, Renaud, & Ruiz, 2014). De hecho, la investigación de la cadena de suministros y logística humanitaria es un tema que, según la bibliografía revisada, cobra importancia en este siglo, como se observa en la *figura 1*. Específicamente el concepto “logística humanitaria” ha tenido un gran



desarrollo en los últimos 20 años, gracias al aporte de varios investigadores, quienes han considerado aspectos como el mejoramiento de la operación en la cadena, el diseño de sistemas de recolección de alimentos, medicamentos, capital y bienes, la definición de la localización de almacenamientos y centros de distribución, así como temas relacionados con inseguridad alimentaria (Cotes & Cantillo, 2019).

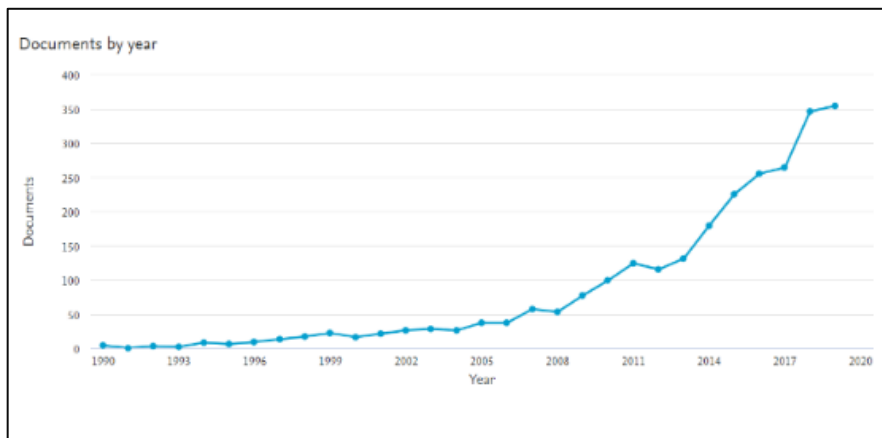


Figura 1. Resultado de la búsqueda en Scopus, Ecuación de Búsqueda: "humanita\* logisti\*" OR "humanita\* logisti\* chain\*" OR "humanita\* organi?ation" OR "humanita\* suppl\*" OR "social welfare chain\*" OR "Food bank\*" OR "humanita\* opera?io\*" ).

Los desastres (Van Wassenhove, 2006), se categorizan de acuerdo con dos criterios, los cuales muestran en la **figura 2**, el primero es la velocidad de aparición del evento; pueden ser de aparición lenta, como hambrunas, sequías o pobreza y aquellos que se consideran de aparición repentina, tales como huracanes o terremotos. El segundo criterio se refiere a la causa del desastre; pueden ser causados por el hombre (ataque terrorista o una crisis política) y los desastres causados por la naturaleza como terremotos o tsunamis.

	Natural	Man-made
Sudden-onset	Earthquake Hurricane Tornadoes	Terrorist Attack Coup d'Etat Chemical leak
Slow-onset	Famine Drought Poverty	Political Crisis Refugee Crisis

Figura 2 Clasificación de los desastres (Van Wassenhove, 2006)

Para responder y atender las necesidades generadas ante la ocurrencia de desastres y crisis humanitaria, las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales improvisan el diseño de cadenas de suministros, para atender las demandas de recursos necesarios para salvar las vidas de las víctimas. Sin embargo, ante el aumento de desastres de corto y largo plazo (Abidi, De Leeuw, & Klumpp, 2014), las diferentes organizaciones humanitarias se han visto obligadas a mejorar sus procesos, de acuerdo al desarrollo tecnológico y a la información disponible, la cual aumenta conforme a la ocurrencia de eventos relacionados a desastres (Cotes & Cantillo, 2019).

Dentro de estos desastres se encuentran la pobreza y hambruna, principales causas de la inseguridad alimentaria, las cuales ocurren cuando los hogares tienen acceso limitado a una buena calidad de alimentos y no se proporciona un balance nutricional adecuado (Handforth, Hennink, & Schwartz, 2013). Se configura así un

problema de salud pública, causante de consecuencias desfavorables para la salud, especialmente en niños (Allsopp, & Hosler, 2019). Actualmente en el mundo existen 821 millones de personas que sufren hambre al año, es decir, 1 de cada 9 personas; adicionalmente, 50.5 millones de niños menores de 5 años padecen de retraso de crecimiento a causa del hambre. En Latinoamérica y el Caribe el hambre está en aumento, afectando a 42,5 millones de personas (2018), el 6,5% de la población regional. Es así como las tasas de subalimentación han aumentado en los últimos años, en gran parte como consecuencia de la situación de América del sur en donde el porcentaje de personas con hambre aumento del 4,6% en 2013 al 5,5% en 2018. En Colombia, la prevalencia de subalimentación en la población total es de 4,8 %, es decir 2.4 millones de personas, lo cual equivale aproximadamente a la población de Qatar. La inseguridad alimentaria aumenta de acuerdo con el nivel de pobreza de los hogares, estudios de múltiples países confirman que la prevalencia del retraso del crecimiento es mayor en hogares con niveles más bajos de riqueza e ingresos. Los niños más pobres tienen 2,26 veces más probabilidades de padecer retraso del crecimiento que los niños más ricos (FAO, 2019).

De acuerdo con las Naciones Unidas (UN) el hambre y la malnutrición plantean dos grandes riesgos a la salud mundial, mantener la seguridad alimentaria a nivel nacional es prioritario para un mayor desarrollo. (Rancourt, Cordeau, Laporte & Watkins, 2015). La inseguridad alimentaria sucede cuando se limita el acceso a la comida nutricionalmente adecuada sin recurrir a robos o limosnas, además, existe evidencia de que las personas que sufren inseguridad alimentaria son más propensas a sufrir de desnutrición, debido a dietas deficientes en comparación con las personas que consumen alimentos seguros y la carga calórica adecuada. (Handforth, Hennink & Schwartz, 2013).

Una de las formas con las cuales la población más vulnerable busca alimentos son los bancos de alimentos, se estima que existe 46.5 millones de personas recibiendo alimentos provistos por bancos de alimentos anualmente (FAO, 2019). En estos últimos años, varios investigadores y organizaciones han intentado mejorar las técnicas de abastecimiento en los bancos de alimentos y fundaciones, con el objetivo de disminuir la inseguridad alimentaria para familias en situación vulnerable.

En Colombia, el Banco de Alimentos de Bogotá (BDAB) es una organización que recibe alimentos, no alimentos (productos de aseo, higiene personal y protección femenina), bienes y servicios para llevar a Organizaciones Sin Ánimo de Lucro que atienden población vulnerable. Con el apoyo de la Academia, el Sector Privado y Público, cuenta con más de 1.129 organizaciones beneficiarias, a las cuales han servido más de 885.357 raciones de comida y atendido a 4.271 niños entre 1 – 18 años a través de diferentes programas de nutrición dirigidos a poblaciones vulnerables, los cuales, junto con programas sociales, buscan mejorar la calidad de vida de familias que se encuentran en estado de vulnerabilidad y que son atendidas por organizaciones sociales adscritas (Banco de Alimentos, 2017).

De acuerdo con Jhon de la Rotta, Líder de Gestión del Conocimiento en el BDAB, existen oportunidades de mejora para el BDA y su cadena de suministros. En primer lugar, la coordinación de los pedidos actualmente se ejecuta de forma manual, por ello, no se está garantizando un buen manejo de inventarios y la buena toma de decisiones al momento del “picking”. En segundo lugar, debido a que los productos son de carácter benéfico, usualmente su fecha de caducidad es corta y en ocasiones llegan a perderse, lo cual representa una disminución en su nivel de servicio. Por último, el BDAB se compromete a suplir con el 50% del requerimiento nutricional de los niños, esta cantidad podría mejorar si se garantiza la disponibilidad de los alimentos que, nutricionalmente, cumplan con los requerimientos mínimos para los niños que acuden a las diferentes organizaciones adscritas al banco.

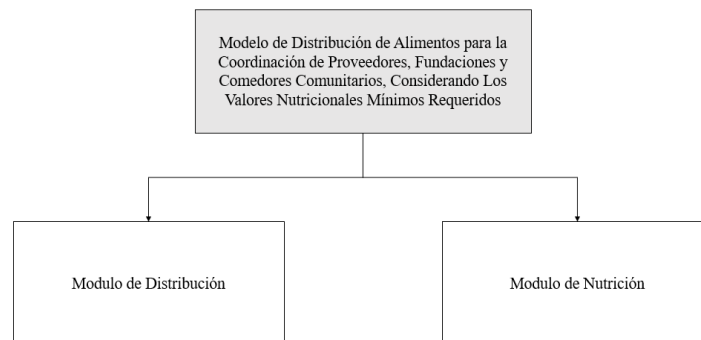
Por otra parte, uno de los retos más grandes que enfrentan las cadenas de suministro de alimentos es la excesiva cantidad de comida que se desperdicia en el mundo, en total, solamente en un año se desaprovecha

1.300 millones de toneladas de comida al año, y 9.76 millones, solo en Colombia. La situación es alarmante, más aún considerando el número de personas que sufren hambre al año, el cual es 1.940.000 cada año, por ello, es claro que existe un problema en el tratamiento que se le da a los alimentos, este reto ha llevado al BDAB a pensar en soluciones que le permitan aprovechar en una porcentaje mayor los alimentos que reciben, para ello buscan una herramienta que les permita diseñar los menús alimenticios de acuerdo con la disponibilidad de productos que dispongan, asegurando el mínimo nutricional demandado por los comedores comunitarios inscritos en los programas del BDA (Banco de Alimentos, 2018).

Por todo lo anterior, se establece que el problema de investigación es el siguiente:

¿Cómo diseñar un modelo de distribución de alimentos permitirá al BDAB, cumplir los requerimientos nutricionales de los comedores comunitarios a través de la coordinación de proveedores de alimentos y transporte, buscando disminuir el costo de pedido y asegurando el tiempo oportuno para mantener la inocuidad de los alimentos?

Acorde a lo anterior, se propone como una posible solución el diseño de un Modelo de Distribución de Alimentos que permita la Coordinación de Proveedores para que abastezcan a los Comedores Comunitarios, considerando valores nutricionales mínimos requeridos. Este diseño se desarrollará en etapas o módulos. El primer módulo, es el diseño de un sistema de coordinación de entrega de pedidos, el cual tiene como propósito atender la demanda reduciendo el tiempo de la operación y el costo de entrega. El segundo modulo busca, cumplir con los requerimientos nutricionales de los niños a través del cumplimiento de pedidos partiendo del menú propuestos por los comedores comunitarios y el BDA, buscando disminuir el riesgo de desnutrición aguda y el sobrepeso.



*Figura 3 Estructura de la solución propuesta*

Los procesos internos y externos de una cadena de suministros se pueden analizar como una estructura en

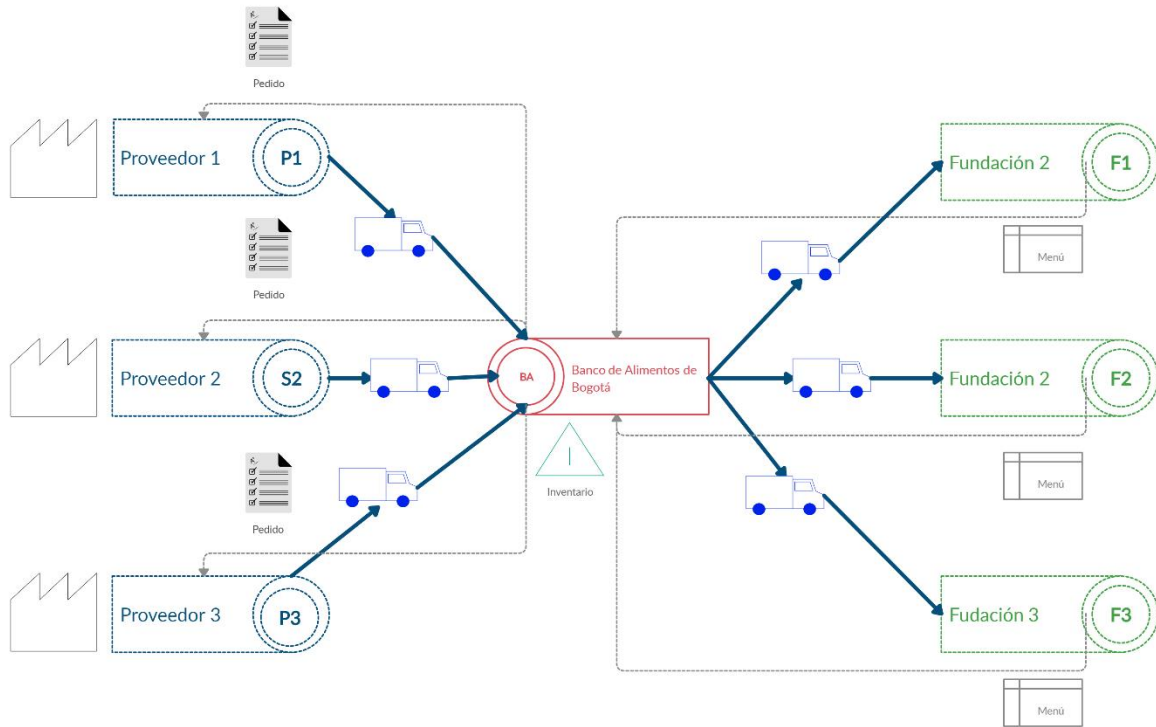


Figura 4 Cadena de Suministros General del BDAB

que el caos y lo impredecible pueden afectar las variables y restricciones claves, cuando se tienen en cuenta estos cambios es posible reaccionar de una manera eficiente a los retos que esto (Jiménez Ramírez & Peña, 2011). Por ello, el modelo que se propone es dinámico y se utiliza una metodología de mejora continua a través de indicadores para ajustar al modelo de acuerdo con los cambios en las variables externas e internas de la cadena de suministros.

Los temas tratados en los documentos están en línea con el énfasis de Logística, debido a que se aplican los temas de coordinación de pedidos, ruteo de vehículos, heurísticas y metaheurísticas para resolución de problemas combinatorios. Adicionalmente, los resultados obtenidos del trabajo impactarán directamente a la cadena de suministros del BDAB.

# 1. Objetivos.

*Diseñar un modelo de coordinación de pedidos que le permita al BDAB, cumplir los requerimientos nutricionales de los comedores comunitarios a través de la coordinación de proveedores de alimentos y transporte, buscando disminuir el costo de pedido y asegurando el tiempo oportuno para no sobrepasar la fecha de caducidad de los alimentos.*

## 1.1. Objetivos específicos.

- 1 Proponer y/o identificar el modelo matemático para la construcción de un menú alimenticio que permita cumplir con el requerimiento nutricional de los niños inscritos al BDAB y que tenga en cuenta la disponibilidad de alimentos.
- 2 Proponer y/o identificar el modelo matemático para coordinar los pedidos del BDAB, el cual disminuya el costo de pedido y asegure el tiempo oportuno para no sobrepasar la fecha de caducidad de los alimentos.
- 3 Proponer una metodología de mejora continua a través de indicadores para ajustar el modelo de distribución de pedidos a la situación actual del BDAB.

# 2. Metodología.

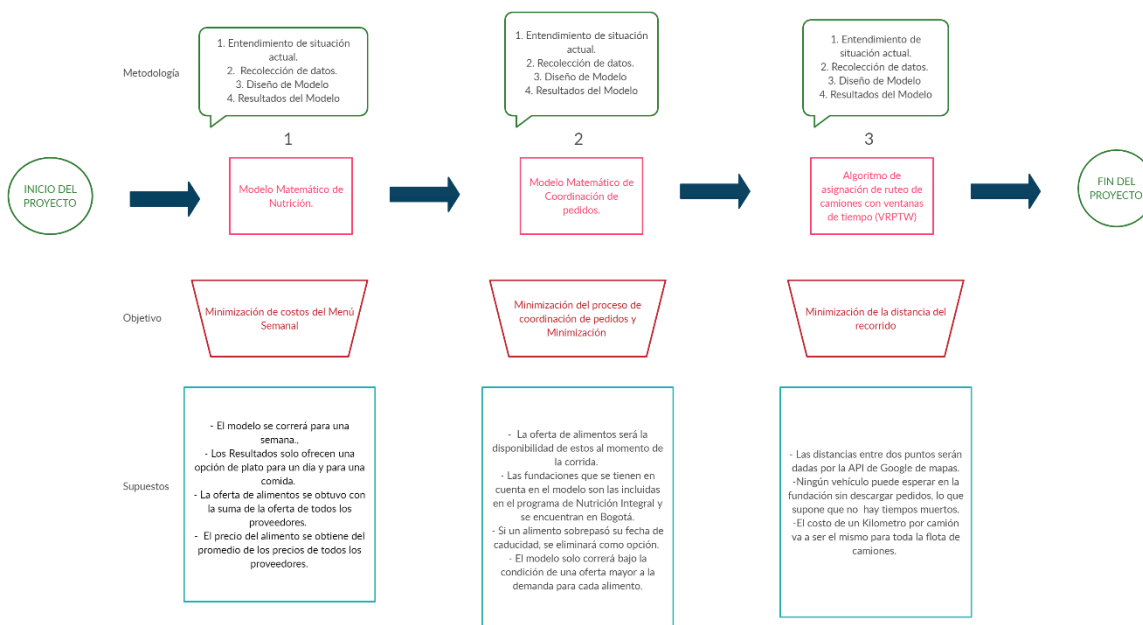


Figura 5 Metodología del Proyecto

### 3. Desarrollo del Proyecto

Cumpliendo los objetivos específicos planteados en el desarrollo del proyecto, se describirán los modelos matemáticos, comenzando por el de nutrición, seguido por el modelo distribución de pedidos del BDAB y, por último, una propuesta para la mejora continua para el ajuste del modelo de distribución de alimentos para la coordinación de proveedores, Fundaciones y Comedores Comunitarios.

#### 3.1. Modelo de Nutrición (MN)

##### 3.1.1. Descripción de la Operación actual del BDAB.

El BDAB busca suplir los requerimientos nutricionales con los alimentos que tiene disponibles. De acuerdo con la demanda nutricional de los niños inscritos en las fundaciones que se encuentran dentro del PNI se construyen diferentes Menús, los cuales se distribuyen a lo largo de la semana. Para medir la demanda, el banco de alimentos cuenta con el apoyo de 2 nutricionistas, las cuales mediante la medición del peso y la talla de los niños y a diferentes rangos de edad (*anexo 4*) calcula el valor calórico y se construye finalmente el Menú. Para la construcción de los requisitos nutricionales mínimos, se obtienen los datos de la Resolución 3803 de 2016, en la cual se establecen las Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIENJ) del Ministerio de Salud y Protección Social y el aporte nutricional de cada alimento se obtiene del documento Tabla de Composición de Alimentos Colombianos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.

El procedimiento de la creación de Menús en el BDAB se desarrolla de forma manual y no tiene en cuenta en gran medida la disponibilidad de alimentos que se dispone en el momento, por tal razón el BDAB puede incurrir en costos adicionales al no aprovechar los alimentos que tienen disponible, así mismo, la operación aumenta el desperdicio de alimentos. Debido a que existen alimentos que pueden suplir de igual forma los requerimientos nutricionales y no se tienen en cuenta debido a la ausencia de información oportuna de disponibilidad.

##### 3.1.2. Modelo Matemático de Nutrición (MMN)

Para la formulación del MMCP se revisó, entre otros, los trabajos realizados el trabajo desarrollado por (Ali, Sufahani & Ismail, 2016), quienes plantearon un algoritmo para dar solución a un problema de dietas teniendo en cuenta la disponibilidad de alimentos y los requerimientos nutricionales de un grupo de niños entre 13 y 18 años, a través de la solución de un modelo matemático de programación entera mixta.

#### **Conjuntos**

$D \rightarrow$  Conjunto de Plato  
 $A \rightarrow$  Conjunto de Alimentos  
 $N \rightarrow$  Conjunto de Nutrientes  
 $T \rightarrow$  Conjunto de Tipo de alimento

$H \rightarrow$  Conjunto de días

### Variables

$X_{t,d,h} \rightarrow$  Binaria: 1 si el plato (d) de tipo (t) esta incluido en el menú del día (h)

$Y_a \rightarrow$  Cantidad de alimento (a) aprovechado para la construcción del menú

### Parámetros

$Nutrali_{a,n} \rightarrow$  Cantidad de Nutrientes (n) presentes en el alimento (a)

$Alipla_{d,a} \rightarrow$  Cantidad de producto (a) necesario para realizar el plato (d)

$O_a \rightarrow$  Oferta del producto (a)

$d_n \rightarrow$  Demanda de cada Nutriente (n)

### Funciones Objetivo

$$\text{Min} \sum_a C_a Y_a \rightarrow \text{Costo total del Menú} \quad (26)$$

### Restricciones

$$\sum_h \sum_t \sum_d \sum_a X_{t,d,h} \text{Alipla}_{d,a} \text{Nutrali}_{a,n} \geq d_n \forall n \in N \rightarrow \text{Garantiza el cumplimiento de los requerimientos de cada nutriente (n)} \quad (27)$$

$$\sum_h \sum_t \sum_d X_{t,d,h} \text{Alipla}_{d,a} \leq O_a \forall a \in A \rightarrow \text{Asegura que la cantidad de alimento (a) aprovechado para la construcción del menú sea menor a su oferta} \quad (28)$$

$$\sum_d X_{t,d,h} = 1 \forall d \in D; \forall h \in H \rightarrow \text{Garantiza que el tipo de plato (t) sea preparado todos dias (h)} \quad (29)$$

$$\sum_h \sum_t \sum_d X_{t,d,h} \text{Alipla}_{d,a} = Y_a \forall a \in A \quad (30)$$

La función objetivo (26) minimiza el costo total del Menú, el cual es la suma de los costos promedio de adquirir alimento disponible. Es importante aclarar que los alimentos que se consideran para el modelo de MMN, no se tiene en cuenta el proveedor del alimento, ni marcas, solamente el producto genérico. El precio del producto tomado en cuenta para el modelo se representa a continuación (31).

$$\frac{\sum_{i=0} \mathbf{CX}_{ij}}{n} = \mathbf{CM}_j$$

Siendo  $\sum_{i=0} \mathbf{CX}_i$  la sumatoria de los costos de los proveedores (i), n el total de proveedores y  $\mathbf{CM}_j$  el costo promedio del alimento j, el cual será el que se utilice en el modelo de MMN.

### 3.1.3. Programación Lineal Entera-Mixta y COIN Branch and Cut para solución de MMN

El modelo de MMN fue formulado a través de la Programación Lineal de Enteros Mixtos, teniendo como función objetivo el costo total de la construcción de la minuta. Para la resolución del modelo se utilizó el Solver Branch and Cut (CBC) incluido en la biblioteca de Google Or-Tools (Perron & Furnon, 2019), el cual proporciona una solución para problemas de optimización Entera-Mixta desarrollada por la organización de infraestructura computacional para la investigación de operaciones (COIN|OR), contando para su comunicación con la interfaz se puede comunicar con éste a través del COIN (OSI) (Ali, Sufahani & Ismail, 2016).

### 3.1.4. Desarrollo del MMN

#### *Construcción de la Minuta.*

Con respecto a la construcción de la minuta, es necesario tener en cuenta que el modelo se correrá una vez por cada una de las fundaciones que hacen parte del programa, teniendo en cuenta para ello, la disponibilidad de alimentos en el momento de la corrida, el orden de prioridad para cada una de las fundaciones la definirá el banco de alimentos, de acuerdo con los criterios que considere necesarios.

Por otra parte, la minuta construida en el modelo MMN entregará las comidas definidas en la situación actual del BDA, estas comidas son el desayuno, los nueves, el almuerzo, las onces y la cena. Adicionalmente, el modelo coordinará los menús semanales, por lo tanto, éste se correrá todos los sábados. Esto permitirá que los niños puedan disfrutar menús variados y aprovechar los alimentos de una manera oportuna.

#### *Características técnicas del modelo.*

Para dar solución al MMN, se utilizó el lenguaje de programación Python 3.7.6 (default, Jan 8 2020, 20:23:39) [MSC v.1916 64 bit (AMD64)]. Las pruebas del modelo se corrieron en el ambiente Anaconda, con el editor de texto Visual Studio Code de Microsoft. Adicionalmente, se utilizó la suite de distribución libre de Google OR-TOOLS, la cual proporciona librerías con algunos Solvers adecuados para la solución del MMN, en específico la librería Pywraplp, utilizando el solver CBC\_MIXED\_INTEGER\_PROGRAMMING.

Por último, se hizo uso de librerías de distribución libre como Numpy, Pandas y Pywraplp como herramientas para la programación del modelo. Las instancias se corrieron en un ordenador con la CPU Intel Core i5 8300GH 14nm 4 Cores 2.30GHz, GPU Nvidia GeForce GTX 1050, con una memoria RAM de 16 GB.



### 3.1.5. Resultados del MMN

Con el fin de obtener los resultados del MMN, se obtuvieron los datos de la oferta de alimento, los cuales eran el resultado de la suma de la oferta de cada proveedor para cada alimento, en el *anexo 5*, se pueden observar los datos de la oferta de los alimentos.

Con respecto a los requisitos nutricionales del Banco de Alimentos, se consideró la tabla de Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIEN) del Ministerio de Salud y Protección Social, la talla, edad y peso de los niños y la población de cada una de las fundaciones de Bogotá que se encuentran dentro del programa de Nutrición Integral.

De igual manera, el aporte nutricional de los alimentos aprovechados para la construcción del menú se obtiene del Tabla de Composición de Alimentos Colombianos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. En el *anexo 5* se puede observar los componentes nutricionales de los alimentos y los requerimientos nutricionales para cada fundación.

Con respecto al menú construido, de acuerdo con situación actual del BDAB, se tuvo en cuenta un menú semanal (De lunes a Domingo) que incluye 5 comidas, las cuales son; desayuno, Nueves, Almuerzo, Onces y Cena.

A continuación, en la tabla 19 se muestran los requisitos nutricionales de cada fundación para una semana.

	Fundación 1	Fundación 2	Fundación 3	Fundación 4	Fundación 5	Fundación 6	Fundación 7	Fundación 8	Fundación 9	Fundación 10	Fundación 11	Fundación 12	Fundación 13	Fundación 14	Fundación 15
<b>calorías</b>	516775	1033550	1835750	293720	947327.5	744240	591080	799470	577395	843885	710640	621810	710640	1998675	932715
<b>proteína (gr)</b>	6860	13720	28000	4480	14448	9632	7756	10332	7462	10906	9184	8036	9184	25830	12054
<b>Grasa (gr)</b>	8820	17640	37800	6048	19474	11760	10080	12600	9100	13300	11200	9800	11200	31500	14700
<b>Carbohidratos (gr)</b>	36400	72800	182000	29120	93730	45500	45500	49140	35490	51870	43680	38220	43680	122850	57330
<b>Fibra (gr)</b>	7910	15820	30800	4928	15883	11060	8834	11844	8554	12502	10528	9212	10528	29610	13818
<b>Vitamina A (mg)</b>	22.4	44.8	112	17.92	57.68	28	28	30.24	21.84	31.92	26.88	23.52	26.88	75.6	35.28
<b>Vitamina D (mg)</b>	4.2	8.4	21	3.36	10.815	5.25	5.25	5.67	4.095	5.985	5.04	4.41	5.04	14.175	6.615
<b>Vitamina E (mg)</b>	5.11	10.22	24.5	3.92	12.621	6.538	6.314	7.056	5.096	7.448	6.272	5.488	6.272	17.64	8.232
<b>Vitamina K (mg)</b>	15.05	30.1	56	8.96	28.91	21.77	16.52	23.31	16.835	24.605	20.72	18.13	20.72	58.275	27.195
<b>Tiamina (mg)</b>	196	392	630	100.8	324.8	284.2	201.6	302.4	218.4	319.2	268.8	235.2	268.8	756	352.8
<b>Riboflavina (mg)</b>	196	392	630	100.8	324.8	284.2	201.6	302.4	218.4	319.2	268.8	235.2	268.8	756	352.8
<b>Niacina (mg)</b>	2240	4480	7700	1232	3969	3192	2366	3402	2457	3591	3024	2646	3024	8505	3969
<b>Vitamina B (mg)</b>	196	392	630	100.8	324.8	284.2	201.6	302.4	218.4	319.2	268.8	235.2	268.8	756	352.8
<b>Vitamina B12 (mg)</b>	364	728	1190	190.4	613.9	532	379.4	567	409.5	598.5	504	441	504	1417.5	661.5
<b>Folato (mg)</b>	58.45	116.9	196	31.36	101.08	84.7	59.71	90.09	65.065	95.095	80.08	70.07	80.08	225.225	105.105
<b>Vitamina C (mg)</b>	9590	19180	24500	3920	12649	14770	8834	15624	11284	16492	13888	12152	13888	39060	18228
<b>Calcio (mg)</b>	245000	490000	910000	145600	469700	351400	284200	378000	273000	399000	336000	294000	336000	945000	441000
<b>Fósforo (mg)</b>	202650	405300	549500	87920	283080	296450	220850	316890	228865	334495	281680	246470	281680	792225	369705
<b>Magnesio (mg)</b>	50050	100100	122500	19600	63245	77560	44800	81900	59150	86450	72800	63700	72800	204750	95550
<b>Hierro (mg)</b>	2184	4368	7490	1198.4	3863.3	3152.8	2319.8	3364.2	2429.7	3551.1	2990.4	2616.6	2990.4	8410.5	3924.9
<b>Zinc (mg)</b>	1470	2940	3500	560	1802.5	2226	1190	2331	1683.5	2460.5	2072	1813	2072	5827.5	2719.5
<b>Selenio (mg)</b>	84	168	280	44.8	144.41	121.66	88.9	129.78	93.73	136.99	115.36	100.94	115.36	324.45	151.41
<b>Cobre (mg)</b>	127.75	255.5	420	67.2	216.58	184.87	135.24	197.19	142.415	208.145	175.28	153.37	175.28	492.975	230.055
<b>Yodo (mg)</b>	208.6	417.2	910	145.6	468.65	274.26	237.58	293.58	212.03	309.89	260.96	228.34	260.96	733.95	342.51
<b>Fluoruro (mg)</b>	469	938	1190	190.4	613.9	714	442.4	756	546	798	672	588	672	1890	882
<b>Potasio (mg)</b>	1120000	2240000	4760000	761600	2454200	1521800	1328600	1638000	1183000	1729000	1456000	1274000	1456000	4095000	1911000
<b>Histidina (mg)</b>	3.78	7.56	20.3	3.248	10.444	4.424	4.886	4.788	3.458	5.054	4.256	3.724	4.256	11.97	5.586
<b>Isoleucina (mg)</b>	5.25	10.5	28	4.48	14.406	6.174	6.748	6.678	4.823	7.049	5.936	5.194	5.936	16.695	7.791
<b>Leucina (mg)</b>	11.62	23.24	61.6	9.856	31.696	13.748	14.896	14.868	10.738	15.694	13.216	11.564	13.216	37.17	17.346
<b>Lisina (mg)</b>	10.78	21.56	57.4	9.184	29.533	12.698	13.846	13.734	9.919	14.497	12.208	10.682	12.208	34.335	16.023
<b>Metionina + Cisteína (mg)</b>	5.25	10.5	28	4.48	14.406	6.174	6.748	6.678	4.823	7.049	5.936	5.194	5.936	16.695	7.791
<b>Fenilalanina + Tirosina (mg)</b>	9.66	19.32	51.8	8.288	26.649	11.298	12.446	12.222	8.827	12.901	10.864	9.506	10.864	30.555	14.259
<b>Treonina (mg)</b>	5.6	11.2	30.1	4.816	15.484	6.524	7.21	7.056	5.096	7.448	6.272	5.488	6.272	17.64	8.232
<b>Triptófano (mg)</b>	1.47	2.94	7.7	1.232	3.962	1.75	1.862	1.89	1.365	1.995	1.68	1.47	1.68	4.725	2.205
<b>Valina (mg)</b>	6.72	13.44	35.7	5.712	18.368	7.924	8.61	8.568	6.188	9.044	7.616	6.664	7.616	21.42	9.996

Tabla 7 Requisitos Nutricionales de la Fundaciones

**Resultados menús Fundaciones**

**Fundación 1**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Chocolate queso y mogolla	Chocolate huevos champiñones y pan	Agua de panela con queso y pan	Caldo de papa	Chocolate y arepa con queso	Cereal con leche	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada
<b>Nueves Almuerzo</b>	Jugo de Mandarina y galletas	Papaya	Gelatina	Leche y torta de banano	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Esponjado de mora	Manzana
	Arroz Lentejas y ensalada	Pasta Alfredo	Arroz Atollado	Arroz Lentejas y ensalada	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Sudado y ensalada	Pasta a la boloñesa
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de mora	Jugo de lulo	Jugo de maracuyá	Jugo de tomate de árbol	Jugo de guayaba	Jugo de mandarina
	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Esponjado de tomate de árbol	Esponjado de maracuyá	Leche y galletas dulces	Leche y torta de naranja	Kumis y torta de banano	Jugo de fresa y torta de vainilla
<b>Cena</b>	Torta de ahuyama y pollo	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Tortilla de espinaca y pollo	Sopa de lentejas	Yuca carne de cerdo y ensalada

**Fundación 2**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Agua de panela con queso y pan	Cereal con leche	Chocolate queso y mogolla	Chocolate y arepa con queso	Caldo de papa	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Chocolate huevos champiñones y pan
<b>Nueves Almuerzo</b>	Manzana	Esponjado de mora	Gelatina	Jugo de Mandarina y galletas	Papaya	Leche y torta de banano	salpicón
	Pasta Alfredo	Pasta a la boloñesa	Arroz Atollado	Arroz Lentejas y ensalada	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Sudado y ensalada	Arroz Carne con champiñones y ensalada
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de mandarina	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de maracuyá	Jugo de lulo	Jugo de guayaba	Jugo de tomate de árbol	Jugo de mora
	Kumis y torta de banano	Esponjado de maracuyá	Leche y galletas dulces	Esponjado de tomate de árbol	Jugo de fresa y torta de vainilla	Leche y torta de naranja	Jugo de mandarina y torta de vainilla
<b>Cena</b>	Tortilla de espinaca y carne	Tortilla de espinaca y pollo	Torta de ahuyama y carne	Yuca carne de cerdo y ensalada	Sopa de lentejas	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo

**Fundación 3**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Caldo de papa	Chocolate huevos champiñones y pan	Cereal con leche	Chocolate queso y mogolla	Agua de panela con queso y pan	Chocolate y arepa con queso	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada
<b>Nueves Almuerzo</b>	Manzana	Esponjado de mora	Gelatina	Papaya	salpicón	Jugo de Mandarina y galletas	Leche y torta de banano
	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Arroz Lentejas y ensalada	Pasta a la boloñesa	Frijolada	Pasta Alfredo	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Arroz Atollado
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de tomate de árbol	Jugo de maracuyá	Jugo de mandarina	Jugo de mora	Jugo de guayaba	Jugo de lulo
	Esponjado de maracuyá	Esponjado de tomate de árbol	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Kumis y torta de banano	Jugo de fresa y torta de vainilla	Leche y galletas dulces	Kumis y galletas con mermelada
<b>Cena</b>	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Yuca carne de cerdo y ensalada	Torta de ahuyama y carne	Sopa de lentejas	Tortilla de espinaca y pollo

**Fundación 4**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Caldo de papa	Chocolate queso y mogolla	Chocolate huevos champiñones y pan	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Chocolate y arepa con queso	Cereal con leche	Agua de panela con queso y pan
<b>Nueves Almuerzo</b>	Papaya	Gelatina	salpicón	Jugo de Mandarina y galletas	Leche y torta de banano	Esponjado de mora	Manzana
	Pasta a la boloñesa	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Sudado y ensalada	Arroz Lentejas y ensalada	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Pasta Alfredo	Arroz Atollado
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de mora	Jugo de lulo	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de mandarina	Jugo de maracuyá	Jugo de tomate de árbol	Jugo de guayaba
	Leche y galletas dulces	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Leche y torta de naranja	Esponjado de tomate de árbol	Jugo de fresa y torta de vainilla	Esponjado de maracuyá	Kumis y torta de banano
<b>Cena</b>	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Yuca carne de cerdo y ensalada	Crema de ahuyama	Tortilla de espinaca y pollo	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y pollo

**Fundación 5**

	Lunes	Martes	miércoles	Jueves	Viernes	sábado	Domingo
<b>Desayuno</b>	Chocolate huevos champiñones y pan	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Caldo de papa	Cereal con leche	Chocolate queso y mogolla	Agua de panela con queso y pan	Chocolate y arepa con queso
<b>Nueves</b>	Gelatina	Papaya	Leche y torta de banano	salpicón	Jugo de Mandarina y galletas	Esponjado de mora	Manzana
<b>Almuerzo</b>	Arroz Atollado	Arroz Lentejas y ensalada	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Sudado y ensalada	Pasta a la boloñesa	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Pasta Alfredo
<b>Jugo</b>	Jugo de mandarina	Jugo de maracuyá	Jugo de guayaba	Jugo de tomate de árbol	Jugo de mora	Jugo de lulo	Jugo de fresa y mandarina
<b>Onces</b>	Leche y torta de naranja	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Esponjado de tomate de árbol	Leche y galletas dulces	Kumis y torta de banano	Esponjado de maracuyá	Jugo de fresa y torta de vainilla
<b>Cena</b>	Sopa de lentejas	Tortilla de espinaca y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Yuca carne de cerdo y ensalada	Crema de calabaza y pollo	Crema de ahuyama	Torta de ahuyama y carne

**Fundación 6**

	Lunes	Martes	miércoles	Jueves	Viernes	sábado	Domingo
<b>Desayuno</b>	Chocolate y arepa con queso	Cereal con leche	Chocolate huevos champiñones y pan	Chocolate queso y mogolla	Caldo de papa	Agua de panela con queso y pan	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada
<b>Nueves</b>	salpicón	Esponjado de mora	Jugo de Mandarina y galletas	Gelatina	Leche y torta de banano	Manzana	Papaya
<b>Almuerzo</b>	Arroz Atollado	Pasta a la boloñesa	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Arroz Lentejas y ensalada	Pasta Alfredo	Sudado y ensalada	Arroz Carne con champiñones y ensalada
<b>Jugo</b>	Jugo de maracuyá	Jugo de lulo	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de tomate de árbol	Jugo de mora	Jugo de guayaba	Jugo de mandarina
<b>Onces</b>	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Jugo de fresa y torta de vainilla	Leche y torta de naranja	Leche y galletas dulces	Esponjado de maracuyá	Kumis y torta de banano	Esponjado de tomate de árbol
<b>Cena</b>	Tortilla de espinaca y carne	Crema de ahuyama	Tortilla de espinaca y pollo	Crema de calabaza y pollo	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada

**Fundación 7**

	Lunes	Martes	miércoles	Jueves	Viernes	sábado	Domingo
<b>Desayuno</b>	Chocolate y arepa con queso	Caldo de papa	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Agua de panela con queso y pan	Chocolate huevos champiñones y pan	Chocolate queso y mogolla	Cereal con leche
<b>Nueves</b>	Papaya	Gelatina	Jugo de Mandarina y galletas	salpicón	Leche y torta de banano	Manzana	Esponjado de mora
<b>Almuerzo</b>	Arroz Lentejas y ensalada	Sudado y ensalada	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Pasta Alfredo	Arroz Atollado	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Pasta a la boloñesa
<b>Jugo</b>	Jugo de mandarina	Jugo de mora	Jugo de tomate de árbol	Jugo de guayaba	Jugo de maracuyá	Jugo de lulo	Jugo de fresa y mandarina
<b>Onces</b>	Esponjado de maracuyá	Leche y galletas dulces	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Kumis y torta de banano	Jugo de fresa y torta de vainilla	Leche y torta de naranja	Esponjado de tomate de árbol
<b>Cena</b>	Crema de ahuyama	Yuca carne de cerdo y ensalada	Sopa de lentejas	Crema de calabaza y pollo	Torta de ahuyama y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Tortilla de espinaca y pollo

**Fundación 8**

	Lunes	Martes	miércoles	Jueves	Viernes	sábado	Domingo
<b>Desayuno</b>	Caldo de papa	Cereal con leche	Chocolate huevos champiñones y pan	Chocolate y arepa con queso	Chocolate queso y mogolla	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Agua de panela con queso y pan
<b>Nueves</b>	salpicón	Gelatina	Esponjado de mora	Leche y torta de banano	Jugo de Mandarina y galletas	Manzana	Papaya
<b>Almuerzo</b>	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Pasta a la boloñesa	Arroz Atollado	Pasta Alfredo	Arroz Lentejas y ensalada	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Sudado y ensalada
<b>Jugo</b>	Jugo de guayaba	Jugo de mora	Jugo de fresa y mandarina	Jugo de maracuyá	Jugo de tomate de árbol	Jugo de lulo	Jugo de mandarina
<b>Onces</b>	Esponjado de tomate de árbol	Jugo de fresa y torta de vainilla	Esponjado de maracuyá	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Leche y torta de naranja	Kumis y torta de banano	Leche y galletas dulces
<b>Cena</b>	Yuca carne de cerdo y ensalada	Tortilla de espinaca y pollo	Sopa de lentejas	Tortilla de espinaca y carne	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Torta de ahuyama y pollo

**Fundación 9**

	Lunes	Martes	miércoles	Jueves	Viernes	sábado	Domingo
<b>Desayuno</b>	Chocolate y arepa con queso	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Caldo de papa	Cereal con leche	Agua de panela con queso y pan	Chocolate queso y mogolla	Chocolate huevos champiñones y pan

<b>Nuevas Almuerzo</b>	Leche y torta de banano Arroz Lentejas y ensalada	Esponjado de mora Pasta a la boloñesa	salpicón Pasta Alfredo	Jugo de Mandarina y galletas Arroz Carne con champiñones y ensalada	Papaya Sudado y ensalada	Gelatina Arroz Atollado	Manzana Arroz Carne de cerdo y ensalada
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de mandarina Leche y torta de vainilla	Jugo de mora Leche y galletas dulces	Jugo de fresa y mandarina Leche y torta de naranja	Jugo de maracuyá Esponjado de maracuyá	Jugo de tomate de árbol Esponjado de tomate de árbol	Jugo de guayaba Kumis y torta de banano	Jugo de lulo Jugo de fresa y torta de vainilla
<b>Cena</b>	Tortilla de espinaca y carne	Torta de ahuyama y pollo	Sopa de lentejas	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada

**Fundación 10**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Chocolate y arepa con queso	Caldo de papa	Chocolate queso y mogolla	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Chocolate huevos champiñones y pan	Agua de panela con queso y pan	Cereal con leche
<b>Nuevas Almuerzo</b>	Jugo de Mandarina y galletas Pasta a la boloñesa	salpicón Pasta Alfredo	Esponjado de mora Arroz Atollado	Manzana Arroz Lentejas y ensalada	Papaya Sudado y ensalada	Gelatina Arroz Carne de cerdo y ensalada	Leche y torta de banano Arroz Carne con champiñones y ensalada
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de fresa y mandarina Jugo de mandarina y torta de vainilla	Jugo de mandarina Leche y torta de naranja	Jugo de lulo Jugo de fresa y torta de vainilla	Jugo de maracuyá Esponjado de maracuyá	Jugo de guayaba Esponjado de tomate de árbol	Jugo de tomate de árbol Leche y galletas dulces	Jugo de mora Kumis y torta de banano
<b>Cena</b>	Crema de calabaza y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada	Tortilla de espinaca y pollo	Crema de ahuyama	Tortilla de espinaca y carne	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y pollo

**Fundación 11**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Chocolate y arepa con queso	Caldo de papa	Cereal con leche	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Chocolate huevos champiñones y pan	Agua de panela con queso y pan	Chocolate queso y mogolla
<b>Nuevas Almuerzo</b>	salpicón Arroz Lentejas y ensalada	Leche y torta de banano Arroz Carne de cerdo y ensalada	Gelatina Pasta Alfredo	Esponjado de mora Pasta a la boloñesa	Papaya Arroz Atollado	Jugo de Mandarina y galletas Arroz Carne con champiñones y ensalada	Manzana Sudado y ensalada
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de mandarina Leche y torta de naranja	Jugo de tomate de árbol Jugo de fresa y torta de vainilla	Jugo de lulo Esponjado de maracuyá	Jugo de fresa y mandarina Leche y galletas dulces	Jugo de mora Kumis y torta de banano	Jugo de maracuyá Jugo de mandarina y torta de vainilla	Jugo de guayaba Esponjado de tomate de árbol
<b>Cena</b>	Crema de ahuyama	Torta de ahuyama y pollo	Tortilla de espinaca y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada	Sopa de lentejas	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y carne

**Fundación 12**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Cereal con leche	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	Agua de panela con queso y pan	Chocolate y arepa con queso	Caldo de papa	Chocolate queso y mogolla	Chocolate huevos champiñones y pan
<b>Nuevas Almuerzo</b>	Leche y torta de banano Pasta Alfredo	Jugo de Mandarina y galletas Pasta a la boloñesa	Esponjado de mora Sudado y ensalada	Papaya Arroz Carne con champiñones y ensalada	Gelatina Arroz Carne de cerdo y ensalada	Manzana Arroz Atollado	salpicón Arroz Lentejas y ensalada
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de lulo Leche y galletas dulces	Jugo de tomate de árbol Leche y torta de naranja	Jugo de fresa y mandarina Kumis y torta de banano	Jugo de guayaba Esponjado de tomate de árbol	Jugo de mandarina Jugo de fresa y torta de vainilla	Jugo de mora Esponjado de maracuyá	Jugo de maracuyá Jugo de mandarina y torta de vainilla
<b>Cena</b>	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Tortilla de espinaca y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada

**Fundación 13**

	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Desayuno</b>	Caldo de papa	Chocolate huevos champiñones y pan	Chocolate queso y mogolla	Cereal con leche	Chocolate y arepa con queso	Agua de panela con queso y pan	jugo de naranja tostadas francesas con mermelada
<b>Nuevas Almuerzo</b>	salpicón	Jugo de Mandarina y galletas	Leche y torta de banano	Esponjado de mora	Papaya	Manzana	Gelatina
<b>Almuerzo</b>	Sudado y ensalada	Arroz Carne de cerdo y ensalada	Pasta a la boloñesa	Pasta Alfredo	Arroz Atollado	Arroz Carne con champiñones y ensalada	Arroz Lentejas y ensalada
<b>Jugo</b>	Jugo de guayaba	Jugo de lulo	Jugo de maracuyá	Jugo de mandarina	Jugo de fresa y mandarina	Jo de mora	Jugo de tomate de árbol

<b>Onces</b>	Esponjado de maracuyá	Jugo de mandarina y torta de vainilla	Leche y galletas dulces	Leche y torta de naranja	Jugo de fresa y torta de vainilla	Esponjado de tomate de árbol	Kumis y torta de banano
<b>Cena</b>	Tortilla de espinaca y pollo	Tortilla de espinaca y carne	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada
<b>Fundación 14</b>							
<b>Desayuno</b>	<b>Lunes</b> Agua de panela con queso y pan	<b>Martes</b> Cereal con leche	<b>miércoles</b> jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	<b>Jueves</b> Chocolate huevos champiñones y pan	<b>Viernes</b> Chocolate queso y mogolla	<b>sábado</b> Chocolate y arepa con queso	<b>Domingo</b> Caldo de papa
<b>Nueves Almuerzo</b>	Esponjado de mora Arroz Carne de cerdo y ensalada	Gelatina Pasta Alfredo	Jugo de Mandarina y galletas Arroz Carne con champiñones y ensalada	Manzana Sudado y ensalada	Leche y torta de banano Arroz Lentejas y ensalada	Papaya Arroz Atollado	salpicón Pasta a la boloñesa
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de fresa y mandarina Leche y torta de naranja	Jugo de mandarina Esponjado de tomate de árbol	Jugo de mora Jugo de mandarina y torta de vainilla	Jugo de lulo Leche y galletas dulces	Jugo de tomate de árbol Jugo de fresa y torta de vainilla	Jugo de maracuyá Esponjado de maracuyá	Jugo de guayaba Kumis y torta de banano
<b>Cena</b>	Sopa de lentejas	Torta de ahuyama y carne	Tortilla de espinaca y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada	Tortilla de espinaca y carne	Crema de ahuyama	Crema de calabaza y pollo
<b>Fundación 15</b>							
<b>Desayuno</b>	<b>Lunes</b> Chocolate huevos champiñones y pan	<b>Martes</b> Chocolate queso y mogolla	<b>miércoles</b> jugo de naranja tostadas francesas con mermelada	<b>Jueves</b> Chocolate y arepa con queso	<b>Viernes</b> Agua de panela con queso y pan	<b>sábado</b> Caldo de papa	<b>Domingo</b> Cereal con leche
<b>Nueves Almuerzo</b>	Jugo de Mandarina y galletas Arroz Lentejas y ensalada	Papaya Pasta a la boloñesa	Leche y torta de banano Sudado y ensalada	Gelatina Arroz Carne de cerdo y ensalada	salpicón Arroz Atollado	Esponjado de mora Arroz Carne con champiñones y ensalada	Manzana Pasta Alfredo
<b>Jugo Onces</b>	Jugo de guayaba Esponjado de maracuyá	Jugo de maracuyá Jugo de fresa y torta de vainilla	Jugo de mandarina Jugo de mandarina y torta de vainilla	Jugo de lulo Leche y torta de naranja	Jugo de mora Esponjado de tomate de árbol	Jugo de tomate de árbol Leche y galletas dulces	Jugo de fresa y mandarina Kumis y torta de banano
<b>Cena</b>	Sopa de lentejas	Crema de calabaza y pollo	Crema de ahuyama	Tortilla de espinaca y carne	Tortilla de espinaca y pollo	Yuca carne de cerdo y ensalada	Torta de ahuyama y pollo

**Tabla 8 Menú Semanal Resultado Modelo MMN**

De acuerdo con los resultados del modelo, las restricciones nutricionales se cumplen, así como restricción de oferta de alimentos. El costo total de la construcción del Menú para todas las fundaciones es:

<i>Fundación</i>	<i>Costo Menú</i>	<i>Costo Menú Actual</i>
<i>Fundación 1</i>	\$ 2,085,581.00	\$ 2,600,173.58
<i>Fundación 2</i>	\$ 4,171,162.00	\$ 5,200,347.15
<i>Fundación 3</i>	\$ 10,427,905.00	\$ 13,000,867.88
<i>Fundación 4</i>	\$ 1,668,464.80	\$ 2,080,138.86
<i>Fundación 5</i>	\$ 5,370,371.08	\$ 6,695,446.96
<i>Fundación 6</i>	\$ 2,606,976.25	\$ 3,250,216.97
<i>Fundación 7</i>	\$ 2,606,976.25	\$ 3,250,216.97
<i>Fundación 8</i>	\$ 2,815,534.35	\$ 3,510,234.33
<i>Fundación 9</i>	\$ 1,981,301.95	\$ 2,470,164.90
<i>Fundación 10</i>	\$ 2,971,952.93	\$ 3,705,247.34
<i>Fundación 11</i>	\$ 2,554,836.73	\$ 3,185,212.63
<i>Fundación 12</i>	\$ 2,241,999.58	\$ 2,795,186.59
<i>Fundación 13</i>	\$ 2,450,557.68	\$ 3,055,203.95
<i>Fundación 14</i>	\$ 7,038,835.88	\$ 8,775,585.82
<i>Fundación 15</i>	\$ 3,284,790.08	\$ 4,095,273.38
<b>Total Costo Menú</b>	<b>\$ 54,277,245.53</b>	<b>\$ 67,669,517.29</b>
<b>Diferencia Porcentual</b>		<b>19.8%</b>

Los resultados mostraron una mejoría en los costos totales del Menú en un 18.9% respecto a la situación actual del Banco de Alimentos. Por lo tanto, el modelo mostró una mejoría en el proceso de creación de la Minuta Semanal. Los Menús semanales creados a partir del MMN se utilizará como demanda para el MDP.

### 3.2. Modelo de Distribución de Pedidos (MDP)

#### 3.2.1. Descripción de la Operación actual del BDAB.

El BDAB actualmente cuenta con el Programa de Nutrición Integral (PNI), el cual atiende a más de 1041 niños vinculados a 17 fundaciones ubicadas en Bogotá. Para ello, dispone de una bodega de 5100 mts que permite el almacenamiento de los alimentos y bienes que reciben a través de donaciones y compras. El BDAB cuenta con 13 personas en el proceso de distribución las cuales ejercen los roles alistamiento, despacho y salida de mercancía. Para el desarrollo del modelo, se tendrán en cuenta las fundaciones que se encuentran dentro del PNI. El detalle de las fundaciones, junto con sus direcciones y ventanas de tiempo se encuentran en el *anexo 3*.

Actualmente, el BDAB cuenta con proveedores, los cuales donan o venden alimentos, a un costo determinado. La adquisición de estos productos, a su vez, genera un costo asociado por transporte del producto desde el sitio de descargue del proveedor hasta la bodega del banco de alimentos. Dado el caso, los alimentos recibidos provengan de una donación y el proveedor cubra el costo de transporte del alimento hasta el BDAB, el costo total por adquirir el producto es igual al costo de almacenamiento, el cual no se tendrá en el modelo debido a que no representa un valor significativo en el coste final del producto.

El objetivo del BDAB es cumplir con la demanda nutricional de los niños que hacen parte de las fundaciones afiliadas dentro de los diferentes programas de nutrición, para ello, cuentan con una oferta de alimentos disponible en un periodo de tiempo determinado. Además, el BDAB debe considerar el tiempo adecuado para el consumo de los alimentos, los cuales deben ser entregados asegurando el tiempo oportuno para que los alimentos no sobrepasen su fecha de caducidad.

Por otra parte, el BDAB busca disminuir la cantidad de desperdicios a causa del desechamiento de los alimentos cuando estos sobrepasan su fecha de vencimiento y no son aptos para consumir. Por ello, el BDAB prioriza el envío de alimentos que encuentren próximos a su fecha de caducidad.

Con el objetivo de entregar sus alimentos a tiempo y asegurar que lleguen en un buen estado, el Banco de Alimentos, dispone de una flota de camiones, la cual se componen de la siguiente manera:

	<i>Camiones No Refrigerados</i>	<i>Camiones Refrigerados</i>
<i>Camión Turbo 4.5</i>	2	0
<i>Camión Turno 4.2</i>	0	2
<i>Camión Sencillo 2.5</i>	1	1

*Tabla 9 Flota de Camiones del BDAB*

El BDAB destina las rutas que tendrán los camiones para la distribución de los alimentos a cada una de las fundaciones, teniendo en cuenta, para ello, restricciones de franjas de tiempo, las cuales son seleccionadas por cada una de las fundaciones. Este proceso se ejecuta actualmente de modo manual, mediante la utilización de

una hoja de cálculo y con una planeación acorde con la disponibilidad de camiones en el momento, congestión en las vías y distancia entre fundaciones.

De acuerdo con lo anterior, las fundaciones tienen la posibilidad de especificar los horarios en los cuales desean recibir los alimentos, con el objetivo de evitar la descarga de éstos en horarios en los cuales puedan interferir con las actividades de las fundaciones, por ello, la ruta de los camiones debe estar planificada de modo que el vehículo llegue al lugar de destino dentro del horario acordado para cada una de las fundaciones.

Actualmente, el proceso de coordinación de pedidos lo realiza el analista de operaciones, bajo la supervisión del jefe de operaciones y este se ejecuta de forma manual, a través de la revisión de disponibilidad de alimentos y la demanda de estos mediante el uso de una hoja de Excel, lo cual ocasiona errores al momento del envío y en algunos casos, no tener en cuenta variables como fecha de vencimiento de los alimentos y la elección eficiente de los productos que permita disminuir los costos totales de las entregas.

Con el objetivo de dar una solución integral al problema de coordinación de pedidos, desde su despacho, hasta la entrega del producto, se divide la solución en dos partes. La primera, consiste en el diseño de un modelo matemático para decidir la cantidad de un producto que se envía a cada una de las fundaciones inscritas en el programa Nutrición Integral, teniendo en cuenta la demanda y disponibilidad de alimentos, a este modelo se le nombrará Modelo Matemático de Coordinación de Pedidos (MMCP). La segunda parte de la solución es el diseño de rutas para la disminución del tiempo de recorrido del Camión, teniendo en cuenta las capacidades de los camiones y franjas de tiempo definidas por las fundaciones para el descargue de los alimentos, siendo este nombrado Modelo Matemático de Ruteo de Camiones (MMRC).

### 3.2.2. Modelo Matemático de coordinación de pedidos (MMCP)

Para la formulación del MMCP se revisó, entre otros, los trabajos realizados por (Zhang, Zeng, & Yang, 2016) (Liu, 2016) y (Karimi & Jadid, 2019), quienes plantearon diferentes algoritmos para dar solución a problemas con características similares, a través del diseño de un modelo matemático basado en la optimización lexicográfica. El algoritmo planteado por los autores será adaptado al MMCP, el cual será descrito a continuación.

#### **Conjuntos**

$A \rightarrow$  Conjunto de Alimentos  
 $P \rightarrow$  Conjunto de Proveedores  
 $F \rightarrow$  Conjunto de Fundaciones

#### **Variables**

$X_{a,p,f} \rightarrow$  Cantidad de Alimento (a) obtenido del proveedor (p) que será enviado a la fundación (f)

#### **Parámetros**

$C_{a,p,f} \rightarrow$  Costo total de adquirir el producto (a) a través del proveedor (p) y enviarlo a la fundación (f)



$D_{a,f} \rightarrow$  Demanda del producto (a) en la fundación (f)

$O_{a,p} \rightarrow$  Oferta del producto (a) en el proveedor (p)

$V_{a,p} \rightarrow$  Días restantes para llegar a la fecha de vencimiento del producto (a) ofrecido por el proveedor (p)

### Funciones Objetivo

$$\text{Min} \sum_a \sum_p \sum_f C_{a,p,f} X_{a,p,f} \rightarrow \text{Costo total de todos los pedidos que coordina el BDAB} \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_a \sum_p \sum_f V_{a,p,f} X_{a,p,f} \rightarrow \text{Total de días faltantes para llegar a la fecha de} \\ \text{vencimiento de los alimentos.} \quad (2)$$

### Restricciones

$$\sum_p X_{a,p,f} \geq D_{a,f} \forall a \in A; \forall f \in F \rightarrow \text{La suma de los alimentos enviados por los proveedores (p)} \\ \text{debe ser mayor o igual a la demanda de alimentos (a) para cada una de las fundaciones (f).} \quad (3)$$

$$\sum_f X_{a,p,f} \leq O_{a,p} \forall a \in A; \forall p \in P \rightarrow \text{La suma de los alimentos enviados a las fundaciones (f) debe} \\ \text{ser menor o igual a la oferta de alimentos (a) para cada uno de los proveedores (p).} \quad (4)$$

$$X_{a,p,f} \geq 0 \rightarrow \text{Restricción de no negatividad} \quad (5)$$

Para el MMCP las funciones objetivo (1)(2) son dos, la primera, el costo total todos los pedidos que coordina el BDAB, este costo tiene 3 componentes, los cuales se mencionan a continuación.

$$C_{a,p,f} = \text{(I)} CA_{a,p} + \text{(II)} CTP_{a,p} + \text{(III)} CTF_{a,f} \quad (6)$$

El primer componente (I), corresponde al costo de adquisición del alimento (a) a través del proveedor (p). Dado sea el caso, el proveedor (p) realice la entrega del alimento en calidad de donación,  $CA_{a,p} = 0$ . El segundo componente (II) corresponde al costo de transporte del alimento (a), desde el punto de descargue del proveedor hasta la bodega del BDAB, el cual es prorrateado entre los alimentos que se incluyen dentro del camión y calculado como un \$/Km, multiplicado por la distancia entre el proveedor y el BDAB. Así mismo, si el proveedor asume el costo de transporte hasta el BDAB, entonces  $CTP_{a,p} = 0$ . Por último, el componente (III) corresponde al costo de transporte desde la bodega del BDAB hasta la fundación, al igual que el costo (II), se prorratea entre los alimentos del vehículo y está dado en \$/Km multiplicado por la distancia entre el BDAB y el punto de cargue de la fundación. Los costos que se tienen en cuenta para el modelo fueron elegidos de acuerdo con las validaciones realizadas con el BDAB.

La función objetivo (2), corresponde al total de días faltantes para llegar a la fecha de vencimiento del alimento (a) ofrecido por el proveedor (p) y multiplicado por la variable  $X_{a,p,f}$ , esta función objetivo permitirá escoger los alimentos con fechas más próximas a vencerse, esto permitirá que el BDAB disminuya cantidad de desperdicio de alimentos.

Con respecto a las restricciones, el primer conjunto (3) asegura el cumplimiento de la demanda de alimentos para cada fundación, el segundo conjunto (4) limita la cantidad de alimentos entregada por cada proveedor a su oferta y, por último, el conjunto de restricciones (5) indica la no negatividad de las cantidades de alimentos entregados a las fundaciones.

### 3.2.3. Programación Lineal Multiobjetivo con el Método Lexicográfico.

Los problemas multiobjetivo son aquellos en donde la meta es optimizar simultaneas funciones objetivo  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$  formando un vector  $F(x)$  el cual tiene la siguiente forma:

$$F(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \dots \\ f_k(x) \end{bmatrix}$$

Las funciones multiobjetivo presentan un conjunto de incontables soluciones. Dos espacios euclidianos son considerados en un problema multiobjetivo (Chiandussi, Codegone, Ferrero & Varesio, 2012).

- El espacio n dimensiones correspondiente a las variables de decisión.
- El espacio k dimensiones de las funciones objetivo.

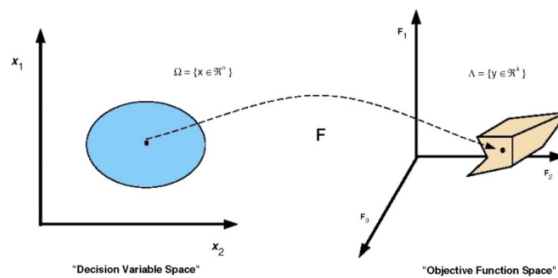


Figura 6 Evaluación de un Problema Multiobjetivo. Tomado de (Chiandussi, Codegone, Ferrero & Varesio, 2012)

El problema MMCP es NP-Hard, debido a su complejidad y a que cuenta múltiples criterios y no admite soluciones exactas eficientes (Liu, 2016). Freitas resaltó tres métodos generales para resolver problemas multiobjetivo, los cuales son suma ponderada, métodos Lexicográficos y métodos de Pareto (2004).

La suma ponderada es ampliamente usada para la solución de problemas multiobjetivo, en donde la prioridad del objetivo se refleja en los pesos. Sin embargo, su desventaja radica en la dificultad de elegir los pesos, debido a que el éxito de la solución depende ampliamente de la intuición y en la experimentación al momento de elegir los valores de ponderación (Zhang, Zeng, & Yang, 2016). Por otra parte, el método Pareto presenta algunas ventajas sobre el método Lexicográfico. Sin embargo, esta metodología no se aplica usualmente en situaciones que involucran objetivos con diferentes prioridades (Basgalupp et al. 2014).

La optimización Lexicográfica es un método para resolver problemas multiobjetivo. En esta metodología, se establece un orden jerárquico a cada una de las funciones objetivo-planteadas en el problema (Prats et al. 2010). El proceso estándar de la optimización lexicográfica es la resolución de problemas de optimización de un solo objetivo en orden secuencial, en donde las funciones objetivo son rankeadas por su importancia en el modelo, desde la  $f_1$  hasta la menos importante  $f_n$  (Zhang, Zeng, & Yang, 2016).

Luego de organizar las funciones objetivo por importancia, se minimiza la primera función objetivo, sujeta a las restricciones originales (7).

$$f_1^* = \min(f_1(z))$$

(7)

Luego, el resultado de minimización de la primera función objetivo se agrega como restricción a la minimización de la segunda función objetivo. Este proceso se desarrolla iterativamente hasta que todas las funciones objetivo son consideradas (Zhang, Zeng, & Yang, 2016). La solución de las funciones objetivo a través del método Lexicográfico puede ser representada de la siguiente forma:

$$f_i^* = \min(f_i(z))$$

$$s. t. f_j(z) \leq f_j^*, j = 1, \dots, i - 1, i > 1$$

(8)

### 3.2.4. Desarrollo y de MMCP

#### *Oferta de alimentos para el BDAB en el MMCP*

De acuerdo con la situación actual del BDAB, la oferta de alimentos en el modelo MMCP considerada en el modelo, será la disponibilidad total de cada tipo de alimento, la cual se actualizará diariamente con la información de los datos generales de producto como Código General del producto, Nombre del producto, Unidades del producto, Cantidad de producto disponible y Fecha de Caducidad del Producto. Al momento de correr el MMCP, los alimentos que se tendrán en cuenta para cumplir con la demanda serán los que, a la fecha, están registrados en la plataforma.

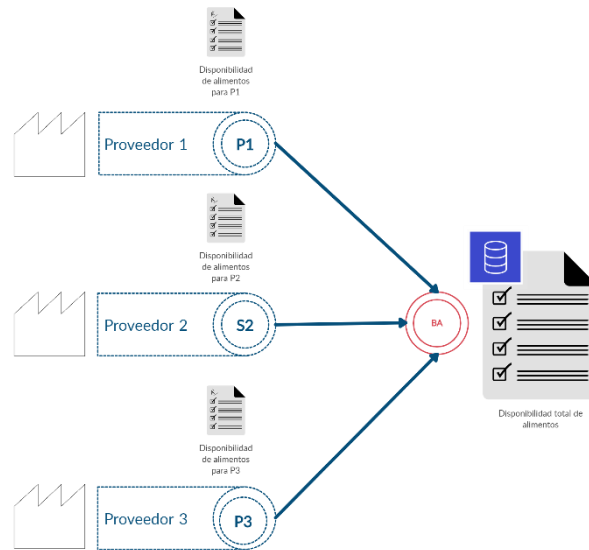
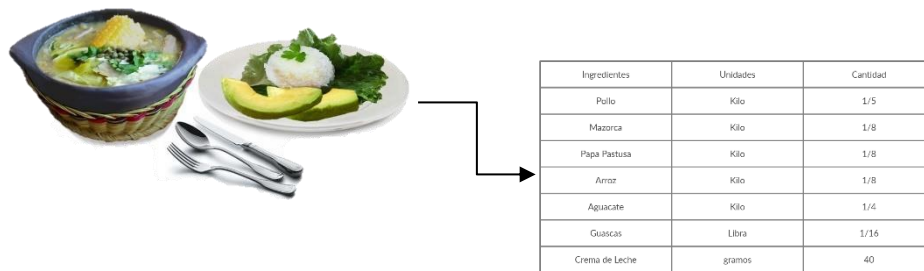


Figura 7 Disponibilidad de productos

#### Demanda de alimentos para el BDAB en el MMCP

Con respecto a la demanda de alimentos para el MMCP, se tiene en cuenta el funcionamiento de las Fundaciones, las cuales tienen menús semanales construidos de acuerdo con la información nutricional de los niños que asisten a la Fundación. Cada Menú, a su vez, contiene ingredientes, los cuales se especifican en el *anexo 1*, la cual relaciona los alimentos y las cantidades necesarias para la preparación del plato. Estos ingredientes, deben estar disponibles para el día de la preparación del menú. Los alimentos necesarios para cumplir con los menús de las Fundaciones inscritas en el Programa de Nutrición Integral es la demanda que tiene en cuenta para el modelo.



#### Desperdicio de alimentos para el BDAB en el MMCP

Uno de los mayores problemas que tiene el BDAB es el control de desperdicio de alimentos, debido a la descomposición de estos y al sobrepaso de su fecha de caducidad. Por ello, para el modelo se incluye la función objetivo que permite minimizar los días faltantes para llegar a su fecha de caducidad, la cual se calcula a través de la diferencia entre la fecha de caducidad del producto y el día en el cual se corre el modelo.

$$V_{a,p,f} = FC_{a,p,f} - Dia Actual$$

(10)

Una vez el producto sobrepase su fecha de caducidad, es decir cuando la variable  $V_{a,p,f}$  sea negativa este no será tenido en cuenta dentro del modelo, asegurando de esta forma que los productos que se envían a las fundaciones estén en condiciones seguras para su consumo.

### Construcción del MMCP

A continuación, se muestra contribuye el mapa de flujo del modelo propuesto.

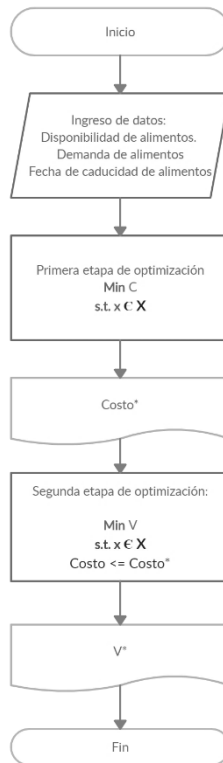


Figura 8 Mapa de Flujo del MMCP Referencia: (Karimi & Jadid, 2019).

### Características técnicas del modelo

Para dar solución al MMCP, se utilizó el lenguaje de programación Python 3.7.6 (default, Jan 8 2020, 20:23:39) [MSC v.1916 64 bit (AMD64)]. Las pruebas del modelo se corrieron en el ambiente Anaconda, con el editor de texto Visual Studio Code de Microsoft. Adicionalmente, se utilizó la suite de distribución libre de Google OR-TOOLS, la cual proporciona librerías con algunos Solvers adecuados para la solución del MMCP, en específico la librería pywraplp.

Por último, se hizo uso de librerías de distribución libre como Numpy, Pandas, Scipy, Math, Statistics y Matplotlib como herramientas para la programación del modelo. Las instancias se corrieron en un ordenador con la CPU Intel Core i5 8300GH 14nm 4 Cores 2.30GHz, GPU Nvidia GeForce GTX 1050, con una memoria RAM de 16 GB.

### 3.2.5. Resultados del modelo MMCP

Luego del análisis de los resultados del modelo MMCP se logró determinar que no existen diferencias considerables cuando se agrega una constante de relajación del modelo, tal como es presentado en el trabajo de (Zhang, Zeng, & Yang, 2016), a través de la siguiente fórmula.

$$f_j(z) \leq (1 + \delta_j) * f_j^*, j = 1, \dots, i - 1, i > 1$$

Para llegar a una conclusión de este resultado se utilizaron 5 variables de relajación, las cuales son, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10. Los detalles de la prueba se encuentran en el *anexo 2*.

A continuación, se presenta en la *tabla 8* los resultados del modelo MMCP para la *fundación 1*. Para ver en detalle los resultados de las otras fundaciones, ir al *anexo 2*.

Acorde con las políticas del BDAB, no se mencionarán los nombres de las fundaciones y proveedores, en vez de ello, se enumerará cada una de ellas, siendo  $V = \{f1, f2, \dots, fn\}$  y  $P = \{P1, P2, \dots, Pn\}$

PRODUCTO	PROVEEDOR	FUNDACIÓN	CANTIDAD	PRODUCTO	PROVEEDORES	FUNDACIÓN	CANTIDAD
Bocadillo X 300 Gr	P34	F1	2	Limón X Kilo	P3	F1	1
Mani X 50 Gr	P36	F1	2	Lulo X Kilo	P2	F1	5
Mani X 50 Gr	P44	F1	8	Fécula De Maíz X 300 Gr	P27	F1	2
Aceite X 1000 Ml	P26	F1	7	Mango X Kilo	P16	F1	10
Apio X Kilo	P13	F1	1	Maracuyá X Kilo	P19	F1	9
Arroz X 500 Gr	P40	F1	53	Mayonesa X Kilo	P15	F1	1
Arveja X 500 Gr	P40	F1	18	Mazorca X Kilo	P15	F1	2
Ahuyama X Kilo	P18	F1	3	Naranja X Kilo	P14	F1	7
Avena Hojuelas X 250 Gr	P29	F1	2	Panela X 450 Gr - Compra	P23	F1	1
Azúcar X 500 Gr	P37	F1	13	Papa X Kilo	P18	F1	20
Calabaza X Kilo	P2	F1	2	Papa Sabanera X Kilo	P12	F1	1
Carne X Kilo	P4	F1	12	Pasta X 250 Gr	P29	F1	5
Carne Sobrebarriaga X Kilo	P6	F1	8	Pasta X 250 Gr	P33	F1	4
Cebolla Cabezona X Kilo	P2	F1	2	Pechuga X Kilo	P37	F1	13
Cebolla Rama X Kilo	P2	F1	10	Pepino X Kilo	P3	F1	1
Cilantro X Kilo	P15	F1	1	Pepino De Guiso X Kilo	P12	F1	2
Curuba X Kilo	P8	F1	5	Pimentón X Kilo	P3	F1	1
Espaguete X 250 Gr - De Sabores	P25	F1	5	Piña X Kilo	P12	F1	4
Espinaca X Kilo	P2	F1	10	Guineo X Kilo	P3	F1	3
Frijol X 500 Gr	P31	F1	2	Plátano pintón X Kilo	P2	F1	16
Guayaba X Kilo	P20	F1	4	Queso X Kilo	P11	F1	2
Habichuela X Kilo	P3	F1	4	Repollo X Kilo	P2	F1	2
Harina De Trigo X 500 Gr	P41	F1	2	Sal X Kilo	P24	F1	3
Leche X 1100 Ml Alquería	P43	F1	14	Tomate Chonto X Kilo	P22	F1	7
Lechuga X Kilo	P1	F1	4	Yogurt X 1000 Ml	P24	F1	1
Lenteja X 500 Gr	P32	F1	1	Yuca X Kilo	P2	F1	13

Tabla 10 Resultados MMCP para la fundación 1

<i>Productos</i>	<i>Resultado</i>	<i>Oferta</i>	<i>Demanda</i>	<i>Productos</i>	<i>Resultado</i>	<i>Oferta</i>	<i>Demanda</i>
<i>Aceite X 1000 Ml</i>	134	208	134	<i>Mango X Kilo</i>	196	795	196
<i>Ahuyama X Kilo</i>	48	166	48	<i>Maní X 50 Gr</i>	153	327	153
<i>Apio X Kilo</i>	17	161	17	<i>Maracuyá X Kilo</i>	142	322	142
<i>Arepa Queso X 1165 Gr</i>	55	139	55	<i>Margarina X 250 Gr</i>	7	193	7
<i>Arroz X 500 Gr</i>	924	1353	924	<i>Mayonesa X Kilo</i>	12	163	12
<i>Arveja X 500 Gr</i>	295	395	295	<i>Mazorca X Kilo</i>	29	250	29
<i>Avena Hajuclas X 250 Gr</i>	162	256	162	<i>Melón X Kilo</i>	270	279	270
<i>Azúcar X 500 Gr</i>	318	374	318	<i>Mermelada X 400 Gr</i>	24	287	24
<i>Banano X Kilo</i>	195	306	195	<i>Mogolla X 220 G</i>	198	516	198
<i>Bocadillo X 300 Gr</i>	28	290	28	<i>Mogolla X 240 G</i>	86	269	86
<i>Calabaza X Kilo</i>	30	221	30	<i>Naranja X Kilo</i>	263	597	263
<i>Carne Molida X Kilo</i>	13	244	13	<i>Pan Mantequilla X 500 G</i>	89	217	89
<i>Carne Sobrebarriga X Kilo</i>	128	230	128	<i>Pan Tajado Blanco X 660 G</i>	42	226	42
<i>Carne X Kilo</i>	175	316	175	<i>Panela X 450 Gr - Compra</i>	96	156	96
<i>Cebolla Cabezona X Kilo</i>	27	242	27	<i>Papa Criolla X Kilo</i>	11	271	11
<i>Cebolla Rama X Kilo</i>	174	248	174	<i>Papa Sabanera X Kilo</i>	17	223	17
<i>Cereal X 370 Gr</i>	89	212	89	<i>Papa X Kilo</i>	351	503	351
<i>Cilantro X Kilo</i>	17	233	17	<i>Papaya X Kilo</i>	183	240	183
<i>Curuba X Kilo</i>	89	204	89	<i>Pasta X 250 Gr</i>	136	214	136
<i>Espinaca X Kilo</i>	146	392	146	<i>Pastilla De Cocoa X 500 Gr</i>	82	201	82
<i>Fécula De Maíz X 300 Gr</i>	100	208	100	<i>Pechuga X Kilo</i>	240	348	240
<i>Frijol X 500 Gr</i>	27	286	27	<i>Pepino De Guiso X Kilo</i>	21	275	21
<i>Galleta Dulce X 160 Gr</i>	25	225	25	<i>Pepino X Kilo</i>	14	143	14
<i>Galleta X 600 Gr</i>	39	427	39	<i>Pera X Kilo</i>	140	161	140
<i>Gelatina X 40 Gr</i>	156	255	156	<i>Pierna De Pollo X Kilo</i>	30	130	30
<i>Guayaba X Kilo</i>	104	209	104	<i>Pimentón X Kilo</i>	17	161	17
<i>Guineo X Kilo</i>	40	229	40	<i>Piña X Kilo</i>	61	160	61
<i>Habichuela X Kilo</i>	55	150	55	<i>Plátano Pintón X Kilo</i>	248	733	248
<i>Harina De Maíz Blanco X 500 Gr</i>	1	251	1	<i>Queso X Kilo</i>	100	210	100
<i>Harina De Trigo X 500 Gr</i>	27	159	27	<i>Repollo X Kilo</i>	28	75	28
<i>Huevo Avícola X 50 Gr Und</i>	2730	4360	2730	<i>Sal X Kilo</i>	78	257	78
<i>Kumis X 1000 Ml</i>	140	675	140	<i>Salchicha X Kilo</i>	2	154	2
<i>Leche X 1100 Ml Alquería</i>	814	3280	814	<i>Espagueti X 250 Gr - De Sabores</i>	70	274	70
<i>Lechuga X Kilo</i>	68	266	68	<i>Tomate Chonto X Kilo</i>	121	180	121
<i>Lenteja X 500 Gr</i>	19	209	19	<i>Tomate De Árbol X Kilo</i>	11	180	11
<i>Limón X Kilo</i>	18	213	18	<i>Yogurt X 1000 Ml</i>	123	231	123
<i>Lulo X Kilo</i>	67	284	67	<i>Yuca X Kilo</i>	209	275	209
<i>Mandarina X Kilo</i>	127	189	127	<i>Zanahoria X Kilo</i>	163	352	163

*Tabla 11 Cumplimiento restricciones del MMCP*

Adicionalmente, se valida el cumplimiento de las restricciones del modelo a través de la comparación de los resultados del modelo con la oferta de alimentos por parte de los proveedores y la demanda de estos por las

fundaciones. De acuerdo con la *tabla 9*, el modelo cumple con las restricciones de oferta y demanda. Por último, en la *tabla 10*, se presentan el costo total del proceso de coordinación de los pedidos y el promedio de días faltantes para llegar a la fecha de caducidad de los alimentos que se encuentran dentro del modelo.

Descripción Del Resultado	Valor
Costo Del Proceso De Coordinación	\$ 23,595,882
Promedio De Días Faltantes Para Llegar A La Fecha De Caducidad De Los Alimentos	37.62

### 3.2.6. Desarrollo del Modelo Matemático Para el Ruteo de los Camiones. (MMRC)

Para la formulación del MMRC se revisó, entre otros, los trabajos realizados por (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020), (Meliani, Elhaq, Hani, Y & Mhamedi, A. El, 2019), Lázaro-González, P. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Arias-Osorio, J. E. (2019), quienes plantearon el algoritmo de búsqueda tabú para la solución de problemas de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW, por sus siglas en ingles). continuación, se presenta la formulación del MMRC:

#### *Conjuntos*

$C \rightarrow$  Conjunto de Camiones

$M \rightarrow$  Conjunto Tipo de Camiones

$V = (i, j): i, j \in V. i \neq j \rightarrow$  Conjunto de nodos

#### *Variables*

$X_{c,m,i,j} \rightarrow$  Binario: si al camión (c) del tipo (m) se le asigna el arco (i, j), para descargar en la fundación (f)

$Y_{c,m,j} \rightarrow$  Cantidad de alimento que descarga el camión (c) de tipo (m) en la fundación (j)

$T_{c,m,j} \rightarrow$  Tiempo de recorrido hasta el nodo j

#### *Parámetros*

$d_{i,j} \rightarrow$  Distancia entre el nodo i y j

$t_{i,j} \rightarrow$  tiempo entre el nodo i y j

$Veh_m \rightarrow$  Numero de vehiculos del tipo(m)

$D_j \rightarrow$  Demanda del productos del nodo j

$CapC_{c,m} \rightarrow$  Capacidad del camión (c) del tipo (m)

$Mint_j \rightarrow$  Minimo de la ventana de tiempo en el cual los camiones pueden descargar en el nodo (j)



$\text{Max}t_j \rightarrow$  Máximo de la ventana de tiempo en el cual los camiones pueden descargar en el nodo (j)

**Función Objetivo**

$$\text{Min} \sum_c \sum_m \sum_i \sum_j d_{i,j} X_{c,m,i,j} \rightarrow \text{Total distancia recorrida}$$

(11)

**Restricciones**

$$\sum_j X_{c,m,0,j} = 1 \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M} \rightarrow \text{Garantiza que todos los vehiculos}(c)$$

y tipo (m) salgan de la bodega del BDAB

(12)

$$\sum_i X_{c,m,i,0} = 1 \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M} \rightarrow \text{Garantiza que todos los vehiculos}(c)$$

y tipo (m) regresen a la bodega del BDAB

(13)

$$\sum_j X_{c,m,i,j} - \sum_j X_{c,m,j,i} \leq 0 \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M}; \forall i \in \mathbf{V}: i > 0 \rightarrow \text{Asegura que si el vehiculo } (c) \text{ del tipo}$$

(m) entra en el nodo (i) salga de este

(14)

$$\sum_i X_{c,m,i,j} \leq 1 \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M} \forall i \in \mathbf{V}: i > 0 \rightarrow \text{Garantiza que cada vehiculo } (c) \text{ de tipo } (m)$$

puede salir de un nodo máximo 1 vez.

(15)

$$\sum_i X_{c,m,i,j} \leq 1 \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M} \forall j \in \mathbf{V}: j > 0 \rightarrow \text{Garantiza que cada vehiculo } (c) \text{ de tipo } (m)$$

puede visitar un nodo máximo 1 vez.

(16)

$$\sum_j Y_{c,m,j} \leq \text{Cap}C_{c,m} \quad \forall c \in \mathbf{C}; \forall m \in \mathbf{M} \rightarrow \text{Asegura que la cantidad de alimento entregado}$$

por cada uno de los camiones (c) tipo (m) sea menor a su capacidad máxima

(17)

$\sum_c \sum_m Y_{c,m,j} \geq D_j \forall j \in V \rightarrow$  *Garantiza que la cantidad de alimento entregado a cada uno de los nodos (j) sea mayor a su demanda.*

(18)

$M * \sum_i X_{c,m,i,j} \geq Y_{c,m,j} \forall j \in V; \forall c \in C; \forall m \in M \rightarrow$  *Garantiza que si el camión (c) de tipo (m) entrega alimentos al nodo j debe existir la ruta*

(19)

$\sum_i X_{c,m,i,j} \leq Y_{c,m,j} \forall j \in V; \forall c \in C; \forall m \in M \rightarrow$  *Garantiza que si el camión (c) de tipo (m) entrega alimentos al nodo j debe existir la ruta*

(20)

$T_{c,m,0} = 0 \forall c \in C; \forall m \in M \rightarrow$  *El tiempo de recorrido hasta el nodo (j) cuando el camión esta en la bodega del BDAB es 0*

(21)

$$T_{c,m,j} = \sum_i X_{c,m,i,j} T_{c,m,i} + \sum_i X_{c,m,i,j} t_{i,j} \forall c \in C; \forall m \in M; \forall j \in Vj \neq i$$

$\rightarrow$  *El tiempo de recorrido hasta el nodo(j)*

(21)

$$\mathbf{Mint}_j \leq T_{c,m,j} \leq \mathbf{Max}t_j \forall c \in C; \forall m \in M; \forall j \in Vj$$

(23)

$X_{c,m,i,j}, T_{c,m,j} \geq 0 \forall c \in C; \forall m \in M; \forall j \in V; \forall i \in V \rightarrow$  *Restricción de no negatividad*

(24)

$$X_{c,m,i,j} \in 0, 1 \forall c \in C; \forall m \in M; \forall j \in V; \forall i \in V$$

(25)

La función objetivo (11) minimiza la distancia de recorrido total, lo cual minimiza el costo del transporte entre la bodega del BDAB y las fundaciones, debido a que, como se señaló en la descripción del modelo MMCP, el costo se genera en el transporte y se calcula a través de un \$ por Km. Las restricciones (12) y (13) garantizan que los camiones salgan de la bodega del BDAB y luego de hacer su recorrido, regresen al punto inicial, esta restricción es coherente con la situación actual del Banco, debido a que los camiones son de su propiedad, por lo que el banco no paga transporte a terceros.

Por otra parte, de acuerdo con la situación actual del modelo las fundaciones anticipadamente pueden elegir la ventana de tiempo en la cual desean que descarguen los alimentos, para ello las restricciones (21) (22) (23) aseguran que el camión llegue en el rango de tiempo anteriormente acordado con la fundación.

### 3.2.7. Búsqueda Tabú para la solución del MMRC

Una de las características del modelo MMRC es la capacidad de añadir ventanas de tiempo las cuales implican la programación de las fundaciones que están disponibles en un tiempo específico sin violar la capacidad del camión y las restricciones de tiempo y distancia, esta variación del modelo VRP es conocida como VRPTW (Kumar & Panneerselvam, 2012).

Este tipo de problemas de optimización combinatoria son Non-Polynomial-Hard (NP-Hard), y por lo tanto, se pueden resolver de una manera computacionalmente más económica a través de metaheurísticas. Las metaheurísticas más utilizadas para resolver VRPTW son la Búsqueda Tabú (TS), el Algoritmo Genético, los algoritmos evolutivos (EA) y el algoritmo de optimización de Colonia de hormigas. Para el modelo matemático del MMRC, se utilizará la Búsqueda tabú (Kumar & Panneerselvam, 2012).

La búsqueda tabú es uno de los métodos más utilizados en la optimización combinatoria (Mahdavi, Zaerpour, Zareei, & Hajinezhad, 2010). Es un procedimiento meta - nivel para guiar métodos de búsqueda locales a vencer la optimalidad local, este fue propuesto inicialmente por Glover (1986) (Gendreau & Potvin,2011). Este método funciona mediante la incorporación de funciones de memoria flexible para prohibir transiciones entre soluciones que reestablecen atributos de soluciones pasadas. Los atributos que no se les permiten ser reincorporados se les llama tabú y se mantienen en una memoria de corto plazo (Laguna & Glover, 1993). La metaheurística Búsqueda Tabú, ha sido exitosamente aplicada en una gran variedad de problemas de rutas de vehículos con restricciones de tiempo (Gendreau & Potvin,2011).

#### *Solución Inicial*

La solución inicial es generada con la heurística del vecino más cercano. Mediante esta heurística se empieza desde el nodo 0, el cual corresponde a la bodega del BDAB y luego, se conecta al nodo el cual produce la ruta más económica, este proceso se itera hasta que el ultimo nodo es añadido a la ruta. Cuando una ruta no puede ser añadida debido a la capacidad del camión o a la restricción de las ventanas de tiempo, se evalúa otra ruta, si ninguna de las rutas cumple las restricciones el camión debe devolverse al nodo 0 (Perron & Furnon, 2019).

A continuación, se presenta el Pseudocódigo de la heurística del Vecino más cercano:

---

---

**Paso 1.** Elegir nodo de partida de la ruta.

**Para** camión en Camiones

**Mientras** nodo  $\leq$  nodos

**Paso 2.** Encontrar el arco al nodo con el costo más económico desde el nodo de partida

**Si** el arco con el costo más económico cumple con las restricciones de capacidad del “camión” y de ventana de tiempo:

**Paso 3.** Hacer “nodo” el nuevo nodo de partida.

**Paso 4.** Agregar arco a la ruta del “camión”

**Siguiente** Camión

---

---

### Estructura del Vecindario

La exploración del vecindario se realizará con base en los intercambios Cross, los cuales son muy adecuado para problemas VRPTW con restricciones de capacidad (Taillard et al. 1997) (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020). Así mismo, el vecindario se explorará de forma sistemática, considerando para ello, todos los posibles intercambios de secuencias de tamaño  $n_1 = 1, 2, \dots, L$  y  $n_2 = 1, 2, \dots, L$  para cada par de rutas en la actual solución (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020).

### Intercambio Cross

Con una secuencia de  $n_1$  fundaciones en la primera ruta y  $n_2$  fundaciones en la segunda ruta, se remueven los arcos  $(i_l, i_{l+1}), (j_h, j_{h+1}), (i_{l+n_1}, i_{l+n_1+1}), (j_{h+n_2}, j_{h+n_2+1})$  y se agregan los arcos  $(i_l, j_{h+1}), (j_h, i_{l+1}), (i_{l+n_1}, j_{h+n_2+1}), (j_{h+n_2}, i_{l+n_1+1})$  (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020).

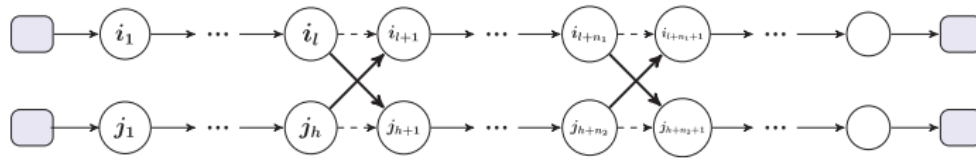


Figura 9 Intercambio Cross. Fuente: (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020).

### Lista Tabú

Con respecto a la construcción de la lista Tabú, para cada movimiento, se declara su inverso tabú, de forma que estos movimientos quedan restringidos durante cierto número de movimiento o tiempo. El movimiento dejará de estar restringido hasta la iteración actual más el tamaño de la lista Tabú. El valor de la lista Tabú, de acuerdo con los resultados obtenidos en el trabajo desarrollado por Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin es  $n_c$ , siendo  $n_c$  el número total de fundaciones (2020).

### Criterio de Aspiración.

Se utiliza el criterio clásico de aspiración, en donde el estado tabú se anula si conduce a una solución de vecindario que es mejor que la mejor solución conocida (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020). Por último, (Gmira, Gendreau, Lodi & Potvin, 2020) evaluó el número máximo de iteraciones  $It_{max}$ , siendo los candidatos  $5n_c$ ,  $10n_c$ ,  $15n_c$ . Gracias los resultados del trabajo se determinó que el mejor criterio de parada es  $10n_c$ , ya que con un criterio de parada  $5n_c$ , los resultados estuvieron lejos de ser óptimos y  $15n_c$  no traían una mejora significativa a los resultados de  $10n_c$  y el gasto computacional aumenta considerablemente.

### Diagrama de Flujo búsqueda Tabú

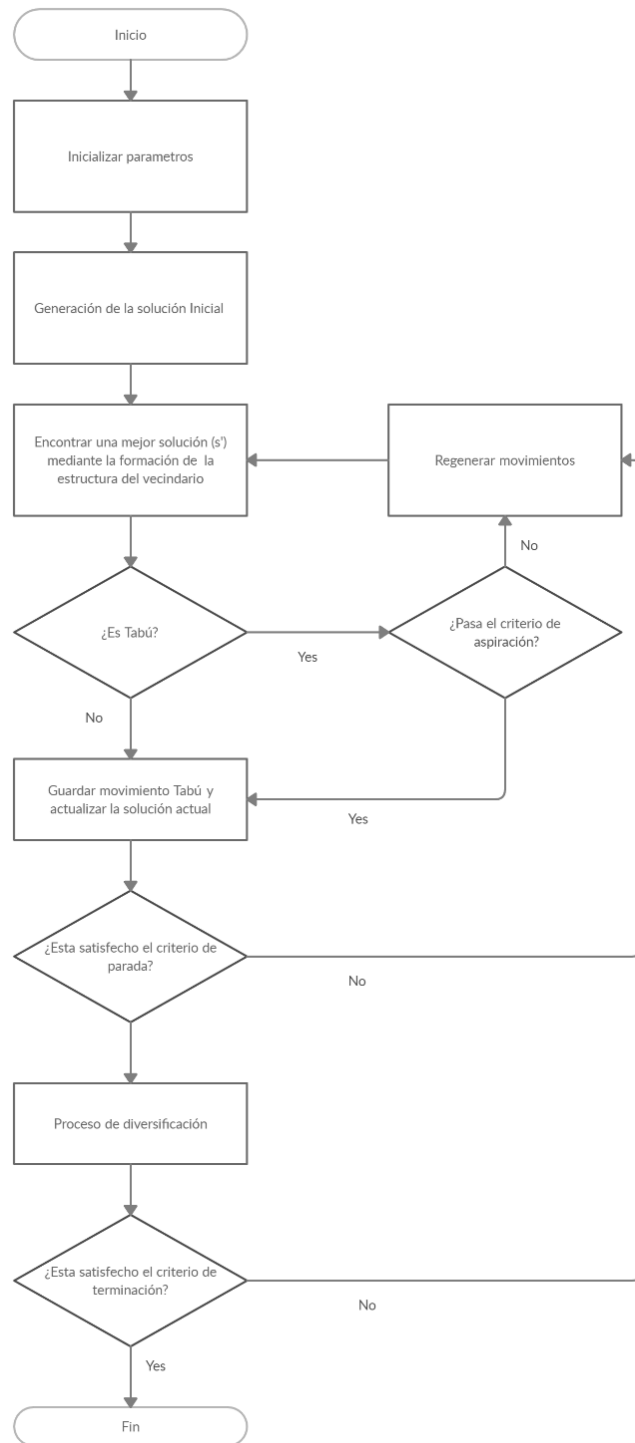


Figura 10 Diagrama Flujo Búsqueda Tabú Referencia: (Meliani, Elhaq, Hani & Mhamedi, 2019).

### 3.2.8. Desarrollo del MMRC

#### *Ingreso de Datos al Modelo.*

Los datos del modelo correspondientes a las distancias entre los nodos se calcularán a través de las API de Google Maps, API de Distance Matrix, la cual, después de georreferenciar dos o más ubicaciones, a través del formato JSON, logra devolver los parámetros de distancia y tiempo de recorrido en tiempo real, teniendo en cuenta tráfico o condiciones anormales que pueda afectar el recorrido entre dos puntos en el Mapa. El resultado de este proceso es una matriz de distancias y tiempos.

#### *Gestión de las ventanas de tiempo para las fundaciones*

El modelo de MMRC considera el ingreso ventanas de tiempo como parámetro exclusivo de las fundaciones, las cuales son acordadas una vez se establece la relación con el BDAB. Estos son los horarios en los cuales es posible descargar los alimentos en los lugares de almacenamiento de las fundaciones. Es importante resaltar que los rangos de tiempo son relativos al momento de correr el modelo, por ejemplo, si la fundación X1 llega a un acuerdo con el BDAB, donde se especifique que el tiempo en el cual se puede recibir los alimentos comprende desde 4:00 pm hasta las 7:00 pm y el modelo se corre a las 7:00 am, quiere decir que los alimentos deben ser entregados entre 9 y 12 horas, siendo estos los datos que finalmente ingresan al modelo de MMRC. Finalmente, se tienen en cuenta los tiempos de carga y descarga de los alimentos como un valor constante de 30 minutos.

#### *Características técnicas del modelo.*

Para dar solución al MMRP, se utilizó el lenguaje de programación Python 3.7.6 (default, Jan 8 2020, 20:23:39) [MSC v.1916 64 bit (AMD64)]. Las pruebas del modelo se corrieron en el ambiente Anaconda, con el editor de texto Visual Studio Code de Microsoft. Adicionalmente, se utilizó la suite de distribución libre de Google OR-TOOLS, la cual proporciona librerías con algunos Solvers adecuados para la solución del MMCP, en específico la librería pywrapcp.

Por último, se hizo uso de librerías de distribución libre como Numpy, Pandas, Scipy, Math, Json y Matplotlib como herramientas para la programación del modelo. Las instancias se corrieron en un ordenador con la CPU Intel Core i5 8300GH 14nm 4 Cores 2.30GHz, GPU Nvidia GeForce GTX 1050, con una memoria RAM de 16 GB.

### 3.2.9. Resultados del MMRC

Con el objetivo de obtener los resultados del MMRC, se recolectaron datos reales de la operación del BDAB, los cuales incluyen la ubicación de cada fundación que se encuentra dentro del programa de Nutrición Integral, el rango de tiempo en el cual se acordó descarga de los alimentos, así mismo, acorde con la demanda de alimentos de cada fundación, se obtuvo su demanda en peso (Kilos).

Por parte de los camiones, para el modelo se tiene en cuenta una flota de 2 camiones Turbo de 4,5 toneladas no refrigerados, un camión sencillo de 2.5 toneladas, 2 camiones Turbo de 4,2 toneladas refrigerados y un camión sencillo de 2.5 toneladas refrigerado. Las distancias entre nodos serán calculadas en tiempo real, teniendo en cuenta tráfico y contratiempos que puedan presentarse en las vías, por ello, el recorrido puede cambiar de acuerdo con el tiempo 0 de la corrida.

Acorde con las políticas del BDAB, no se mencionarán los nombres de las fundaciones, en vez de ello, se enumerará cada una de ellas, siendo  $V = \{f1, f2, \dots, fn\}$

A continuación, en la tabla 6, se relacionan los datos de entrada del modelo.

<i>Fundación</i>	<i>Dirección</i>	<i>Rango horario min</i>	<i>Rango Horario Max</i>	<i>Demanda de Productos No Refrigerados</i>	<i>Demanda de Productos Refrigerados</i>
<i>f1</i>	Cra. 21 No. 196 A - 12	14:00:00	18:00:00	214.37	36.5
<i>f2</i>	Cra. 93 B No. 34 - 97 Sur	7:00:00	11:00:00	411.26	68.5
<i>f3</i>	Calle 69 C No. 17 F - 11 Sur	14:00:00	18:00:00	647.86	115.5
<i>f4</i>	Cra. 96 B No. 38 C - 20 Sur	7:00:00	11:00:00	1211.75	824
<i>f5</i>	Cra. 34 este No. 41 - 38	7:00:00	11:00:00	151.28	26.5
<i>f6</i>	Avda. Cra. 70 No. 49 - 82	14:00:00	18:00:00	181.51	419
<i>f7</i>	Calle 32 B Sur No. 16 A - 07	7:00:00	11:00:00	124	267.5
<i>f8</i>	Calle 42 C No. 23 B Este - 12	14:00:00	18:00:00	181.26	399.5
<i>f9</i>	Cra. 3ra No. 6 B - 91	14:00:00	18:00:00	158.624	327.5
<i>f10</i>	Calle 52 No. 7 - 94	7:00:00	11:00:00	140.668	287
<i>f11</i>	Calle 73 L No. 77 - 47 Sur	14:00:00	18:00:00	151.736	314.5
<i>f12</i>	Cra. 2da A No. 90 - 31 Sur	7:00:00	11:00:00	1064.86	238
<i>f13</i>	Cra. 46 No. 73 B - 17 Sur	7:00:00	11:00:00	203.728	420.5
<i>f14</i>	Cra. 17 F # 71 A - 24 Sur	14:00:00	18:00:00	298.22	51
<i>f15</i>	Calle 68 Bis Sur No. 77A - 18	7:00:00	11:00:00	563.48	134.5

Tabla 12 Datos de Entrada MMRC

	<i>Camiones No Refrigerados</i>	<i>Camiones Refrigerados</i>
<i>Camión Turbo 4.5</i>	2	0
<i>Camión Turno 4.2</i>	0	2
<i>Camión Sencillo 2.5</i>	1	1

Tabla 13 Datos de los camiones para el MMRC

De acuerdo, con los datos de entrada del modelo se obtuvieron los resultados del modelo MMRC. Para la primera etapa, se obtuvo el ruteo de los camiones teniendo en cuenta ventanas de tiempo, en la segunda etapa se retiraron las ventanas de tiempo con el objetivo de analizar el comportamiento del algoritmo. En la *tabla 10, 11 y 12* se exponen los resultados del modelo cuando se tienen en cuenta las ventanas de tiempo para el *vehículo 1 Camión Turbo 4.5 T no refrigerado, vehículo 2 Camión Turbo 4.5 T no refrigerado y vehículo 3 Camión Turbo 2.5 T no refrigerado.*

<b>Ruta Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (m)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	12:58	-	-	-	13:28	-	-	-	11	-	-
<b>6:00</b>	11	-	1897	14:00	1800	14:30	14120	14120	151.74	14	14:00	18:00
<b>6:00</b>	14	-	1493	14:54	1800	15:24	9783	23903	449.96	3	14:00	18:00
<b>6:00</b>	3	-	1038	15:42	1800	16:12	1038	24941	1097.82	9	14:00	18:00
<b>6:00</b>	9	-	2197	16:48	1800	17:18	15906	40847	1256.44	8	14:00	18:00
<b>6:00</b>	8	-	794	17:32	1800	18:02	3924	44771	1437.7	0	14:00	18:00
<b>6:00</b>	-	-	2300	18:40	1800	-	14630	59401	-	-	-	-

*Tabla 14 Ruta Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)*

<b>Ruta Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (m)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	6:03	-	-	-	6:33	-	-	-	4	-	-
<b>6:00</b>	4	-	1614	7:00	1800	7:30	11317	11317	1211.75	2	7:00	11:00
<b>6:00</b>	2	-	141	7:32	1800	8:02	438	11755	1623.01	10	7:00	11:00
<b>6:00</b>	10	-	1507	8:27	1800	8:57	9080	20835	1763.68	13	7:00	11:00
<b>6:00</b>	13	-	909	9:12	1800	9:42	4848	25683	1967.41	7	7:00	11:00
<b>6:00</b>	7	-	3267	10:37	1800	11:07	3267	28950	2091.41	0	7:00	11:00
<b>6:00</b>	-	-	3042	11:57	1800	-	20254	49204	-	-	-	-

*Tabla 15 Ruta Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)*



<b>Ruta Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (m)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	6:00	-	-	-	6:30	-	-	-	15	-	-
<b>6:00</b>	15	-	2255	7:07	1800	7:37	14037	14037	563.48	5	7:00	11:00
<b>6:00</b>	5	-	1338	7:59	1800	8:29	1338	15375	714.76	12	7:00	11:00
<b>6:00</b>	12	-	2943	9:18	1800	9:48	20784	36159	1779.62	1	7:00	11:00
<b>6:00</b>	1	-	16817	14:29	1800	14:59	16817	52976	1993.98	6	14:00	18:00
<b>6:00</b>	6	-	1679	15:27	1800	15:57	17051	70027	2175.5	0	14:00	18:00
<b>6:00</b>	-	-	850	16:11	1800	-	8733	78760	-	-	-	-

*Tabla 16 Ruta Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado)*

De acuerdo con los resultados del MMCR, para el *vehículo 1 Camión Turbo 4.5 T no refrigerado*, *vehículo 2 Camión Turbo 4.5 T no refrigerado* y *vehículo 3 Camión Turbo 2.5 T no refrigerado*, se puede evidenciar cumplen las restricciones de ventanas de tiempo, así mismo, se puede analizar que los camiones intentan cubrir la una sola franja de horarios, con el fin de tener tiempos muertos entre recorridos. Para los camiones en mención, la distancia total recorrida es 187.365 km. Así mismo, como se especificó anteriormente, el tiempo de carga y descarga de los alimentos será un valor constante igual a 30 min.

Así mismo, se representa dentro del mapa la ruta que seguirá *Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)*,

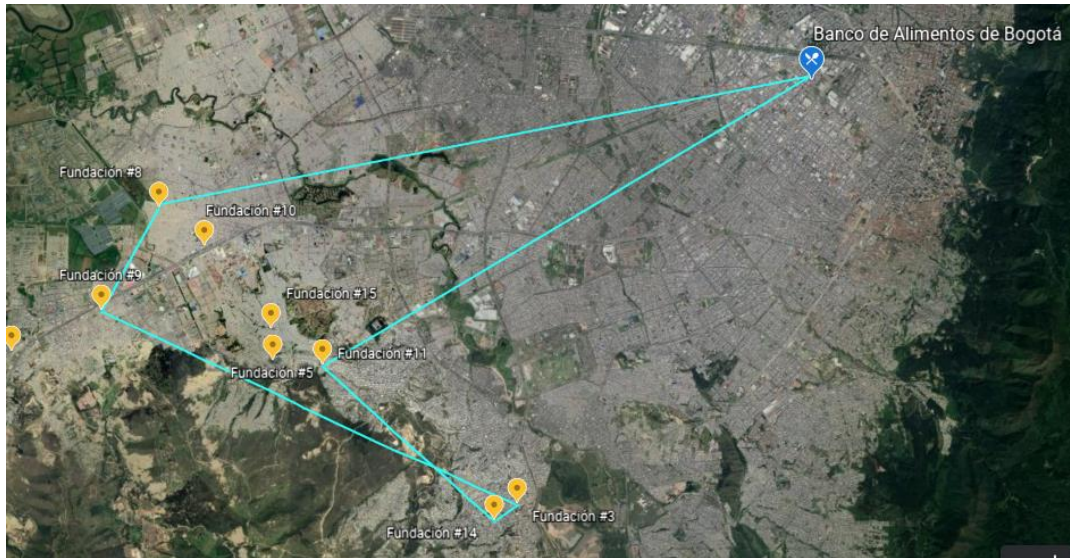


Figura 11 Nodos a visitar Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado) Google Earth

En la figura 10 se observan los nodos que deben ser visitados por el *Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)*, sin tener en cuenta el recorrido por las vías de Bogotá, por ello, y con el objetivo de observar la ruta recomendada para el *Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)*, se presenta en el mapa de Google la ruta que debe recorrer el vehículo, relacionando el orden en el cual se recorren los nodos (BDAB y Fundaciones).

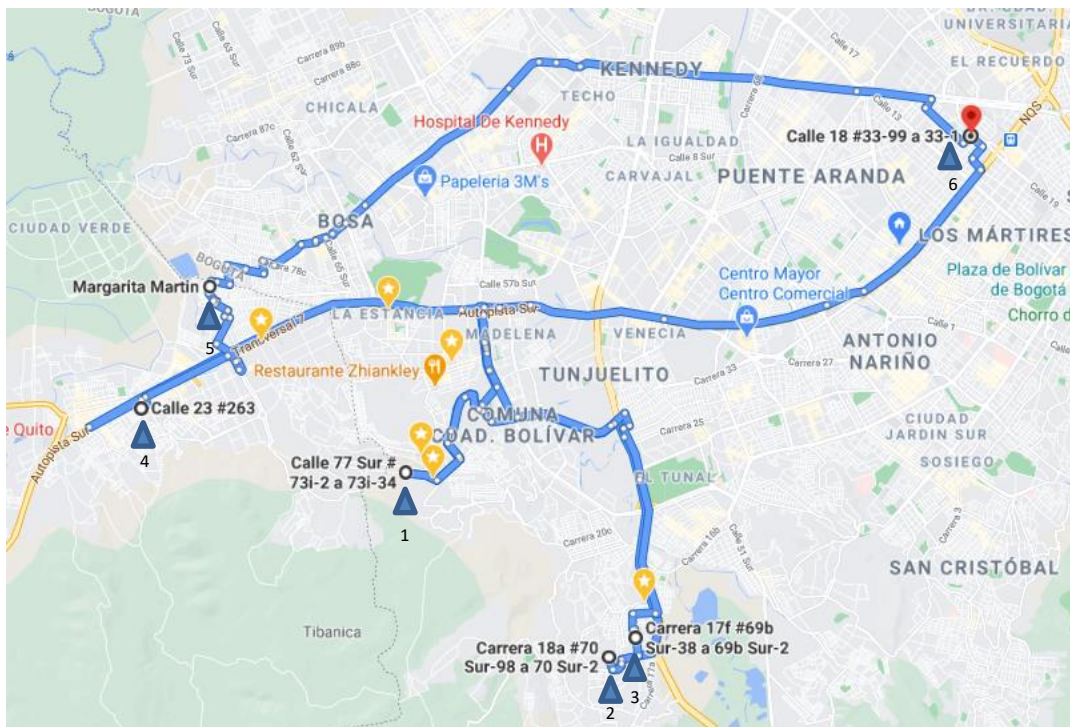
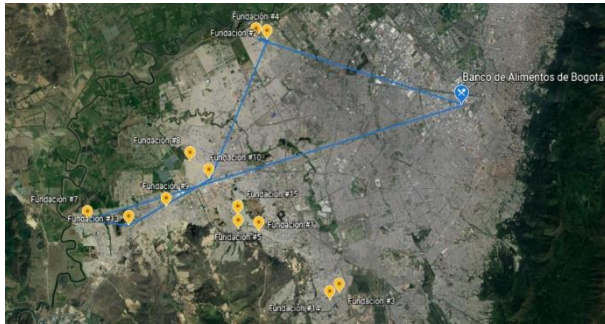


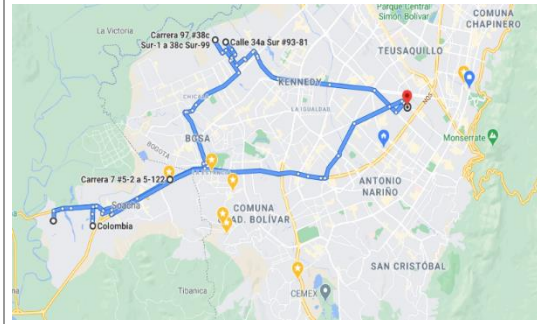
Figura 12 Ruta Recomendada para el Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado), Google Maps

En la *figura 11* se observa que el *Vehículo 1 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)* parte del BDAB, luego, descarga alimentos en 5 fundaciones y, por último, retorna a la bodega del BDAB. En adición, se puede evidenciar que la ruta le da prioridad a ciertos nodos de acuerdo con la ventana de tiempo que eligieron para el descargue de los alimentos. Por último, la distancia total que recorre el camión para cumplir con la ruta es 59.401 km.

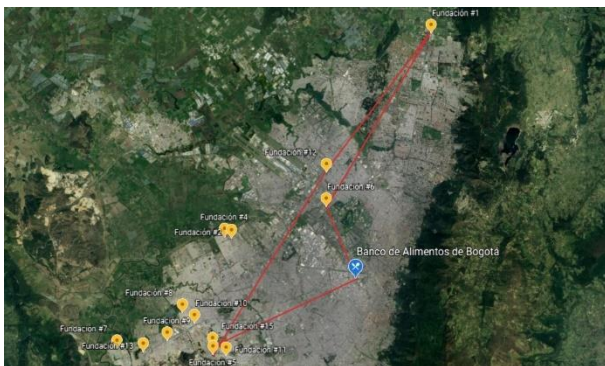
Con respecto al *Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)* y *Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado)*, en la *figura 12* y *14* se muestra, de manera general, la ruta que seguirá el vehículo. Así mismo, en la *figura 13* y *15*, se presenta gráficamente, utilizando la aplicación de mapas de Google, la ruta que debe recorrer el vehículo, relacionando el orden en el cual se recorren los nodos (BDAB y Fundaciones).



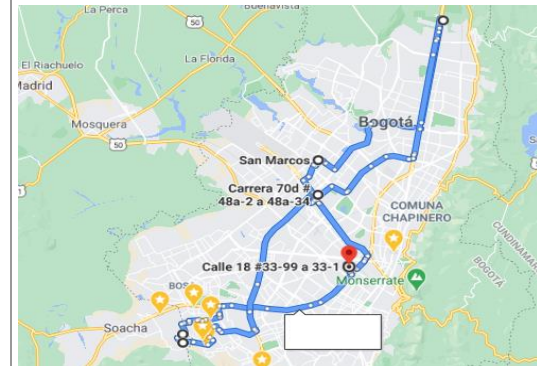
*Figura 13* Nodos a visitar Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado) Google Earth



*Figura 14* . Ruta Recomendada para el Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado), Google Maps



*Figura 15* Nodos a visitar Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado) Google Earth



*Figura 16* Ruta Recomendada para el Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado), Google Maps

En la *figura 13* se observa que el *Vehículo 2 Camión Turbo 4.5 (no refrigerado)* parte del BDAB, luego, descarga alimentos en 5 fundaciones y, por último, retorna a la bodega del BDAB. Por último, la distancia total que recorre el camión para cumplir con la ruta es 49.204 km. Con respecto a la *figura 15*, el *vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (no refrigerado)*, recorre una distancia total de 78.760 km.

En referencia a las rutas de los camiones refrigerados, en la *tabla 13,14,15* se relacionan los resultados del *Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)*, *Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)* y *Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado)*, teniendo en cuenta los nodos recorridos, el tiempo acumulado, la distancia acumulada y la cantidad de alimento entregado (kilos) en cada una de las fundaciones. Dentro del programa Nutrición Integral, los alimentos que pueden ser considerados refrigerados son los cárnicos y lácteos.

<b>Ruta Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (m)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	6:32	-	-	-	7:02	-	-	-	15	-	-
<b>6:00</b>	15	-	2255	7:40	1800	8:10	14037	14037	134.5	5	7:00	11:00
<b>6:00</b>	5	-	1338	8:32	1800	9:02	1338	15375	161	10	7:00	11:00
<b>6:00</b>	10	-	1525	9:28	1800	9:58	8224	23599	448	7	7:00	11:00
<b>6:00</b>	7	-	1121	10:16	1800	10:46	6341	29940	715.5	13	7:00	11:00
<b>6:00</b>	13	-	598	10:56	1800	11:26	3158	33098	1136	11	7:00	11:00
<b>6:00</b>	11	-	9186	14:00	1800	14:30	9186	42284	1450.5	14	14:00	18:00
<b>6:00</b>	14	-	1493	14:54	1800	15:24	9783	52067	1501.5	3	14:00	18:00
<b>6:00</b>	3	-	1038	15:42	1800	16:12	1038	53105	1617	9	14:00	18:00
<b>6:00</b>	9	-	2197	16:48	1800	17:18	15906	69011	1944.5	8	14:00	18:00
<b>6:00</b>	8	-	794	17:32	1800	18:02	3924	72935	2344	0	14:00	18:00
<b>6:00</b>	-	-	2300	18:40	1800	-	14630	87565	-	-	-	-

*Tabla 17 Ruta Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)*

<b>Ruta Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (mts)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	6:03	-	-	-	6:33	-	-	-	2	-	-
<b>6:00</b>	2	-	1595	7:00	1800	7:30	11179	11179	68.5	4	7:00	11:00
<b>6:00</b>	4	-	124	7:32	1800	8:02	472	11651	892.5	12	7:00	11:00
<b>6:00</b>	12	-	1878	8:33	1800	9:03	11189	22840	1130.5	0	7:00	11:00
<b>6:00</b>	-	-	11921	12:22	1800	-	11921	34761	-	-	-	-

*Tabla 18 Ruta Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)*

<b>Ruta Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado)</b>												
<b>Inicio Jornada</b>	Nodo Salida	Hora Inicio de Cargue	Tiempo de trayecto entre nodos (seg)	Hora de Llegada	Tiempo de descargue (seg)	Hora de Salida	Distancia entre nodos (mts)	Distancia Acumulada (mts)	Cantidad alimento descargado en Kilos	Nodo Entrada	Ventana de Tiempo (min)	Ventana de tiempo (Max)
<b>6:00</b>	0	13:02	-	-	-	13:32	-	-	-	1	-	-
<b>6:00</b>	1	-	1631	14:00	1800	14:30	20325	20325	36.5	6	14:00	18:00
<b>6:00</b>	6	-	1679	14:57	1800	15:27	17051	37376	455.5	0	14:00	18:00
<b>6:00</b>	-	-	850	15:42	1800	-	8733	46109	-	-	-	-

*Tabla 19 Ruta Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado)*

Con relación a los resultados del MMRC, para el vehículo 1 Camión Turbo 4.2 T refrigerado, vehículo 2 Camión Turbo 4.2 T refrigerado y vehículo 3 Camión Turbo 2.5 T refrigerado se evidencia que se cumplen las restricciones de ventanas de tiempo. Así mismo, los resultados muestran que el vehículo 1 pasara por la mayoría de los nodos, este fenómeno sucede debido a que la demanda de productos refrigerados es menor la de productos no refrigerados y los camiones tienen la capacidad suficiente para hacer cubrir una mayor cantidad de nodos. El total en distancia recorrida por los camiones refrigerados fue 168.435 km.

Con relación al Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado), Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado) Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado), en la figura 16, 18 y 20 se muestra, de manera general, la ruta que seguirá el vehículo. Así mismo, en la figura 17,19 y 21 se presenta gráficamente. utilizando la aplicación de mapas de Google, la ruta que debe recorrer el vehículo, relacionando el orden en el cual se recorren los nodos (BDAB y Fundaciones).

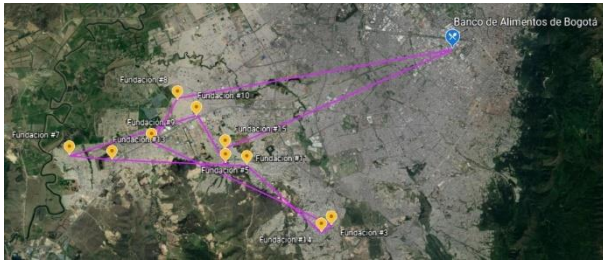


Figura 17 Nodos a visitar Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado) Google Earth

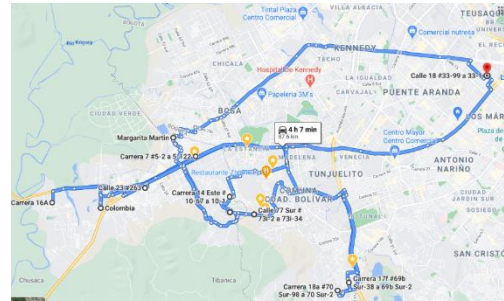


Figura 18 Ruta Recomendada para el Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado), Google Maps

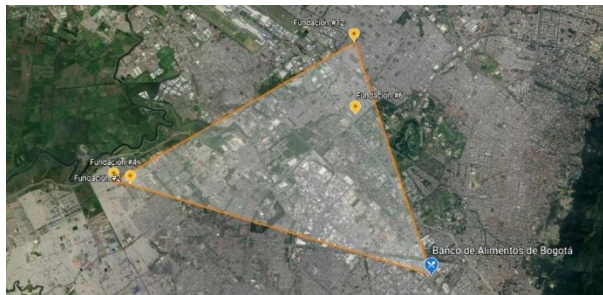


Figura 19 Nodos a visitar Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado) Google Earth

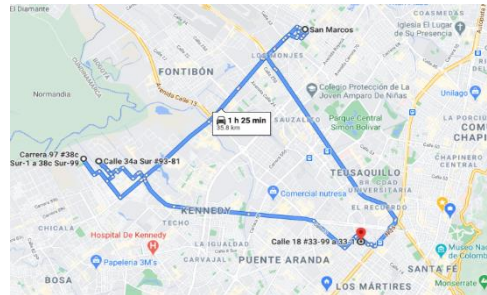


Figura 20 Ruta Recomendada para el Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado), Google Maps

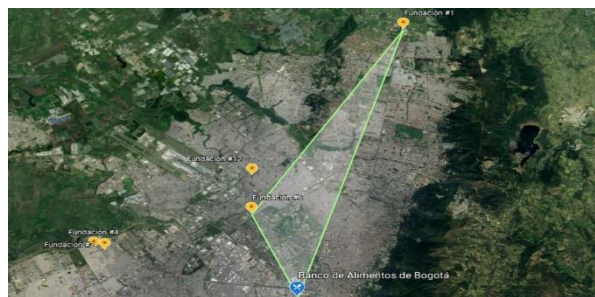


Figura 21 Nodos a visitar Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado) Google Earth

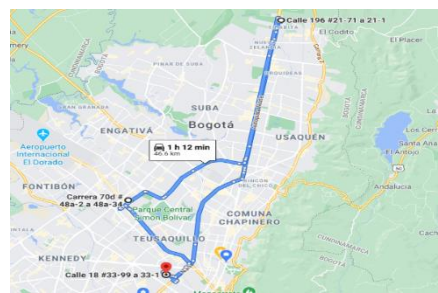


Figura 22 Ruta Recomendada para el Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado), Google Maps

En la *figura 17* se observa que el *Vehículo 1 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)* parte del BDAB, luego, recorre 10 fundaciones respetando la restricción de las ventanas de tiempo y luego regresa a la bodega del BDAB, recorriendo de esta manera una distancia de 87.57 km. Así mismo, en la *figura 19* se puede evidenciar que, el *Vehículo 2 Camión Turbo 4.2 (refrigerado)* recorre 3 nodos y suma una distancia de ruta igual a 34.76 km. Por último, en la *figura 21*, se muestra el recorrido del *Vehículo 3 Camión Turbo 2.5 (refrigerado)* recorre un total de 46.11 Km.

*Costos del Modelo vs Situación Actual*

A continuación, se comparan los costos del modelo y la situación actual del BDAB, teniendo en cuenta solamente los rubros correspondientes al programa Nutrición Integral.

Rubro De Costos	Costo Vehículos para el Programa Nutrición Integral (Situación Actual)	Costo Vehículos para el Programa Nutrición Integral (Modelo Matemático)	Diferencia	Diferencia Porcentual
<b>Revisión Técnico-Mecánica</b>	\$ 272,023.71	\$ 272,023.71	\$ 0.00	0.00%
<b>Cambio De Aceite</b>	\$ 183,110.86	\$ 176,568.86	-\$ 6,542.00	3.57%
<b>Mantenimiento Camiones</b>	\$ 420,000.00	\$ 276,916.00	-\$ 143,084.00	34.07%
<b>Valor Del Equipo (Depreciación Mensual)</b>	\$ 126,785.71	\$ 126,785.71	\$ 0.00	0.00%
<b>Costo Gasolina</b>	\$ 3,426,987.14	\$ 1,709,462.14	-\$ 1,717,525.00	50.12%
<b>Costo Lavado</b>	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00	\$ 0.00	0.00%
<b>Costo De Enllantada</b>	\$ 946,285.71	\$ 946,285.71	\$ 0.00	0.00%
<b>Frenos</b>	\$ 171,428.57	\$ 171,428.57	\$ 0.00	0.00%
<b>Celular</b>	\$ 21,428.57	\$ 21,428.57	\$ 0.00	0.00%
<b>Total</b>	<b>\$ 5,621,508.29</b>	<b>\$ 3,760,899.29</b>	<b>-\$ 1,860,609.00</b>	<b>33.10%</b>

*Tabla 20 Costos Situación Actual vs MMRC*

Se evidencia que existe una mejora mensual de \$ 1,860,609.00, la cual representa una diferencia porcentual de 33.10 %, por lo tanto, se concluye que el MMRC disminuyen los costos de la operación actual del BDAB.

Por último, se calcula el costo total del Modelo de Distribución de Pedidos.

Modelo	Costo del Modelo
<b>MMCP</b>	\$ 23,595,882
<b>MMRC</b>	\$ 3,760,899
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 27,356,781</b>

*Tabla 21 Total de Costos del MDP*

### 3.3. Mejora Continua del MDP

De acuerdo con el objetivo específico tres (3) del presente trabajo, se propone una metodología de mejora continua a través de indicadores definidos por un grupo de expertos para ajustar el modelo de distribución de pedidos a la situación actual del BDAB, para ello se toma como referencia el trabajo desarrollado por (Rehman, Khan, Kusi-Sarpong & Hassan, 2018), quienes implementaron un sistema de mejora continua a través de las metodologías AHP y DMAIC para cadenas de suministro.

La Metodología de Jerarquía Analítica (AHP) es utilizada para determinar las prioridades de las alternativas de mejora de acuerdo con la meta del BDAB y a criterios definidos previamente por el grupo de expertos. Luego de la jerarquización de las alternativas de mejora se aplica la metodología DMAIC, presentada por la norma ISO 13053 del 2011.

#### 3.3.1. Metodología de Jerarquía Analítica

La metodología AHP fue desarrollada por (Saaty, 1980), para el problema de toma de decisiones multicriterio, con la capacidad de considerar factores tangibles e intangibles y estructurar problemas de manera jerárquica a partir de criterios cualitativos y cuantitativos. AHP asigna pesos a varias alternativas usando el principio de comparación por pares y asigna un puntaje sintético a cada proveedor (Chan & Chan 2004). Esta herramienta utiliza elementos del algebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel cuando se tiene en consideración varios criterios, estas características hacen que la herramienta sea compatible con el problema de selección de proveedores (Osorio & Orejuela, 2008).

En un ambiente corporativo, AHP es una de las herramientas más efectivas para la evaluación de proveedores (Bradi, Hashemi, & Wang, 2017). Las principales ventajas de la herramienta es su simplicidad, robustez en el proceso de toma de decisiones. AHP proporciona un medio para descomponer un problema complejo de decisión en sub-problemas que son más simples de evaluar y permite flexibilidad para enfrentar cambios en los elementos de manera que no afecten la estructura total el modelo (Osorio & Orejuela, 2008). A continuación, se presentan los pasos para el desarrollo de la metodología AHP:

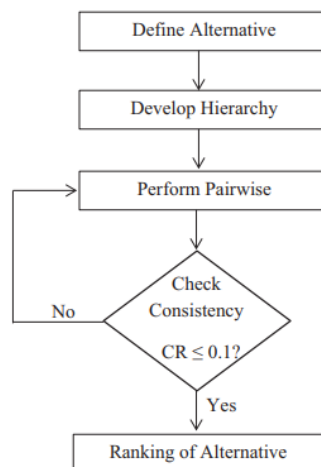


Figura 23 Pasos de la Metodología AHP.  
Referencia: (Rehman, Khan, Kusi-Sarpong & Hassan, 2018)



- Paso 1.** Definición de criterios, alternativas y variables del modelo.
- Paso 2.** De acuerdo con variables cualitativas y cuantitativas, se define la jerarquía de cada uno de los criterios y su puntuación.
- Paso 3.** Se compara la puntuación de cada uno de los entes del modelo de acuerdo con sus criterios.
- Paso 4.** Revisión de la consistencia de los resultados de la metodología.
- Paso 5.** Se jerarquizan las alternativas.

### 3.3.2. Metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC)

DMAIC es la metodología de mejoramiento continuo de Six Sigma usada para identificar y mejorar áreas específicas de un proceso (Qureshi et al., 2014). Hakimi, Zahraee & Mohd Rohani definen en su investigación cada uno de los pasos de la metodología DMAIC (2018):

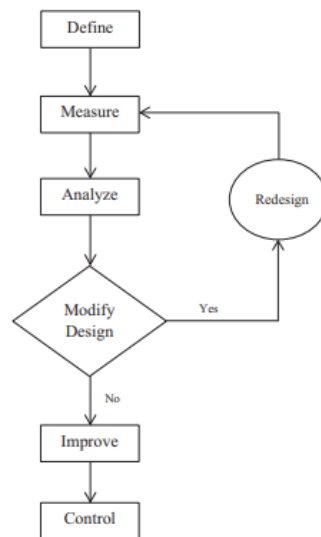


Figura 24 Pasos de la Metodología DMAIC. Referencia: (Rehman, Khan, Kusi-Sarpong & Hassan, 2018)

- Paso 1.** Definir: Aclarar el problema y analizar los beneficios de realizar la metodología.
- Paso 2.** Medir: Evaluar la situación actual y traducir el problema en parámetros medibles.
- Paso 3.** Analizar: Determinar el efecto de los factores internos y externos del proceso.
- Paso 4.** Mejorar: Mejorar el desempeño de los parámetros y diseñar ajustes al proceso.
- Paso 5.** Controlar: Controlar el sistema y el ajuste de la gestión de procesos para mejoras sostenibles.

A continuación, se propone un marco metodológico detallado de mejora continua para el modelo de distribución de pedidos. Para ello se enumerarán los pasos a seguir para la correcta implementación de la metodología de acuerdo con los trabajos desarrollado por Rehman, Khan, Kusi-Sarpong & Hassan (2018) y Ahmadi, Hashemi Petrudi, & Wang (2016).

### *Paso 1: Elaboración de Criterios*

Construir un listado con los criterios que permitan evaluar las propuestas de mejorar para el MDP, estos deben definirse de acuerdo con las necesidades de BDAB y al conocimiento por parte de los expertos en operación del banco. A continuación, se enumeran algunos criterios como ejemplo.

<i>índice</i>	Criterios de Evaluación
<i>C1</i>	Costo de la propuesta de mejora.
<i>C2</i>	Número de procesos que se ven impactados positivamente.
<i>C3</i>	Tiempo de implementación de la propuesta

*Tabla 22 Criterios de Evaluación*

### *Paso 2: Construcción de listado de mejoras para el MDP.*

Luego de la construcción de criterios o indicadores, enlistar las posibles mejoras a implementar para el modelo de distribución de pedidos, de acuerdo con la opinión de los expertos en operaciones y logística del BDAB. A continuación, se muestra un ejemplo de posibles mejoras para el MDP.

<i>índice</i>	Posible mejora al MDP
<i>M1</i>	Disponer de los camiones para el envío de bienes y alimentos
<i>M2</i>	Disminuir la huella de carbono producto del envío de alimentos a las fundaciones.
<i>M3</i>	Minimizar el tiempo de descarga de los alimentos en las fundaciones.
<i>M4</i>	Mejorar el estado físico en el cual llegan los alimentos a las fundaciones.

*Tabla 23 Posibles mejoras para el MDP*

### *Paso 3: Calificación de las propuestas de mejora.*

De acuerdo con las características de la propuesta y su impacto en la cadena de suministros del BDAB, calificar las propuestas de mejora de acuerdo con los criterios propuestos. Es importante considerar que, para los criterios cualitativos, se debe construir una escala de 1 a 9 donde 9 es mejor y 1 es peor de acuerdo con el criterio.

<b>Propuestas de Mejora/Criterios</b>	<b>C1 (\$)</b>	<b>C2 (# Procesos)</b>	<b>C3 (días)</b>
<b>M1</b>	\$ 3,500,000	10	22
<b>M2</b>	\$ 2,700,000	8	37
<b>M3</b>	\$ 3,100,000	12	2
<b>M4</b>	\$ 4,000,000	12	19.5

*Tabla 24 Calificación de las propuestas de Mejora*

### *Paso 4: Comparación de las propuestas de mejora.*

Con base a la evaluación entregada por el BDAB para cada una de las propuestas, diseñar la matriz de comparaciones pareadas, característica de la herramienta AHP, esta matriz contiene la preferencia por una alternativa u otra con base a cada uno de los criterios, por lo general se evalúa este nivel de preferencia mediante una escala que va del 1 al 9 siendo 1 igualmente preferible y 9 extremadamente preferible.

A continuación, en la tabla 25 se presenta la escala de preferencias comúnmente utilizada en la resolución de problemas con la herramienta AHP:

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuerte y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderada y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igual y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Tabla 25 Escala de preferencia Metodología AHP

Fuente: (Hurtado & Bruno, s.f.)

Conforme a las calificaciones de cada una de las opciones de mejora se construye la Matriz de comparaciones pareadas y se normaliza en un rango de 0 a 1, dividiendo cada uno de los pares sobre la sumatoria de los puntajes de cada mejora en el eje Y de la matriz. Luego de obtener la matriz normalizada, se realiza el promedio de puntaje para cada uno de los ítems para el eje X en la Matriz Normalizada. El anterior procedimiento da como resultado un vector de promedios y se repite para cada criterio a evaluar. Los resultados del ejemplo se muestran a continuación:

Criterio: Costo de la propuesta de mejora.

	M1	M2	M3	M4	Matriz Normalizada				Vector de Promedio
M1	1.00	0.20	0.20	5.00	0.09	0.12	0.05	0.21	0.12
M2	5.00	1.00	3.00	9.00	0.45	0.61	0.70	0.38	0.53
M3	5.00	0.33	1.00	9.00	0.45	0.20	0.23	0.38	0.31
M4	0.20	0.11	0.11	1.00	0.02	0.07	0.03	0.04	0.04
<b>Total</b>	11.20	1.64	4.31	24.00					

Criterio: Número de procesos que se ven impactados positivamente.

	M1	M2	M3	M4	Matriz Normalizada				Vector de Promedio
M1	1.00	0.33	3.00	3.00	0.21	0.19	0.30	0.30	0.25
M2	3.00	1.00	5.00	5.00	0.64	0.58	0.50	0.50	0.55
M3	0.33	0.20	1.00	1.00	0.07	0.12	0.10	0.10	0.10
M4	0.33	0.20	1.00	1.00	0.07	0.12	0.10	0.10	0.10
<b>Total</b>	4.67	1.73	10.00	10.00					

Criterio: Tiempo de implementación de la propuesta

	M1	M2	M3	M4	Matriz Normalizada				Vector de Promedio
M1	1.00	9.00	5.00	3.00	0.61	0.38	0.55	0.67	0.55
M2	0.11	1.00	0.14	0.14	0.07	0.04	0.02	0.03	0.04
M3	0.20	7.00	1.00	0.33	0.12	0.29	0.11	0.07	0.15
M4	0.33	7.00	3.00	1.00	0.20	0.29	0.33	0.22	0.26
<b>Total</b>	1.64	24.00	9.14	4.48					

Tabla 26 Matriz de Comparaciones pareadas

*Paso 5: Calificación y Comparación de los criterios.*

De igual modo, calificar cada uno de los criterios y luego, se construye la matriz de comparaciones pareadas, la Matriz Normalizada y por ultimo el Vector de Promedios. A continuación, se muestran los resultados del ejemplo.

	C1	C2	C3	Matriz Normalizada			Vector Promedio
C1	1.00	0.20	5.00	0.16	0.15	0.33	0.22
C2	5.00	1.00	9.00	0.81	0.76	0.60	0.72
C4	0.20	0.11	1.00	0.03	0.08	0.07	0.06
<b>Total</b>	6.20	1.31	15.00				

Tabla 27 Matriz de Comparaciones Pareadas para criterios

*Paso 6: Ponderación de resultados.*

Por último, ponderar los resultados de cada Vector de Promedios de las opciones de mejora con el resultado del Vector de Promedio de los criterios, a través de la suma producto de los vectores. El resultado de la suma producto es el puntaje final de cada una de las propuestas de mejora. En la siguiente tabla se muestran los resultados.

Propuestas de Mejora/Criterios	C1	C2	C3	Resultado Suma Producto
M1	0.12	0.25	0.55	0.24
M2	0.53	0.55	0.04	0.52
M3	0.31	0.10	0.15	0.15
M4	0.04	0.10	0.26	0.09
Ponderación Criterios	0.22	0.72	0.06	

Tabla 28 Matriz de ponderación de resultados

De acuerdo con los resultados, se puede concluir que, de acuerdo con los datos de ejemplo, la mejor propuesta de mejora es Disminuir la huella de carbono producto del envío de alimentos a las fundaciones (M2).

#### *Paso 7: Definición de la Propuesta de Mejora.*

Una vez elegida la propuesta de Mejora que se desea implementar, se procede a realizar los pasos de la metodología DMAIC, de acuerdo con la metodología descrita en el trabajo de (Rehman, Khan, Kusi-Sarpong, & Hassan, 2018), la cual inicia con la definición del proyecto y el problema principal, así mismo, en esta fase se definen los objetivos y los requerimientos del BDAB y las fundaciones asociadas. Algunas herramientas que pueden ser utilizadas para esta fase son el Diagrama de Pareto, lluvia de ideas, entrevistas a expertos e histogramas.

#### *Paso 8: Medición de Propuesta de Mejora.*

Recolectar los datos relacionados con la solución y el problema, identificando parámetros para medir, junto con las herramientas de medición y, por último, encontrando un lenguaje en común que permita el entendimiento de los datos encontrados. Para esta fase es muy útil el uso de herramientas tales como gráficos de control, diagrama de causa y efecto y diagramas de entrada-proceso-salida.

#### *Paso 9: Análisis de la propuesta de Mejora.*

Analizar y procesar los datos, para luego, determinar cuál es el mejor modo de diseñar e implementar la propuesta de mejora. Algunas herramientas que pueden ser utilizadas en este paso son matriz de relación, correlación y regresión y matriz de alternativas.

#### *Paso 10: Implementación de la propuesta.*

En este paso se encuentran las diferentes formas de implementar la mejora en el proceso, se procede a realizar su correspondiente testeo y, por último, se implementa la mejora. Para este paso se realizan pruebas piloto y técnicas analíticas.

#### *Paso 10: Controlar.*

Por último, se establece un plan de controles que garantice que la mejora alcanzará a cumplir con los objetivos deseados. Para esta fase, es posible utilizar herramientas como gráficos de control y de capacidad del proceso.

## **4. Conclusiones y Recomendaciones**

En el presente documento se estudió la situación actual del BDAB, en cuanto a la programación de pedidos y la construcción de menús para las fundaciones inscritas dentro del programa de Nutrición Integral. Para realizar el respectivo análisis se obtuvo la información relacionada con las fundaciones, incluyendo número de niños, peso y talla, ubicación de las fundaciones y periodos de tiempo en los cuales las fundaciones están dispuestas a recibir donaciones. Así mismo, se obtuvo la información de capacidad del BDAB en cuanto a flota y la oferta de sus proveedores.

Se proponen dos modelos, el primero, un modelo de distribución, el cual busca la disminución de los costos de pedido, la reducción de desperdicio de alimento, la disminución del costo de la ruta para cumplir con la distribución de los alimentos en las fundaciones, teniendo en cuenta el tráfico real y ventanas de tiempo. El segundo, un modelo de nutrición que busca disminuir los costos de la minuta de acuerdo con los precios promedio de los alimentos, cumpliendo con restricciones nutricionales.

Para el planteamiento del primer modelo, se construye un modelo matemático de coordinación de pedidos el cual se resuelve de acuerdo con el método Lexicográfico para la solución de problemas con variables

multiobjetivo, considerando prioridades de objetivos. Los resultados, del modelo matemático arrojaron la cantidad de alimento que se recibe del proveedor  $p$  debe ser entregado a la fundación  $F$ .

El segundo modelo matemático consiste en un ruteo de vehículos Refrigerados y No refrigerados, para la entrega de los pedidos a las fundaciones, con el objetivo de disminuir el costo de la ruta, el cual fue dado como \$/Km, para el mismo, se tiene en cuenta el tráfico en tiempo real con el uso de la API de mapas de Google. El resultado del modelo, entrega las rutas que debe seguir cada camión, respetando las restricciones de capacidad de este y las ventanas de tiempo propuestas por las fundaciones.

De acuerdo con los resultados del modelo de distribución, se puede concluir que se cumplieron las restricciones del modelo, así mismo, se entrega una buena solución que permita mejorar la situación actual del proceso de distribución de Alimentos.

El segundo modelo propuesto busca la creación de Menús semanales para el cumplimiento de las restricciones nutricionales de los niños de acuerdo con sus necesidades específicas, buscando disminuir el costo de la creación del Menú. Para la solución del modelo se hace uso de programación Lineal Entera-Mixta el algoritmo de COIN Branch and Cut de Google. Los resultados entregan el menú semanal para las fundaciones, cumpliendo con los requerimientos nutricionales y con la oferta de los proveedores.

Por otro lado, se evidencia que trabajo generó un impacto social, ya que permite al BDAB, ser eficiente en el manejo de sus recursos y, por ende, llegar a más personas con la problemática de inseguridad alimentaria. Es evidente que se requieren más proyectos con enfoque social, que permitan contribuir a la disminución de la pobreza y crecimiento del país.

Como trabajo futuro se recomienda robustecer el modelo matemático de programación de pedidos, con el objetivo de que pueda entregar un resultado en una situación en que la demanda sea mayor a la oferta. Así mismo, se recomienda la implementación del modelo en el Banco de Alimento y sus respectivas pruebas de uso.

Por otra parte, para el modelo de nutrición se recomienda la opción de menús alternativos para suplir otras opciones de menú, si se llegase a presentar la situación en la cual cierto producto no se encuentre disponible al momento de la entrega de los alimentos. Adicionalmente, la inclusión de nuevas tecnologías y APIs que permitan robustecer los tres modelos para el buen uso por parte del BDAB.

Por último, se recomienda la solución del problema a través de un modelo matemático que integre los módulos de nutrición y de coordinación, y así, realizar la comparación de sus resultados con el método de solución propuesto en el trabajo.

## 5. Referencias

- Abidi, H., De Leeuw, S., & Klumpp, M. (2014). Humanitarian supply chain performance management: A systematic literature review. *Supply Chain Management*, 19, 592–608. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2013-0349>
- Abualkhair, H., Lodree, E. J., & Davis, L. B. (2019). Managing volunteer convergence at disaster relief centers. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.018>
- Aburas, R., Najeeb, A., Baageel, L., & Mackey, T. K. (2018). The Syrian conflict: A case study of the challenges and acute need for medical humanitarian operations for women and children internally displaced persons. *BMC Medicine*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12916-018-1041-7>
- Acimovic, J., & Goentzel, J. (2016). Models and metrics to assess humanitarian response capacity. *Journal of Operations Management*, 45, 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.003>
- Adivar, B., Atan, T., Oflaç, B. S., & Örtten, T. (2010). Improving social welfare chain using optimal planning model. *Supply Chain Management*, 15(4), 290–305. <https://doi.org/10.1108/13598541011054661>

- Aflaki, A., & Pedraza-Martinez, A. J. (2016). Humanitarian Funding in a Multi-Donor Market with Donation Uncertainty. *Production and Operations Management*, 25(7), 1274–1291. <https://doi.org/10.1111/poms.12563>
- Afsar, H. M., Prins, C., & Santos, A. C. (2014). Exact and heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem with flexible fleet size. *International Transactions in Operational Research*, 21(1), 153–175. <https://doi.org/10.1111/itor.12041>
- Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers and Operations Research*, 79, 223–263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- Ahmadi, H. B., Hashemi Petrudi, S. H., & Wang, X. (2016). Integrating sustainability into supplier selection with analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry. *Int J Adv Manuf Technol*
- Akbari, V., & Salman, F. S. (2017). Multi-vehicle synchronized arc routing problem to restore post-disaster network connectivity. *European Journal of Operational Research*, 257(2), 625–640. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.043>
- Alem, D., Clark, A., & Moreno, A. (2016). Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. *European Journal of Operational Research*, 255(1), 187–206. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.041>
- Allahviranloo, M., Chow, J. Y. J., & Recker, W. W. (2014). Selective vehicle routing problems under uncertainty without recourse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62, 68–88. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.004>
- Allsopp, M. A. K., & Hosler, A. S. (2019). Retrospective Evaluation of the Short-Term Sustainability of the Locally Grown Produce Initiative of the Hunger Prevention and Nutrition Assistance Program in New York State. *Journal of Public Health Management and Practice*, 25(2), 191–196. <https://doi.org/10.1097/PHH.0000000000000785>
- Alp Ertem, M., & Buyurgan, N. (2011). An auction-based framework for resource allocation in disaster relief. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 170–188. <https://doi.org/10.1108/20426741111158412>
- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). Relief distribution networks: a systematic review. *Annals of Operations Research*, 223(1), 53–79. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1581-y>
- Apte, A. (2009). Humanitarian logistics: A new field of research and action. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*, 3(1), 1–100. <https://doi.org/10.1561/02000000014>
- Ataseven, C., Nair, A., & Ferguson, M. (2018). An Examination of the Relationship between Intellectual Capital and Supply Chain Integration in Humanitarian Aid Organizations: A Survey-Based Investigation of Food Banks. *Decision Sciences*, 49(5), 827–862. <https://doi.org/10.1111/deci.12300>
- Baharmand, H., Comes, T., & Luras, M. (2017). Defining and measuring the network flexibility of humanitarian supply chains: insights from the 2015 Nepal earthquake. *Annals of Operations Research*, 1–40. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2713-y>
- Baharmand, H., Comes, T., & Luras, M. (2017). Managing in-country transportation risks in humanitarian supply chains by logistics service providers: Insights from the 2015 Nepal earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 549–559. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.07.007>
- Baharmand, H., Salvadó, L. L., Comes, T., & Luras, M. (2015). On the literature divergences of the humanitarian supply chain (Vol. 233). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24399-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24399-3_17)
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>
- Balcik, B., Irvani, S., & Smilowitz, K. (2014). Multi-vehicle sequential resource allocation for a nonprofit distribution system. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 46(12), 1279–1297.
- Banco de Alimentos (2017). Informe de Gestión 2017. Disponible en: <http://www.bancodealimentos.org.co/wp-content/uploads/2017/03/BANCO-ARQUIDIOCESANO-ALIMENTOS-INFORME-2017-7.pdf>
- Banco de Alimentos (2018). Informe de Gestión 2018. Disponible en: <https://www.globalgiving.org/pfil/32867/projdoc.pdf>
- Basgalupp, M. P., R. C. Barros, A. C. P. L. F. de Carvalho, and A. A. Freitas. 2014. “Evolving Decision Trees with Beam Search-based Initialization and Lexicographic Multi-objective Evaluation.” *Information Sciences* 258: 160–181.
- Bastian, N. D., Griffin, P. M., Spero, E., & Fulton, L. V. (2016). Multi-criteria logistics modeling for military humanitarian assistance and disaster relief aerial delivery operations. *Optimization Letters*, 10(5), 921–953. <https://doi.org/10.1007/s11590-015-0888-1>
- Baughan, E. (2012). The Imperial War Relief Fund and the All British Appeal: Commonwealth, Conflict and Conservatism within the British Humanitarian Movement, 1920-25. *Journal of Imperial and Commonwealth History*, 40(5), 845–861. <https://doi.org/10.1080/03086534.2012.730838>
- Bealt, J., Fernández Barrera, J. C., & Mansouri, S. A. (2016). Collaborative relationships between logistics service providers and humanitarian organizations during disaster relief operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(2), 118–144. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2015-0008>
- Bell, M. G. H., Fonzone, A., & Polyzoni, C. (2014). Depot location in degradable transport networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 66, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.11.003>

- Bemley, J. L., Davis, L. B., & Brock III, L. G. (2013). Pre-positioning commodities to repair maritime navigational aids. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 3(1), 65–89. <https://doi.org/10.1108/20426741311328529>
- Besiou, M., Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2018). OR applied to humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*, 269(2), 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.046>
- Besiou, M., Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2014). Vehicle supply chains in humanitarian operations: Decentralization, operational mix, and earmarked funding. *Production and Operations Management*, 23(11), 1950–1965. <https://doi.org/10.1111/poms.12215>
- Bhattacharya, S., Hasija, S., & Van Wassenhove, L. N. (2014). Designing efficient infrastructural investment and asset transfer mechanisms in humanitarian supply chains. *Production and Operations Management*, 23(9), 1511–1521. <https://doi.org/10.1111/poms.12177>
- Blecken, A. (2010). Supply chain process modelling for humanitarian organizations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(8), 675–692. <https://doi.org/10.1108/09600031011079328>
- Blecken, A., Danne, C., Dangelmaier, W., Rottkemper, B., & Hellingrath, B. (2010). Optimal stock relocation under uncertainty in post-disaster humanitarian operations. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2010.296>
- Blecken, A., Hellingrath, B., Dangelmaier, W., & Schulz, S. F. (2009). A humanitarian supply chain process reference model. *International Journal of Services, Technology and Management*, 12(4), 391–413. <https://doi.org/10.1504/IJSTM.2009.025815>
- Brock III, L. G., & Davis, L. B. (2015). Estimating available supermarket commodities for food bank collection in the absence of information. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3450–3461. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.068>
- Burkart, C., Besiou, M., & Wakolbinger, T. (2016). The funding—Humanitarian supply chain interface (Vol. 21). <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2016.10.003>
- Burkart, C., Nolz, P. C., & Gutjahr, W. J. (2017). Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics. *Annals of Operations Research*, 256(1), 41–61. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-2097-9>
- Cantillo, V., Macea, L. F., & Jaller, M. (2019). Assessing Vulnerability of Transportation Networks for Disaster Response Operations. *Networks and Spatial Economics*, 19(1), 243–273. <https://doi.org/10.1007/s11067-017-9382-x>
- Chandes, J., & Paché, G. (2010). Investigating humanitarian logistics issues: From operations management to strategic action. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(3), 320–340. <https://doi.org/10.1108/17410381011024313>
- Chapman, A. G., & Mitchell, J. E. (2018). A fair division approach to humanitarian logistics inspired by conditional value-at-risk. *Annals of Operations Research*, 262(1), 133–151. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2322-1>
- Chapnick, M., Barnidge, E., Sawicki, M., & Elliott, M. (2019). Healthy Options in Food Pantries—A Qualitative Analysis of Factors Affecting the Provision of Healthy Food Items in St. Louis, Missouri. *Journal of Hunger and Environmental Nutrition*, 14(1–2), 262–280. <https://doi.org/10.1080/19320248.2017.1284027>
- Charles, A., & Luras, M. (2011). An enterprise modelling approach for better optimisation modelling: Application to the humanitarian relief chain coordination problem. *OR Spectrum*, 33(3), 815–841. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0255-2>
- Charles, A., Luras, M., & van Wassenhove, L. (2010). A model to define and assess the agility of supply chains: Building on humanitarian experience. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(8), 722–741. <https://doi.org/10.1108/09600031011079355>
- Charles, A., Luras, M., Van Wassenhove, L. N., & Dupont, L. (2016). Designing an efficient humanitarian supply network. *Journal of Operations Management*, 47–48, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.012>
- Chowdhury, S., Emelogu, A., Marufuzzaman, M., Nurre, S. G., & Bian, L. (2017). Drones for disaster response and relief operations: A continuous approximation model. *International Journal of Production Economics*, 188, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.024>
- Cook, K. (2012). Neoliberalism, welfare policy and health: A qualitative meta-synthesis of single parents' experience of the transition from welfare to work. *Health (United Kingdom)*, 16(5), 507–530. <https://doi.org/10.1177/1363459311434650>
- Cooksey-Stowers, K., Read, M., Wolff, M., Martin, K. S., McCabe, M., & Schwartz, M. (2019). Food Pantry Staff Attitudes about Using a Nutrition Rating System to Guide Client Choice. *Journal of Hunger and Environmental Nutrition*, 14(1–2), 35–49. <https://doi.org/10.1080/19320248.2018.1512930>
- Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>
- Cozzolino, A., Rossi, S., & Conforti, A. (2012). Agile and lean principles in the humanitarian supply chain: The case of the United Nations World Food Programme. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(1), 16–33. <https://doi.org/10.1108/20426741211225984>
- Das, R., & Hanaoka, S. (2014). An agent-based model for resource allocation during relief distribution. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(2), 265–285. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2013-0023>



- Davis, L. B., Jiang, S. X., Morgan, S. D., Nuamah, I. A., & Terry, J. R. (2016). Analysis and prediction of food donation behavior for a domestic hunger relief organization. *International Journal of Production Economics*, 182, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.020>
- Davis, L. B., Sengul, I., Ivy, J. S., Brock Iii, L. G., & Miles, L. (2014). Scheduling food bank collections and deliveries to ensure food safety and improve access. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(3), 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.04.001>
- Dowty, R. A., & Wallace, W. A. (2010). Implications of organizational culture for supply chain disruption and restoration. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.024>
- Dubey, R., Ali, S. S., Aital, P., & Venkatesh, V. G. (2014). Mechanics of humanitarian supply chain agility and resilience and its empirical validation. *International Journal of Services and Operations Management*, 17(4), 367–384. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2014.059999>
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2016). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62–82. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1015511>
- Dufour, É., Laporte, G., Paquette, J., & Rancourt, M. È. (2018). Logistics service network design for humanitarian response in East Africa. *Omega (United Kingdom)*, 74, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.01.002>
- Edrissi, A., Nourinejad, M., & Roorda, M. J. (2015). Transportation network reliability in emergency response. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 80, 56–73. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.05.005>
- Eftekhar, M., & Van Wassenhove, L. N. (2016). Fleet management policies for humanitarian organizations: Beyond the utilization-residual value trade-off. *Journal of Operations Management*, 44, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.03.008>
- Elçi, Ö., & Noyan, N. (2018). A chance-constrained two-stage stochastic programming model for humanitarian relief network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 108, 55–83. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.12.002>
- Elder, G., Murphy, R. A., Herard, P., Dilworth, K., Olson, D., & Heinzemann, A. (2015). Challenging the barriers to accessing surgery in low-resource settings: Lessons learned from burns. *Surgery (United States)*, 158(1), 33–36. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.04.006>
- Ergun, O., Gui, L., Heier Stamm, J. L., Keskinocak, P., & Swann, J. (2014). Improving humanitarian operations through technology-enabled collaboration. *Production and Operations Management*, 23(6), 1002–1014. <https://doi.org/10.1111/poms.12107>
- Ertem, M. A., Buyurgan, N., & Rossetti, M. D. (2010). Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(3), 202–227. <https://doi.org/10.1108/09600031011035092>
- Falasca, M., & Zobel, C. (2012). An optimization model for volunteer assignments in humanitarian organizations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 250–260. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.07.003>
- Falasca, M., & Zobel, C. W. (2011). A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 151–169. <https://doi.org/10.1108/20426741111188329>
- Fao. (2019). El hambre afecta a 42,5 millones de personas en América Latina y el Caribe | FAO. [online] Available at: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1201490/> [Accessed 16 Feb. 2020].
- Fehrenbach, H., & Rodogno, D. (2015). “A horrific photo of a drowned Syrian child”: Humanitarian photography and NGO media strategies in historical perspective. *International Review of the Red Cross*, 97(900), 1121–1155. <https://doi.org/10.1017/S1816383116000369>
- Fernando, S., Judith, C., & Gabriel, V. (2014). Humanitarian logistics: An approach to the supply from agroindustrial food chains. *Informacion Tecnologica*, 25(4), 43–50. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000400007>
- Ferrer, J. M., Martín-Campo, F. J., Ortuño, M. T., Pedraza-Martínez, A. J., Tirado, G., & Vitoriano, B. (2018). Multi-criteria optimization for last mile distribution of disaster relief aid: Test cases and applications. *European Journal of Operational Research*, 269(2), 501–515. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.043>
- Fianu, S., & Davis, L. B. (2018). A Markov decision process model for equitable distribution of supplies under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 1101–1115. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.017>
- Freitas, A. A. 2004. “A Critical Review of Multi-objective Optimization in Data Mining.” *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 6 (2): 77–86.
- Gatignon, A., Van Wassenhove, L. N., & Charles, A. (2010). The Yogyakarta earthquake: Humanitarian relief through IFRC’s decentralized supply chain. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.003>
- Gibbons, D. E., & Samaddar, S. (2009). Designing referral network structures and decision rules to streamline provision of urgent health and human services. *Decision Sciences*, 40(2), 351–371. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2009.00230.x>

- Golabi, M., Shavarani, S. M., & Izbirak, G. (2017). An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake. *Natural Hazards*, 87(3), 1545–1565. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2832-4>
- Goldschmidt, K. H., & Kumar, S. (2016). Humanitarian operations and crisis/disaster management: A retrospective review of the literature and framework for development. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20(October), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.001>
- Görmez, N., Köksalan, M., & Salman, F. S. (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239–1252. <https://doi.org/10.1057/jors.2010.67>
- Gralla, E., Goentzel, J., & Fine, C. (2016). Problem Formulation and Solution Mechanisms: A Behavioral Study of Humanitarian Transportation Planning. *Production and Operations Management*, 25(1), 22–35. <https://doi.org/10.1111/poms.12496>
- Gralla, E., Goentzel, J., & Fine, C. (2014). Assessing trade-offs among multiple objectives for humanitarian aid delivery using expert preferences. *Production and Operations Management*, 23(6), 978–989. <https://doi.org/10.1111/poms.12110>
- Gupta, S., Altay, N., & Luo, Z. (2017). Big data in humanitarian supply chain management: a review and further research directions. *Annals of Operations Research*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2671-4>
- Gupta, S., Starr, M. K., Farahani, R. Z., & Matinrad, N. (2016). Disaster Management from a POM Perspective: Mapping a New Domain. *Production and Operations Management*, 25(10), 1611–1637. <https://doi.org/10.1111/poms.12591>
- Gutjahr, W. J., & Dzubur, N. (2016). Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.11.001>
- Gutjahr, W. J., & Fischer, S. (2018). Equity and deprivation costs in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 270(1), 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.03.019>
- Gutjahr, W. J., & Nolz, P. C. (2016). Multicriteria optimization in humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 252(2), 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.035>
- Haavisto, I., & Goentzel, J. (2015). Measuring humanitarian supply chain performance in a multi-goal context. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(3), 300–324. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2015-0028>
- Haavisto, I., & Kovács, G. (2014). Perspectives on sustainability in humanitarian supply chains. *Disaster Prevention and Management*, 23(5), 610–631. <https://doi.org/10.1108/DPM-10-2013-0192>
- Hakimi, S., Zahraee, S. M., & Mohd Rohani, J. (2018). Application of Six Sigma DMAIC methodology in plain yogurt production process. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(4), 562–578. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2016-0069>
- Handforth, B., Hennink, M., & Schwartz, M. B. (2013). A Qualitative Study of Nutrition-Based Initiatives at Selected Food Banks in the Feeding America Network. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(3), 411–415. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.11.001>
- Heaslip, G. (2018). Editorial for special issue on: humanitarian operations management. *Production Planning and Control*, 29(14), 1127–1129. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1542158>
- Heaslip, G., & Kovács, G. (2019). Examination of service triads in humanitarian logistics. *International Journal of Logistics Management*, 30(2), 595–619. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2017-0221>
- Heaslip, G., Kovács, G., & Haavisto, I. (2018). Innovations in humanitarian supply chains: the case of cash transfer programmes. *Production Planning and Control*, 29(14), 1175–1190. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1542172>
- Heaslip, G., Kovács, G., & Haavisto, I. (2018). Cash-based response in relief: the impact for humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(1), 87–106. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2017-0043>
- Heaslip, G., Vaillancourt, A., Tatham, P., Kovács, G., Blackman, D., & Henry, M. C. (2019). Supply chain and logistics competencies in humanitarian aid. *Disasters*, 43(3), 686–708. <https://doi.org/10.1111/disa.12361>
- Hirsch, A. L., & Doig, C. (2018). Outsourcing control: The international organization for migration in Indonesia. *International Journal of Human Rights*, 22(5), 681–708. <https://doi.org/10.1080/13642987.2017.1417261>
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262–280. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.06.002>
- Holgun-Veras, J., & Jaller, M. (2012). Immediate resource requirements after Hurricane Katrina. *Natural Hazards Review*, 13(2), 117–131. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000068](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000068)
- Hong, J. D., Jeong, K. Y., & Xie, Y. (2015). A multi-objective approach to planning in emergency logistics network design. *International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice*, 22(4), 412–425. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84964048339&partnerID=40&md5=624492994ff7a24f9e012b24dc45801b>
- Hong, X., Lejeune, M. A., & Noyan, N. (2015). Stochastic network design for disaster preparedness. *IIIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 47(4), 329–357. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.919044>

- Huang, K., Jiang, Y., Yuan, Y., & Zhao, L. (2015). Modeling multiple humanitarian objectives in emergency response to large-scale disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.11.007>
- Irohara, T., Kuo, Y. H., & Leung, J. M. Y. (2013). From preparedness to recovery: A tri-level programming model for disaster relief planning: Vol. 8197 LNCS. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41019-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41019-2_16)
- Jacob, C., Charles-Sire, V., & Guéguen, N. (2013). “Even a Single Package of Pastas Will Help...”: The Effectiveness of the Legitimizing Paltry Contribution Technique on Altruism. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly*, 42(4), 828–836. <https://doi.org/10.1177/0899764012461953>
- Jahre, M., Kembro, J., Rezvanian, T., Ergun, O., Håpnes, S. J., & Berling, P. (2016). Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR. *Journal of Operations Management*, 45, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.009>
- John, L., & Ramesh, A. (2012). Humanitarian supply chain management in India: a SAP-LAP framework. *Journal of Advances in Management Research*, 9(2), 217–235. <https://doi.org/10.1108/09727981211271968>
- Jola-Sanchez, A. F., Pedraza-Martinez, A. J., Bretthauer, K. M., & Britto, R. A. (2016). Effect of armed conflicts on humanitarian operations: Total factor productivity and efficiency of rural hospitals. *Journal of Operations Management*, 45, 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.06.002>
- Kabra, G., & Ramesh, A. (2015). Analyzing drivers and barriers of coordination in humanitarian supply chain management under fuzzy environment. *Benchmarking*, 22(4), 559–587. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2014-0041>
- Kabra, G., Ramesh, A., & Arshinder, K. (2015). Identification and prioritization of coordination barriers in humanitarian supply chain management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.01.011>
- Karimi, H., & Jadid, S. (2019). Multi Objective Optimization for Multi-Microgrid Energy Management: A Lexicography Approach. In 2019 International Power System Conference (PSC), Power System Conference (PSC), 2019 International (pp. 679–686). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PSC49016.2019.9081460>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2011). The journal of humanitarian logistics and supply chain management: First reflections. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 108–113. <https://doi.org/10.1108/20426741111158403>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2011). Humanitarian logistics and supply chain management: The start of a new journal. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(1), 5–14. <https://doi.org/10.1108/20426741111123041>
- Kovács, G., & Tatham, P. (2009). Humanitarian logistics performance in the light of gender. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(2), 174–187. <https://doi.org/10.1108/17410400910928752>
- Kovács, G., Tatham, P., & Larson, P. D. (2012). What skills are needed to be a humanitarian logistician? *Journal of Business Logistics*, 33(3), 245–258. <https://doi.org/10.1111/j.2158-1592.2012.01054.x>
- Kretschmer, A., Spinler, S., & Van Wassenhove, L. N. (2014). A school feeding supply chain framework: Critical factors for sustainable program design. *Production and Operations Management*, 23(6), 990–1001. <https://doi.org/10.1111/poms.12109>
- Kunz, N., Reiner, G., & Gold, S. (2014). Investing in disaster management capabilities versus pre-positioning inventory: A new approach to disaster preparedness. *International Journal of Production Economics*, 157(1), 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.11.002>
- Kunz, N., & Van Wassenhove, L. N. (2019). Fleet sizing for UNHCR country offices. *Journal of Operations Management*. <https://doi.org/10.1002/joom.1013>
- L’Hermitte, C., Bowles, M., Tatham, P., & Brooks, B. (2015). An integrated approach to agility in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(2), 209–233. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2014-0016>
- Laguna-Salvadó, L., Luras, M., Okongwu, U., & Comes, T. (2018). A multicriteria Master Planning DSS for a sustainable humanitarian supply chain. *Annals of Operations Research*, 1–41. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2882-3>
- Lassiter, K., Khademi, A., & Taaffe, K. M. (2015). A robust optimization approach to volunteer management in humanitarian crises. *International Journal of Production Economics*, 163, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.018>
- Luras, M., Vargas, J., Dupont, L., & Charles, A. (2014). A location-allocation model for more consistent humanitarian supply chains (Vol. 196). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84922010258&partnerID=40&md5=7ba1daa83959dcb2804891df539d18ef>
- Lee, D., Sönmez, E., Gómez, M. I., & Fan, X. (2017). Combining two wrongs to make two rights: Mitigating food insecurity and food waste through gleaning operations. *Food Policy*, 68, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.004>
- L’Hermitte, C., Tatham, P., Bowles, M., & Brooks, B. (2016). Developing organisational capabilities to support agility in humanitarian logistics: An exploratory study. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(1), 72–99. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2015-0006>

- L'Hermitte, C., Tatham, P., Brooks, B., & Bowles, M. (2016). Supply chain agility in humanitarian protracted operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(2), 173–201. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-09-2015-0037>
- Liberatore, F., Ortuño, M. T., Tirado, G., Vitoriano, B., & Scaparra, M. P. (2014). A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics. *Computers and Operations Research*, 42, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.03.019>
- Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., & Flanigan, M. (2011). A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(4), 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.04.003>
- Lin, Y. H., Batta, R., Rogerson, P. A., Blatt, A., & Flanigan, M. (2012). Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(2), 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.01.001>
- Lorca, A., Çelik, M., Ergun, Ö., & Keskinocak, P. (2017). An Optimization-Based Decision-Support Tool for Post-Disaster Debris Operations. *Production and Operations Management*, 26(6), 1076–1091. <https://doi.org/10.1111/poms.12643>
- Macea, L. F., Amaya, J., Cantillo, V., & Holguín-Veras, J. (2018). Evaluating economic impacts of water deprivation in humanitarian relief distribution using stated choice experiments. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.029>
- Maghfiroh, M. F. N., & Hanaoka, S. (2018). Dynamic truck and trailer routing problem for last mile distribution in disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(2), 252–278. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-10-2017-0050>
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2019). A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.07.003>
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2019). Fuzzy multi-attribute group decision making to identify the order of establishing temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(1), 2–21. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2018-0013>
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2018). A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(1), 2–21. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2017-0040>
- Mahdavi, M., Zaerpour, F., Zareei, A., & Hajinezhad, A. (2010). Parallel machines scheduling to minimize job tardiness and machine deteriorating cost with deteriorating jobs. *Iran: Applied Mathematical Modelling*
- Makepeace, D., Tatham, P., & Wu, Y. (2017). Internal integration in humanitarian supply chain management: Perspectives at the logistics-programmes interface. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7(1), 26–56. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-12-2015-0042>
- Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, 55(4), 979–996. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1211340>
- Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2014). A review of relief supply chain optimization. *Industrial Engineering and Management Systems*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.7232/iems.2014.13.1.001>
- Manopiniwes, W., Nagasawa, K., & Irohara, T. (2015). Facility location alternatives between expected and worst case time performance in humanitarian relief logistics. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 66(2E), 142–153. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84941004411&partnerID=40&md5=1c31ef304f343093b21f69876ff589b0>
- Manopiniwes, W., Nagasawa, K., & Irohara, T. (2014). Humanitarian relief logistics with time restriction: Thai flooding case study. *Industrial Engineering and Management Systems*, 13(4), 398–407. <https://doi.org/10.7232/iems.2014.13.4.398>
- McCoy, J. H., & Brandeau, M. L. (2011). Efficient stockpiling and shipping policies for humanitarian relief: UNHCR's inventory challenge. *OR Spectrum*, 33(3), 673–698. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0237-4>
- McCoy, J. H., & Lee, H. L. (2014). Using fairness models to improve equity in health delivery fleet management. *Production and Operations Management*, 23(6), 965–977. <https://doi.org/10.1111/poms.12101>
- McGinn, T., & Casey, S. E. (2016). Why don't humanitarian organizations provide safe abortion services? *Conflict and Health*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13031-016-0075-8>
- Meliani, Y., Elhaq, S. L., Hani, Y., & Mhamedi, A. El. (2019). Tabu Search for urban freight VRP: Fundamental aspects and parameters tuning evaluation. *International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management, LOGISTIQUA 2019*, 1. <https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA.2019.8907263>
- Menkhaus, K. (2010). Stabilisation and humanitarian access in a collapsed state: The Somali case. *Disasters*, 34(SUPPL. 3), S320–S341. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2010.01204.x>
- Morales, M., & Sandlin, D. E. (2015). Managing airborne relief during international disasters. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(1), 12–34. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2014-0008>

- Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The Latency Location-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 604–619. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.048>
- Mukoya, M. N., McKay, F. H., & Dunn, M. (2017). Can Giving Clients a Choice in Food Selection Help to Meet Their Nutritional Needs?: Investigating a Novel Food Bank Approach for Asylum Seekers. *Journal of International Migration and Integration*, 18(4), 981–991. <https://doi.org/10.1007/s12134-017-0515-3>
- Na, H. S., & Banerjee, A. (2015). A disaster evacuation network model for transporting multiple priority evacuees. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 47(11), 1287–1299. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2015.1040929>
- Nagurney, A., Daniele, P., Flores, E. A., & Caruso, V. (2018). A variational equilibrium network framework for humanitarian organizations in disaster relief: Effective product delivery under competition for financial funds (Vol. 140). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97442-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97442-2_6)
- Nagurney, A., Flores, E. A., & Soylu, C. (2016). A Generalized Nash Equilibrium network model for post-disaster humanitarian relief. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 95, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.08.005>
- Nagurney, A., Masoumi, A. H., & Yu, M. (2015). An Integrated Disaster Relief Supply Chain Network Model with Time Targets and Demand Uncertainty (pp. 287–318). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07305-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07305-7_15)
- Nagurneya, A., & Qiang, Q. (2012). Fragile networks: Identifying vulnerabilities and synergies in an uncertain age. *International Transactions in Operational Research*, 19(1–2), 123–160. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2010.00785.x>
- Najafi, M., Farahani, R. Z., De Brito, M. P., & Dullaert, W. (2015). Location and Distribution Management of Relief Centers: A Genetic Algorithm Approach. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 14(4), 769–803. <https://doi.org/10.1142/S0219622014500382>
- Natarajan, K. V., & Swaminathan, J. M. (2017). Multi-Treatment Inventory Allocation in Humanitarian Health Settings under Funding Constraints. *Production and Operations Management*, 26(6), 1015–1034. <https://doi.org/10.1111/poms.12634>
- Nurre, S. G., & Sharkey, T. C. (2014). Integrated network design and scheduling problems with parallel identical machines: Complexity results and dispatching rules. *Networks*, 63(4), 306–326. <https://doi.org/10.1002/net.21547>
- Oloruntoba, R., & Kovács, G. (2015). A commentary on agility in humanitarian aid supply chains. *Supply Chain Management*, 20(6), 708–716. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2015-0244>
- Orgad, S. (2013). Visualizers of solidarity: Organizational politics in humanitarian and international development NGOs. *Visual Communication*, 12(3), 295–314. <https://doi.org/10.1177/1470357213483057>
- Orgut, I. S., Ivy, J., Uzsoy, R., & Wilson, J. R. (2016). Modeling for the equitable and effective distribution of donated food under capacity constraints. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 48(3), 252–266. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2015.1063792>
- Orgut, I. S., Ivy, J., Uzsoy, R., & Wilson, J. R. (2016). Modeling for the equitable and effective distribution of donated food under capacity constraints. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 48(3), 252–266. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2015.1063792>
- Overstreet, R. E., Hall, D., Hanna, J. B., & Kelly Rainer Jr., R. (2011). Research in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 114–131. <https://doi.org/10.1108/20426741111158421>
- Özpolat, K., Ribbink, D., Hales, D. N., & Windle, R. J. (2015). Food aid procurement and transportation decision-making in governmental agencies: The United Nations/European Union versus the United States approach. *Transportation Journal*, 54(2), 159–185. <https://doi.org/10.5325/transportationj.54.2.0159>
- Özpolat, K., Rilling, J., Altay, N., & Chavez, E. (2015). Engaging donors in smart compassion: USAID CIDI's Greatest Good Donation Calculator. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(1), 95–112. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-11-2013-0041>
- Pedraza Martinez, A. J., Stapleton, O., & Van Wassenhove, L. N. (2011). Field vehicle fleet management in humanitarian operations: A case-based approach. *Journal of Operations Management*, 29(5), 404–421. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.11.013>
- Pedraza-Martinez, A. J., Stapleton, O., & Van Wassenhove, L. N. (2013). On the use of evidence in humanitarian logistics research. *Disasters*, 37(SUPPL.1), S51–S67. <https://doi.org/10.1111/disa.12012>
- Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2013). Vehicle replacement in the international committee of the red cross. *Production and Operations Management*, 22(2), 365–376. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01316.x>
- Peretti, U., Tatham, P., Wu, Y., & Sgarbossa, F. (2015). Reverse logistics in humanitarian operations: challenges and opportunities. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(2), 253–274. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2014-0026>
- Pérez-Rodríguez, N., & Holguín-Veras, J. (2016). Inventory-Allocation distribution models for postdisaster humanitarian logistics with explicit consideration of deprivation costs. *Transportation Science*, 50(4), 1261–1285. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0565>
- Perron, L & Furnon, V. (2019). OR-Tools. Google. Version: 7.2. Url: <https://developers.google.com/optimization/>
- Phillips, C., Hoenigman, R., Higbee, B., & Reed, T. (2013). Understanding the Sustainability of Retail Food Recovery. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075530>

- Prasad, S., Zakaria, R., & Altay, N. (2018). Big data in humanitarian supply chain networks: a resource dependence perspective. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 383–413. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2280-7>
- Prats, X.; Puig, V.; Quevedo, J.; Nejari, F. 2010. Lexicographic optimisation for optimal departure aircraft trajectories, *Aerospace Science and Technology* 14(1): 26–37.
- Puett, C. (2019). Assessing the cost-effectiveness of interventions within a humanitarian organisation. *Disasters*, 43(3), 575–590. <https://doi.org/10.1111/disa.12344>
- Qureshi, M.I., Janjua, S.Y., Zaman, K., Lodhi, M.S. and Tariq, Y.B. (2014), “Internationalization of higher education institutions: implementation of DMAIC cycle”, *Scientometrics*, Vol. 98 No. 3, pp. 2295-2310, doi: 10.1007/s11192-013-1163-9.
- Rancourt, M. E., Cordeau, J. F., Laporte, G., & Watkins, B. (2015). Tactical network planning for food aid distribution in Kenya. *Computers and Operations Research*, 56, 68–83. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.10.018>
- Ransikarbum, K., & Mason, S. J. (2016). Multiple-objective analysis of integrated relief supply and network restoration in humanitarian logistics operations. *International Journal of Production Research*, 54(1), 49–68. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.977458>
- Ransikarbum, K., & Mason, S. J. (2016). Goal programming-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration. *International Journal of Production Economics*, 182, 324–341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.030>
- Rath, S., Gendreau, M., & Gutjahr, W. J. (2016). Bi-objective stochastic programming models for determining depot locations in disaster relief operations. *International Transactions in Operational Research*, 23(6), 997–1023. <https://doi.org/10.1111/itor.12163>
- Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers and Operations Research*, 42, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.07.016>
- Rehman, S. T., Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., & Hassan, S. M. (2018). Supply chain performance measurement and improvement system: A MCDA-DMAIC methodology. *Journal of Modelling in Management*, 13(3), 522–549. <https://doi.org/10.1108/JM2-02-2018-0012>
- Richardson, D. A., De Leeuw, S., & Dullaert, W. (2016). Factors Affecting Global Inventory Prepositioning Locations in Humanitarian Operations - A Delphi Study. *Journal of Business Logistics*, 37(1), 59–74. <https://doi.org/10.1111/jbl.12112>
- Rivera-Royero, D., Galindo, G., & Yie-Pinedo, R. (2016). A dynamic model for disaster response considering prioritized demand points. *Socio-Economic Planning Sciences*, 55, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.07.001>
- Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P., & Brewster, C. (2016). GIS and optimisation: Potential benefits for emergency facility location in humanitarian logistics. *Geosciences (Switzerland)*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/geosciences6020018>
- Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P., & Brewster, C. (2018). Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 978–993. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.021>
- Roh, S. Y., Jang, H. M., & Han, C. H. (2013). Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2013.05.006>
- Rombach, M., & Bitsch, V. (2018). Sector blending: Evidence from the German Food Bank. *International Food and Agribusiness Management Review*, 21(2), 181–200. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2017.0064>
- Rongier, C., Gourc, D., Luras, M., & Galasso, F. (2010). Towards a performance measurement system to control disaster response: Vol. 336 AICT. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15961-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15961-9_22)
- Rottkemper, B., Fischer, K., Blecken, A., & Danne, C. (2011). Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *OR Spectrum*, 33(3), 721–749. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0260-5>
- Rumsey, M., Fletcher, S. M., Thiessen, J., Gero, A., Kuruppu, N., Daly, J., Buchan, J., & Willetts, J. (2014). A qualitative examination of the health workforce needs during climate change disaster response in Pacific Island Countries. *Human Resources for Health*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/1478-4491-12-9>
- Salman, F. S., & Yücel, E. (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case. *Computers and Operations Research*, 62, 266–281. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.015>
- Salmerón, J., & Apte, A. (2010). Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning. *Production and Operations Management*, 19(5), 561–574. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01119.x>
- Sarkis, J., Spens, K. M., & Kovács, G. (2011). A study of barriers to greening the relief supply chain (pp. 196–207). <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-824-8.ch011>
- Schiffing, S., & Piecyk, M. (2014). Performance measurement in humanitarian logistics: a customer-oriented approach. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(2), 198–221. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2013-0027>
- Schulz, S. F., & Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: Benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(8), 636–656. <https://doi.org/10.1108/09600031011079300>

- Sharifyazdi, M., Navangul, K. A., Gharehgozli, A., & Jahre, M. (2018). On- and offshore prepositioning and delivery mechanism for humanitarian relief operations. *International Journal of Production Research*, 56(12), 407–426. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1068-7>
- Solak, S., Scherrer, C., & Ghoniem, A. (2014). The stop-and-drop problem in nonprofit food distribution networks. *Annals of Operations Research*, 221(1), 407–426. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1068-7>
- Starr, M. K., & Van Wassenhove, L. N. (2014). Introduction to the special issue on humanitarian operations and crisis management. *Production and Operations Management*, 23(6), 925–937. <https://doi.org/10.1111/poms.12227>
- Stauffer, J. M., Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2016). Temporary hubs for the global vehicle supply chain in humanitarian operations. *Production and Operations Management*, 25(2), 192–209. <https://doi.org/10.1111/poms.12427>
- Tabaklar, T., Halldórsson, A., Kovács, G., & Spens, K. (2015). Borrowing theories in humanitarian supply chain management. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5(3), 281–299. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2015-0029>
- Tatham and Nezh Altay, P., Bölsche, D., Klumpp, M., & Abidi, H. (2013). Specific competencies in humanitarian logistics education. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 3(2), 99–128. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2012-0019>
- Tatham, P. (2012). Some reflections on the breadth and depth of the field of humanitarian logistics and supply chain management. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(2), 108–111. <https://doi.org/10.1108/20426741211260714>
- Tatham, P., & Kovács, G. (2010). Developing and maintaining trust in post-disaster hastily formed networks: Vol. 46 LNBI. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-12494-5\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12494-5_32)
- Tatham, P., & Kovács, G. (2010). The application of “swift trust” to humanitarian logistics. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.006>
- Tatham, P., & Kovács, G. (2013). Developing and maintaining trust in hastily formed relief networks (Vols. 3–3, pp. 1302–1324). <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4707-7.ch066>
- Tatham, P., & Kovács, G. (2011). Developing and maintaining trust in hastily formed relief networks (pp. 173–195). <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-824-8.ch010>
- Tatham, P., & Rietjens, S. B. (2016). Integrated disaster relief logistics: A stepping stone towards viable civil-military networks? *Disasters*, 40(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/disa.12131>
- Tatham, P., & Spens, K. (2011). Towards a humanitarian logistics knowledge management system. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 20(1), 6–26. <https://doi.org/10.1108/09653561111111054>
- Tatham, P., & Spens, K. (2016). Cracking the humanitarian logistic coordination challenge: Lessons from the urban search and rescue community. *Disasters*, 40(2), 246–261. <https://doi.org/10.1111/disa.12139>
- Tatham, P., Spens, K., & Kovács, G. (2017). The humanitarian common logistic operating picture: a solution to the inter-agency coordination challenge. *Disasters*, 41(1), 77–100. <https://doi.org/10.1111/disa.12193>
- Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.059>
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2009). From preparedness to partnerships: Case study research on humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 16(5), 549–559. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00697.x>
- Toyasaki, F., & Wakolbinger, T. (2014). Impacts of earmarked private donations for disaster fundraising. *Annals of Operations Research*, 221(1), 427–447. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-1038-5>
- Tricoire, F., Graf, A., & Gutjahr, W. J. (2012). The bi-objective stochastic covering tour problem. *Computers and Operations Research*, 39(7), 1582–1592. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.09.009>
- Ülkü, M. A., Bell, K. M., & Wilson, S. G. (2015). Modeling the impact of donor behavior on humanitarian aid operations. *Annals of Operations Research*, 230(1), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1623-5>
- Urrea, G., Villa, S., & Gonçalves, P. (2016). Exploratory analyses of relief and development operations using social networks. *Socio-Economic Planning Sciences*, 56, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.05.001>
- Vaillancourt, A., Tatham, P., Wu, Y., & Haavisto, I. (2018). Humanitarian health project supply chain costs. *Supply Chain Forum*, 19(1), 70–80. <https://doi.org/10.1080/16258312.2017.1394775>
- Van Wassenhove, L. N., & Pedraza Martinez, A. J. (2012). Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 19(1–2), 307–322. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2011.00792.x>
- Vargas Florez, J., Lauras, M., Okongwu, U., & Dupont, L. (2015). A decision support system for robust humanitarian facility location. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 326–335. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.020>
- Vongsathorn, K. (2012). Gnawing Pains, Festering Ulcers and Nightmare Suffering: Selling Leprosy as a Humanitarian Cause in the British Empire, c. 1890-1960. *Journal of Imperial and Commonwealth History*, 40(5), 863–878. <https://doi.org/10.1080/03086534.2012.730839>
- Wang, X., Li, F., Liang, L., Huang, Z., & Ashley, A. (2015). Pre-purchasing with option contract and coordination in a relief supply chain. *International Journal of Production Economics*, 167, 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.031>

- Wang, X., Liang, L., Yue, X., & Van Wassenhove, L. N. (2017). Estimation of Deprivation Level Functions using a Numerical Rating Scale. *Production and Operations Management*, 26(11), 2137–2150. <https://doi.org/10.1111/poms.12760>
- Whiting, M. C., & Ayala-Öström, B. E. (2009). Advocacy to promote logistics in humanitarian aid. *Management Research News*, 32(11), 1081–1089. <https://doi.org/10.1108/01409170910998309>
- Wie, S., & Giebler, K. (2013). Nonfood-Related Challenges and Resources Affect Functioning of Food Banks. *Journal of Foodservice Business Research*, 16(1), 76–84. <https://doi.org/10.1080/15378020.2013.761044>
- Wilson, M. M. J., Tatham, P., Payne, J., L’Hermitte, C., & Shapland, M. (2018). Best practice relief supply for emergency services in a developed economy: Evidence from Queensland Australia. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(1), 107–132. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2017-0008>
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2015). Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.01.008>
- Yan, L. L., & Pedraza-Martinez, A. J. (2019). Social Media for Disaster Management: Operational Value of the Social Conversation. *Production and Operations Management*. <https://doi.org/10.1111/poms.13064>
- Yang, H., Yang, L., & Yang, S. H. (2011). Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistics centre management. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(3), 938–948. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2010.04.017>
- Yücel, E., Salman, F. S., & Arsik, I. (2018). Improving post-disaster road network accessibility by strengthening links against failures. *European Journal of Operational Research*, 269(2), 406–422. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.015>
- Yushimito, W. F., Jaller, M., & Ukkusuri, S. (2012). A Voronoi-Based Heuristic Algorithm for Locating Distribution Centers in Disasters. *Networks and Spatial Economics*, 12(1), 21–39. <https://doi.org/10.1007/s11067-010-9140-9>
- Zhang, Q., Zeng, Q., & Yang, H. (2016). A lexicographic optimization approach for berth schedule recovery problem in container terminals. *Transport* (16484142), 31(1), 76–83. <http://10.0.15.6/16484142.2016.1125387>
- Zehetner, M., & Gutjahr, W. J. (2018). Sampling-Based Genetic Algorithms for the Bi-Objective Stochastic Covering Tour Problem (Vol. 62). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58253-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58253-5_15)