

Artículo científico

Cómo citar: O. Maldonado, J. Herrera, y E. Fuentes, "Modelos matemáticos aplicados en logística humanitaria para la gestión de riesgo en remoción de masas - Caso de estudio Cáqueza, Cundinamarca", *Inventum*, vol. 14, no. 26, pp. 52-60, enero - junio, 2019. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.14.26.2019.67-73

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Recibido: 11 de enero de 2019
Aprobado: 18 de febrero de 2019
Publicado: 15 de abril de 2019

Modelos matemáticos aplicados en logística humanitaria para la gestión de riesgo en remoción de masas - Caso de estudio Cáqueza, Cundinamarca

Mathematical models applied in humanitarian logistics for risk management in mass removal - Case study Cáqueza, Cundinamarca

Modelos matemáticos aplicados em logística humanitária para gestão de risco em remoção em massa - Estudo de caso Cáqueza, Cundinamarca

Resumen

El artículo desarrolla modelos matemáticos enfocados en la logística humanitaria para la gestión del riesgo en remoción de masas - Caso de estudio Cáqueza, Cundinamarca (Colombia), caracterizado por su alta actividad sísmica; la formulación es de tipo probabilístico y contempla tres kits de ayuda (alimentación, higiene y vivienda) de acuerdo a los lineamientos establecidos por entidades encargadas de la gestión de riesgo de desastres en Colombia. Con el fin de evaluar el comportamiento de los resultados obtenidos en el modelo logístico (HADS) se utilizó el software *Promodel* que contempla la asistencia humanitaria para 7576 habitantes, población para el año 2018, teniendo en cuenta que bajo la ocurrencia real de un evento natural se contará con donaciones nacionales e internacionales, así como las limitaciones de espacio existentes para productos no perecederos. Los resultados obtenidos permitieron evaluar los costos asociados al proceso logístico, así como la cantidad de kits respectivos implicados en la logística post-desastre, de tal manera que se minimice el impacto y lo haga más eficiente administrativamente.

Palabras clave: gestión del riesgo, logística humanitaria, modelos matemáticos, remoción en masa, actividad sísmica.

Abstract

The article develops mathematical models focused on humanitarian logistics for risk management in mass removal. specifically, in the case study of Cáqueza, Cundinamarca (Colombia), characterized by its high seismic activity. The formulation is probabilistic and contemplates three aid kits (food, hygiene and housing) according to the guidelines established by entities in charge of disaster risk management in Colombia. In order to evaluate the behavior of the results obtained in the logistic

Oscar Eduardo Maldonado Murillo
oscar.maldonadom@unilibrebog.edu.co
Universidad Libre,
Bogotá D.C, Colombia.

Jeanene Tatiana Herrera Parra
jeanenet.herrerap@unilibrebog.edu.co
Universidad Libre,
Bogotá D.C, Colombia.

Ever Ángel Fuentes Rojas
ever.fuentes@unilibre.edu.co
Universidad Libre,
Bogotá D.C, Colombia.

Copyright:



model (HADS), Promodel software was used that contemplates humanitarian assistance for 7576 inhabitants, the 2018 population, taking into account that under the real occurrence of a natural event there will be national and international donations, as well as the limitations of existing space for non-perishable products. The results obtained made it possible to evaluate the costs associated with the logistical process, as well as the number of respective kits involved in post-disaster logistics in such a way as to minimize the impact and make it more administratively efficient.

Keywords: risk management, humanitarian logistics, mathematical models, mass clearance, seismic activity.

Resumo

O artigo desenvolve modelos matemáticos focados na logística humanitária para a gestão de risco em remoção em massa, usando como estudo de caso Cáqueza, Cundinamarca (Colômbia), caracterizado por sua alta atividade sísmica. A formulação é probabilística e contempla três kits de ajuda (alimentação, higiene e habitação) de acordo com as diretrizes estabelecidas pelas entidades responsáveis pela gestão de risco de desastres na Colômbia. Para avaliar o comportamento dos resultados obtidos no modelo logístico (HADS), foi utilizado o software Promodel, que contempla assistência humanitária para 7576 habitantes, população para 2018, levando em conta que sob a real ocorrência de um evento natural haverá doações nacionais e internacionais, bem como as limitações do espaço existente para produtos não perecíveis. Os resultados obtidos permitiram avaliar os custos associados ao processo logístico, bem como o número de kits envolvidos na logística pós-desastre, de forma a minimizar o impacto e torná-lo mais eficiente do ponto de vista administrativo.

Palavras-chave: gestão de riscos, logística humanitária, modelos matemáticos, desembarço em massa, atividade sísmica.

I. INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra en su interior está conformado por tres capas concéntricas: Núcleo, manto y corteza terrestre, la cual constituye la parte superficial del planeta y se encuentra dividida en fragmentos conocidos como placas tectónicas, conformadas en diversas formas y tamaños, las cuales se encuentran en permanente movimiento [1].

Colombia es un país que se encuentra ubicado dentro de una de las zonas sísmicas más activas de la Tierra, ya que en su región convergen las placas tectónicas de Nazca y del Caribe, contra la placa Suramericana [2]. La constante interacción entre ellas ha producido la formación de fallas geológicas en las cuales la liberación repentina de energía y movimiento provocan la vibración del suelo (Sismos).

El país actualmente cuenta con diferentes entidades del Estado con dependencia del Ministerio de Minas y Energía como el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y su entidad inscrita, encargada de suministrar la información de los eventos sísmicos del país, denominado Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC). El SGC representa el territorio colombiano en siete niveles de amenaza sísmica (No sentido, débil, ligero, moderado, fuerte, muy fuerte y severo). Cáqueza es uno de los municipios de Cundinamarca que se localiza en un nivel severo, motivo por el cual fue elegido como objeto de estudio de esta investigación. El sismo más reciente que afectó el municipio ocurrió a las 14:21 el 24 de mayo de 2008 y tuvo epicentro en el Calvario, Meta, con una intensidad de 5,7 en la escala de Richter y una profundidad de 3,5 km., y alcanzó una afectación en el área urbana con porcentaje del 40%, (Ver Tabla 1) respectivamente, lo que dejó un área averiada de 90 viviendas y un área total destruida de 10 viviendas [3].

Tabla I. Descripción de daños y evaluación de intensidades del sismo de 2008
 Área Urbana Municipio de Cáqueza, Cundinamarca

Barrio	Averiada %	Destruida %
Ciudad Jardín	17,78	0
El Palmar	10	10
El Prado	1,11	0
La Inmaculada	2,22	20
Las Delicias	5,56	0
Manuel F. Pabón	6,67	0
Rafael Núñez	17,78	40
San Fernando	2,22	0
Santa Bárbara	20	30
Las Villas	5,56	0
Villas del Tejar	11,11	0
Total	100	100

Fuente: [3].

Desde esta perspectiva, el estado de arte construido a partir de bases de datos (Science Direct, Proquest, Scopus, Scielo), siguió la ecuación de búsqueda y suministro de ayuda humanitaria. En la literatura se encontraron planteamientos post-desastre por parte de diversos autores. En [4] los autores, proponen un modelo para la programación de personal especializado en logística humanitaria post-desastre, que busca reducir el tiempo de respuesta y suplir las necesidades de demanda de cada punto; [5], exponen un modelo caracterizado por evaluar los costos de cada uno de los eslabones de la cadena logística mediante el uso de indicadores que facilitan la toma de decisiones [6]; construyen un modelo de programación lineal entera con dos objetivos: minimizar el tiempo total requerido para evacuar a las personas y el costo total por abrir el albergue. En general, estos modelos contemplan la programación lineal entera mixta y una demanda multi periodo que está sujeta a variaciones en el tiempo. Con el objetivo de garantizar la entrega de suministros se tienen en cuenta las rutas de envío y los productos a enviar.

II. METODOLOGÍA

El presente estudio, de tipo exploratorio, siguió la metodología en dos etapas detalladas a continuación:

A. Revisión de literatura y diagnóstico

La gestión del riesgo en el manejo de desastres es entendida como un proceso social orientado a formular, ejecutar, seguir y evaluar políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes, que permitan una respuesta eficiente ante la ocurrencia de desastres. Dentro de los instrumentos utilizados, la logística humanitaria se ha configurado como el elemento más importante en cualquier esfuerzo de ayuda ante estos eventos de fuerza mayor, debido a que marca la pauta en el éxito de la operación; esta es entendida como el proceso de planificación, implementación y control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los donantes hasta las personas o sector afectados, con el fin de satisfacer las necesidades de supervivencia, de acuerdo a los lineamientos establecidos por las entidades encargadas de la gestión de riesgo de desastres en Colombia.

Actualmente, la red logística de ayuda humanitaria es desarrollada manualmente sin tener en cuenta aspectos de planeación, situación que fue entendida por los organismos gubernamentales del municipio, lo que permitió un trabajo conjunto con el grupo de bomberos y la Secretaria de Gobierno. En vista de conocer la percepción de los planes de logística y atención de desastres por parte de la población se desarrolló una encuesta a 186 habitantes teniendo en cuenta el muestreo aleatorio simple, con un 5% de error y 95% de confianza, lo que refleja la importancia

de concientizar a la población en materia de riesgos, esta herramienta fue socializada con los organismos municipales.

Para lograr que los afectados por el desastre reciban estos kits, en la logística humanitaria se han desarrollado una serie de modelos matemáticos enfocados a la optimización de su entrega a los centros logísticos u albergues temporales, establecidos dentro del plan de emergencias del sector afectado.

B. Formulación de los modelos

Se contemplaron los lineamientos propuestos por la Cruz Roja Colombiana, donde se especifican los procesos asociados al funcionamiento de un albergue temporal teniendo en cuenta aspectos de aseo personal, dormitorios y alimentación del área de asistencia humanitaria [7], y la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos en Desastres (UNGRD) [8], que por su parte estipula los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución, lo que asegura que el requerimiento solicitado sea el indicado según las necesidades, en la cantidad requerida, con las condiciones adecuadas, en el lugar y tiempo precisos y al costo justo, teniendo en cuenta estos lineamientos, para garantizar la debida distribución de la ayuda se fijaron las bodegas, centro de acopio y albergues con el acompañamiento del cuerpo de bomberos del municipio teniendo en cuenta su ubicación geográfica y la afectación de la falla geológica, después de esto se procedió a formular los modelos de inventarios.

C. Modelo de inventarios de un solo periodo

En primera instancia se formuló el modelo de inventario de un solo periodo que se ajusta al manejo de productos perecederos que no se pueden conservar por largos periodos de tiempo, notación especificada para los kits de mercado y primeros auxilios [9].

Variables, parámetros e índices:

- Co: Costo unitario por sobrestimar la demanda, la pérdida por ordenar una unidad adicional y encontrar que no es posible venderla.
- Cu: Costo unitario por subestimar la demanda, simboliza la pérdida de oportunidad al no ordenar una cantidad adicional y encontrar que se hubiera podido vender.
- P: Probabilidad de tener siempre existencias en función de los costos unitarios por sobreestimar y subestimar la demanda.
- μ : Demanda media poblacional.
- Z: Probabilidad acumulada calculada a partir del resultado de P trasladado a la tabla de distribución normal.

σ : Desviación estándar poblacional calculada a partir de la tendencia de crecimiento poblacional en el municipio.

En este modelo, primero se debe calcular la probabilidad de que hayan existencias determinadas por la pérdida de oportunidad de tener una unidad adicional o adquirirla y no ser usada (1), una vez hallada la probabilidad se convierte a una tabla de distribución normal que se multiplica con la desviación estándar poblacional del municipio y este resultado respectivo se suma con la demanda media poblacional para obtener la cantidad óptima de pedido (2), usando la información de la Tabla 2.

$$P(\text{demanda} \leq Q^*) = \frac{C_u}{C_o + C_u} \quad (1)$$

$$Q^* = \mu + Z \sigma \quad (2)$$

Tabla 2. Estimación cantidad óptima de pedido

ESTIMACIÓN CANTIDAD ÓPTIMA DE PEDIDO	
1)	Si $C_u < C_o$ entonces $Q^* = \mu - Z \sigma$
2)	Si $C_u > C_o$ entonces $Q^* = \mu + Z \sigma$
3)	Si $C_u = C_o$ entonces $Q^* = \mu$

Fuente: [9].

D. Modelo de inventarios probabilístico con restricción de espacio

El modelo de inventario probabilístico con restricción de espacio considera la existencia de multi-productos, los cuales están disputando un espacio limitado de almacén. Los kits de higiene y vivienda están sujetos a un inventario de seguridad con la finalidad de manejar una reserva que cubra el comportamiento. A continuación, se explica la notación del modelo matemático para los artículos no perecederos.

Variables, parámetros e índices:

- A: Área máxima de almacenamiento.
- a: Necesidades del área de almacén por unidad de kit.
- Λ : Valor variable que representa el multiplicador de Lagrange.
- D: Requerimientos de demanda por unidad de kit.
- K: Costo fijo por unidad de kit.
- H: Costo de almacenamiento de kit por unidad de tiempo.

La cantidad óptima de kits a ordenar consiste en la existencia de varios artículos que poseen limitaciones de almacenamiento, por lo tanto, se utilizan los multiplicadores de Lagrange λ , el costo de almacenamiento h, el costo fijo por cada kit K_i , la demanda respectiva del producto D_i y el área requerida para su almacenamiento (3), la restricción de espacio contempla las necesidades de área de almacenamiento, de tal manera que no sobrepase el área de almacenamiento máxima disponible (4).

$$y_i^* = \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i - 2\lambda + a_i}} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^a a_i y_i \leq A \quad (4)$$

E. Modelo logístico de distribución de ayuda humanitaria sobre el terreno

El modelo HADS (Humanitarian aid distribution system) es un sistema de ayuda para las operaciones logísticas centradas en los siguientes criterios y variables [10]:

- LORRYTDijk: Número de vehículos de tipo k viajando de i a j.
- LOADTDijk: Cantidad de carga transportada de i a j en vehículos k.
- LOADi: Cantidad de carga que se queda en i.
- USEijk: Uso del arco (i, j) por camiones k binaria.
- LORRYjk: Número de camiones k que quedan en el nodo de partida j.
- BLORRYjk: Si quedan camiones k en nodo de partida j (Binaria).

La función objetivo está determinada por los costos incurridos en el proceso de distribución de la ayuda humanitaria que involucra el presupuesto requerido para ello, las condiciones de equilibrio de carga (5), la restricción 6 indica que el personal enviado debe satisfacer la demanda requerida por la población afectada (6), la restricción 7 indica que la cantidad de camiones que viajan de punto a punto en la red logística, de tal manera que se garantice el envío de los camiones que hay disponibles (7), la restricción 8 vincula la capacidad de los vehículos con la cantidad de productos a enviar (8), se presenta la limitación de demanda de los albergues como punto final de la red logística (9), el número de vehículos de tipo k

que viajan de un punto a otro dependen de la cantidad de vehículos disponibles, multiplicado por el valor binario donde 0 corresponde a vehículo disponible y 1 cuando está ocupado, es decir que depende de si se utiliza o no el recurso (10).

$$\sum_k \sum_{(i,j) \in A} l_{ij} (c v_{ijk} \text{LOADTD}_{ijk} + 2c f_{kij} \text{LORRY}_{ijk}) - y_1 \leq t_1 \quad (5)$$

$$\text{LOAD} \leq d, \forall j \in N / d > 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i/(j,i) \in A} \text{LORRYTD}_{jik} - \sum_{i/(i,j) \in A} \text{LORRYTD}_{ijk} = -\text{LORRY}_{jk} \quad \forall j \in N, \forall k \quad (7)$$

$$\text{LOADTD}_{ijk} \leq \text{cap}_k \text{LORRYTD}_{ijk} \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \quad (8)$$

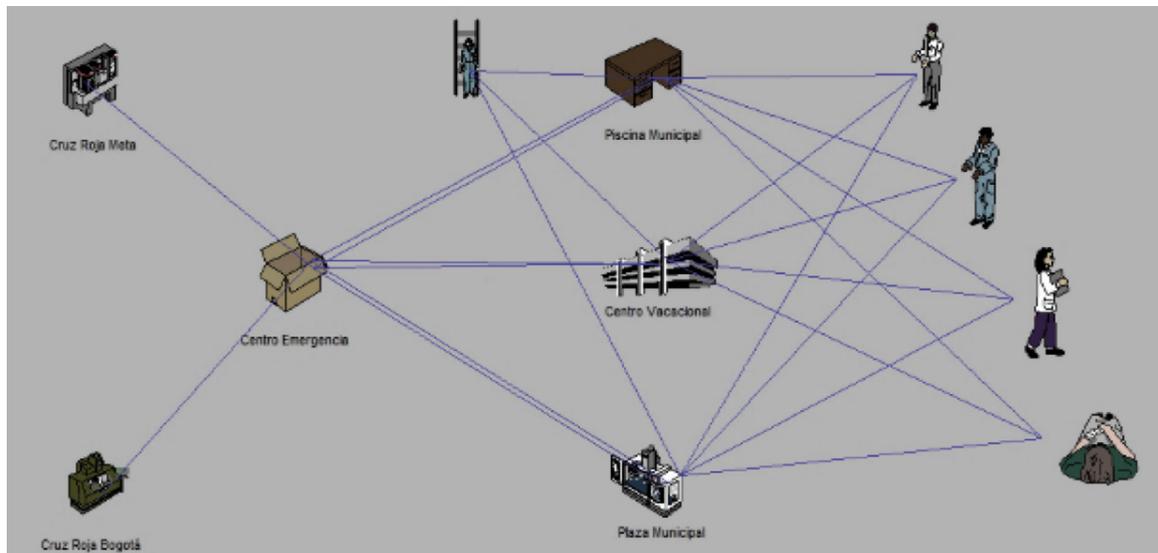
$$\sum_k \sum_{i/(j,i)} \text{LOADTD}_{jik} - \sum_k \sum_{i/(i,j) \in A} \text{LOADTD}_{ijk} = s_j - \text{LOAD}_j \quad \forall j \in N \quad (9)$$

$$\text{LORRYTD}_{ijk} \leq m * \text{USE}_{ijk} \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \quad (10)$$

Evaluación de resultados modelo logístico HADS

Para realizar una correcta evaluación del comportamiento de los resultados se utilizó el software Promodel, por ser uno de los paquetes más completos para describir las líneas de espera, lo que permitió encontrar el estado estable del sistema y determinar la capacidad de servicio apropiada para garantizar el equilibrio entre los costos del sistema y la satisfacción del cliente por el servicio [11]. En el cual se tuvo en cuenta la red logística conformada por 2 nodos de partida ubicados en Bogotá y Villavicencio, 1 centro de acopio de ayuda y 3 albergues temporales conformados por 3 estaciones de distribución de los kits (higiene, vivienda, alimentos) y un punto de verificación. La simulación de Monte Carlo se trabajó bajo números aleatorios para la asignación de kits. En la Figura 1 se presenta la construcción de la red logística en Promodel.

Figura 1. Red logística modelo logístico humanitario para Cáqueza, Cundinamarca



Fuente: elaboración propia.

La evaluación socioeconómica es una herramienta que permitió identificar, analizar y comparar factores cualitativos de municipio mediante un índice sumatorio ponderado a través de un conjunto de criterios complementarios definidos según las características del municipio: social (S), técnico (T), económico (E), institucional (I) y ambiental (A), agrupando una serie de variables dentro de ellos. Para la agrupación de los distintos indicadores fue necesario fijar un rango de calificación de las diferentes categorías, establecidas para el caso del municipio con un puntaje de 4-0 [12] reflejada en la Tabla 3.

Tabla 3. Escala de calificación de las diferentes categorías

Categoría	Puntaje
Supera los estándares solicitados	4
Cumple adecuadamente con los estándares	3
Cumple los estándares con reparos menores	2
Requiere modificaciones importantes	1
No cumple con los estándares mínimos	0

Fuente: [13].

Con el fin de encontrar la relevancia de los modelos propuestos se compararon respectivamente los resultados obtenidos con un modelo de logística humanitaria con resiliencia, entendida como la capacidad que cada individuo tiene para afrontar situaciones adversas de riesgo, este indicador del 53% permite determinar, que de 7573 habitantes correspondientes a la población para el año 2018, 3657 habitantes no están en capacidad de afrontar la magnitud del fenómeno natural.

III. RESULTADOS

Figura 2. Análisis de la falla geológica por remoción en masa en el municipio de Cáqueza.



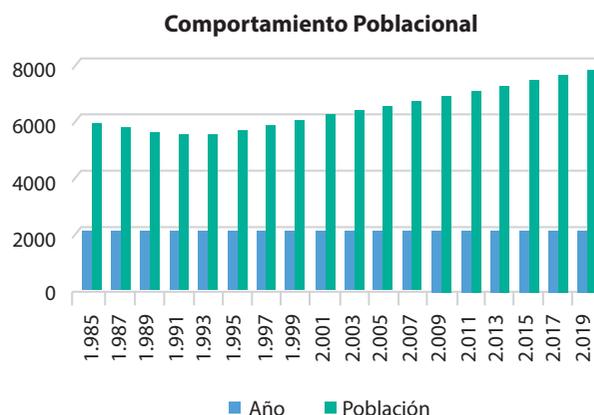
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 se presenta el análisis de la falla geológica realizada a partir de una visita de campo que permitió delimitar los diferentes puntos del casco urbano y rural que presentan zonas inestables, debido a la afectación del fenómeno de remoción en masa.

En la formulación del modelo matemático de logística humanitaria en gestión de riesgo de remoción en masa; se consideraron diferentes aspectos en su respectivo planteamiento, que se detallan a continuación.

Análisis de la demanda: busca la similitud entre el comportamiento de la población en términos de aumento y disminución, con alguna distribución de probabilidad a fin de establecer de forma teórica el origen de los datos. En la Figura 3 se representan los datos del censo histórico y proyectado por el DANE de 1985 a 2020, tomando únicamente la población urbana.

Figura 3. Comportamiento poblacional del municipio de Cáqueza



Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que existe una tendencia marcada al crecimiento de la población. La Figura 4 representa un resumen de estadística descriptiva para el análisis de los datos, de los cuales se tiene en cuenta la desviación estándar poblacional (Standard deviation).

Figura 4. Análisis descriptivo

descriptive statistics	
data points	36
minimum	5431.
maximum	7766.
mean	6347.56
median	6207.5
mode	5431.
standard deviation	748.284
variance	559928
coefficient of variation	11.7885
skewness	0.425753
kurtosis	-1.23705

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se hace el análisis de ajuste de bondad con el fin de encontrar una distribución de la cual provienen los datos. Se utiliza el software Statfit para identificar diferentes estadísticos que se ajusten a los datos suministrados para el cálculo, que arroja la función *Power Function* con un mayor ajuste, dado el comportamiento y evolución de los datos utilizando las pruebas *Kolmogorov Smirnov test* y *Anderson Darling test*, lo que permite afirmar que el histórico y proyección del número de habitantes de Cáqueza se puede asimilar con una distribución de tipo exponencial.

Caracterización de los kits de ayuda humanitaria: bajo los lineamientos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y la Cruz Roja Colombiana se fijaron los suministros catalogados como kits de ayuda humanitaria entre los cuales se encuentran: kit de alimentos (perecederos y no perecederos, kit de higiene (crema de dientes, jabón), kit de vivienda (cobijas, colchones), y por último, el kit de primeros auxilios con el que debe contar cada uno de los albergues. Los bienes de ayuda humanitaria se encuentran detallados en el Manual de estandarización de ayuda humanitaria de Colombia [8].

Con la información obtenida, se determina la cantidad y ubicación de bodegas, centros de distribución y centro de acopio para el municipio de Cáqueza, Cundinamarca, el cual está rodeado por dos almacenes regionales de la Cruz Roja ubicados en Bogotá y Villavicencio, los cuales serían los encargados de abastecerlo en caso de una emergencia. Para definir las ubicaciones se contó con la ayuda del cuerpo de bomberos teniendo en cuenta el proyecto municipal para la construcción del centro de emergencias dedicado a la captación de donaciones en especie (materiales de construcción, cocina, aseo personal, alimentos) y en general todo tipo de ayuda de primera necesidad que se requiera para apoyar a comunidades afectadas, este punto estará localizado fuera del municipio como medida de prevención ante la falla geológica existente, lo que evita poner en riesgo la vida de los afectados. Se fijaron tres (3) centros de distribución de ayuda humanitaria temporal para distribuir los suministros a los afectados en puntos de baja y nula afectación de la falla geológica.

Por otro lado, los resultados de los modelos de inventarios tienen en cuenta 7.576 habitantes, que corresponden a la población urbana del municipio para el año 2018; se contempló el costo de adquisición de los kits para el presente año basado en los costos actuales en los mercados locales. Se deduce que bajo la ocurrencia real de un evento natural se contará con donaciones nacionales e internacionales. Por otro lado, se consideraron las limitaciones de espacio existentes para productos no perecederos que pueden implicar almacenamiento debido a su corto período de vida útil. En la Tabla 4 se presenta la cantidad óptima

de kits requeridos para abastecer las necesidades de la totalidad de la población urbana, así como los costos implicados en los procesos de inventario sin tener en cuenta la resiliencia.

Tabla 4. Resultados obtenidos, modelos matemáticos de inventarios sin resiliencia

Kit	Cantidad	Costo almacenamiento	Área ocupada	Costo total
Higiene	1443	\$ 9.047.884	346	\$ 479.604.977
Vivienda	373	\$ 68.639.988	254	\$ 3.519.644.331
Mercado	7987	\$ 78.074.924	0	\$ 779.610.006
Primeros auxilios	748	\$ 15.023.580	0	\$ 1.529.558.246
TOTAL	10551	\$ 170.786.376	600	\$ 6.308.417.560

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5, se presenta la matriz resultante de los cinco diferentes criterios de evaluación, en los que se destaca la importancia relativa de los diferentes criterios en donde se observa que el mayor peso lo obtiene el criterio social que permite al proyecto una alta relevancia y cobertura por parte de la población.

Tabla 5. Matriz resultante de la jerarquización de criterios

Criterio	S	T	E	I	A	Total	Peso
S	-	3	3	4	1	11	0,2
T	3	-	2	3	4	12	0,218
E	4	4	-	4	2	14	0,254
I	4	3	4	-	3	14	0,254
A	1	0	1	2	.	4	0,72
TOTAL						55	1

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se generan estrategias de mejoramiento a partir de la comparación de un modelo matemático con resiliencia y sin ella, que permita generar futuras investigaciones en la inclusión del índice de resiliencia en la aplicación de este tipo de modelos.

El cálculo del índice de resiliencia se planteó a partir de un estudio estadístico mediante regresión lineal, con el propósito de calcular la demanda en cualquier período de tiempo (11) y para el respectivo cálculo de esa demanda (12).

$$Demanda = (Di) * Ir \quad (11)$$

$$Di = 67,495 * n - 128811 \quad (12)$$

La Tabla 6 muestra los resultados de la aplicación del modelo matemático de logística humanitaria con un 53% de resiliencia correspondiente a 3.919 habitantes

hallados a partir de la fórmula 1, teniendo en cuenta las mismas condiciones de almacenamiento de los modelos de inventarios sin resiliencia (ver Tabla 6) para la respectiva comparación.

Tabla 6. Resultados obtenidos modelos matemáticos de inventario con resiliencia

Kit	Cantidad	Costo almacenamiento	Área ocupada	Costo total
Higiene	1420	\$ 9.570.536	341	\$ 268.947.723
Vivienda	381	\$ 98.808	259	\$ 1.963.398.520
Mercado	3471	\$ 45.848.874	0	\$ 540.624.088
Primeros auxilios	3919	\$ 244.174.705	0	\$ 2.563.959.019
TOTAL	9191	\$ 299.692.923	600	\$ 5.336.929.350

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos del modelo de inventario con un 53% de resiliencia permiten identificar, que de los 3.919 habitantes pronosticados para el año 2018, se busca satisfacer a la población mediante la distribución porcentual de los kits de la siguiente manera: higiene 15%, vivienda 4%, mercado 38% y primeros auxilios 43%, evidenciando la importancia que toma el kit de primeros auxilios para soportar la situación adversa a la están expuestos los habitantes.

Por otro lado, los resultados del modelo sin resiliencia reflejan la siguiente distribución porcentual de los kits de la siguiente manera: higiene 14%, vivienda 4%, mercado 76% y primeros auxilios 7%, lo que refleja que para una población de 7.576 habitantes su relevancia radica en suplir las necesidades alimentarias existentes en la población.

Dicha comparación permite analizar cómo la capacidad de adaptación y de recuperación colectiva después de un desastre natural, permite la reconstrucción y la reorganización social, política, cultural y territorial de una comunidad, dando como resultado la reinversión de la identidad y la potencialización de los recursos propios del territorio.

IV. CONCLUSIONES

Para realizar un correcto desarrollo del proyecto fue necesaria la construcción del diagnóstico que permitió descubrir el estado real de la gestión del riesgo desde el punto de vista post-desastre, y a partir de ahí se focalizó el progreso de la investigación para proponer alternativas matemáticas, que minimicen el problema y lo hagan más práctico administrativamente, de tal manera que sea más eficiente y preciso.

Los modelos de inventarios consideraron aspectos demográficos de aumento, así como los kits de ayuda humanitaria propuestos por organismos de gestión del riesgo en Colombia, de tal manera que lo formulado se adaptara a las necesidades humanitarias del país, teniendo en cuenta la asistencia alimentaria y no alimentaria.

Para determinar la red logística construida en Promodel se tuvieron en cuenta los criterios de vulnerabilidad por la existencia de la falla geológica que rodea el municipio, de tal manera que fuera garantizada la respectiva ubicación del centro de acopio y albergues temporales fuera de la zona de afectación y que permitiera la llegada de los suministros de los dos puntos base ubicados en Bogotá y Villavicencio.

La evaluación social indica que el impacto del proyecto sobre la atención pos-desastre permite mitigar las pérdidas humanas con la adecuada respuesta en el suministro de los kits asociados a estos fenómenos, y con la planeación del flujo y espacio requerido para suplir estas necesidades.

V. REFERENCIAS

- [1] W. B. Rice, “La Tierra”, *Teacher Created Materials*, China, 2011.
- [2] E. Causado-Rodríguez y M. C. Jaime (2011). *Estudios de casos de la economía ambiental en Colombia*. 2011 [En línea]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=H9BBDwAAQBAJ&pg=PA113&dq=placas+nazca,+sudamerica+colombia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj627Lyx5ngAhVsUN8KHX2wCB-gQ6AEIKjAA#v=onepage&q=placas%20nazca%2C%20sudamerica%20colombia&f=false>.
- [3] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), “Censo formato único de registro de hogares afectados por situación de desastre, calamidad emergencia, vivienda urbana y rural afectada en la provincia de Oriente, sismo del 24 de mayo de 2008”. Bogotá, 2008.
- [4] L. Reyes, C. Quintero, y A. Torres, “Modelo matemático para la programación de personal especializado en logística humanitaria post-desastre”. Paper presentado en Excellence in Engineering To Enhance a Country’s Productivity (Ecuador), 2014, Conference: Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI’2014)
- [5] J. Gaytan, P. Arroyo, y R. Enriquez (2012, nov.). “Un modelo Bi-Criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso

- de inundaciones”. *Revista Ingeniería Industrial*, Vol. 11, No, 2, pp. 35-56, nov. 2012 [En línea]. Disponible <https://es.scribd.com/document/299399824/DialnetUnModeloBicriterioParaLaUbicacionDeAlberguesComoPa-4398257>
- [6] S. Tofighia, S. A. Torabi, and S. A. Mansourib. *Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty*. *European Journal of Operational Research* vol 250, issue 1, pp. 239-250, 2015 [En línea]. Disponible <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715008152>
- [7] *Manual nacional para el manejo de albergues temporales*, Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana, Bogotá, 2008 [En línea]. Disponible en <http://www.cruzrojacolombiana.org/sites/default/files/manual%20albergues%20temporales.pdf>
- [8] Estandarización de Ayuda Humanitaria de Colombia. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [En línea]. Disponible en http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Manuales/Manual_de_Estandarizacion_AHE_de_Colombia.pdf
- [9] H. A. Taha, *Investigación de operaciones*, novena edición, México: Pearson educación, 2012.
- [10] T., Rodríguez, G. Tirado, Montero, T. Ortuño y B. Victoriano, “Un sistema de ayuda a la decisión en la respuesta humanitaria a desastres naturales”, presentado en el XXXI Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, Murcia, Spain, 2009.
- [11] González, S. Montoya y Castrillón, *Guías de simulación de procesos productivos (con Promodel)*, Medellín, Colombia. Editorial ITM, 2014.
- [12] E. Cohen, R. Martínez, *Formulación, evaluación y monitoreo de proyectos sociales*, Chile, Cepal, 2002.
- [13] R. Martínez, *Evaluación de programas y proyectos sociales*, Buenos Aires 2005 [En línea]. Disponible <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2017/03/1415.pdf>