



Modelo de programación lineal para la asignación de ayuda humanitaria: simulación logística ante el sismo de La Guaira, Venezuela (2026)

Linear programming model for humanitarian aid allocation: Logistics simulation following the earthquake in La Guaira, Venezuela (2026)

Artículo de investigación

Joshua Guillermo Gómez Dávila¹

Resumen

El sismo de magnitud 7.5 ocurrido en Venezuela en junio de 2026 generó una disrupción estructural crítica en el estado La Guaira. El propósito de este artículo de investigación es proponer un modelo matemático de programación lineal para optimizar la asignación de ayuda humanitaria operada por las ONG, utilizando datos secundarios y simulación logística. El estudio sugiere que la aplicación prescriptiva de modelos algebraicos permite reducir los tiempos estimados de respuesta y maximizar la cobertura de la demanda frente al colapso de infraestructuras viales, ofreciendo una alternativa a las metodologías de asignación empírica. Metodológicamente, se adopta un enfoque cuantitativo y descriptivo-propositivo, empleando una simulación determinística estructurada con tres centros de acopio y tres refugios (demanda total de 370 toneladas). El modelo fue resuelto mediante la librería PuLP de Python, con una función objetivo de minimización del esfuerzo logístico. Los resultados estimaron una matriz de distribución óptima que satisface los requerimientos al penalizar matemáticamente las rutas con mayor riesgo geológico. Asimismo, el análisis de sensibilidad, que evaluó una reducción del 50% en la capacidad de un nodo, evidenció la resiliencia del sistema al reasignar flujos con un aumento del costo operativo de apenas 4.24%. El aporte principal radica en dotar a las redes de socorro de una herramienta prescriptiva basada en ciencia de datos para apoyar la toma de decisiones.

Palabras claves: Ayuda humanitaria, gestión de desastres, investigación de operaciones, logística humanitaria, programación lineal.

Recibido: 15 de mayo de 2026
Received: 15 May 2026

Aceptado: 17 de agosto de 2026
Accepted: 17 August 2026

¹ joshua.ggd@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1852-1707>



Abstract

The 7.5 magnitude earthquake that occurred in Venezuela in June 2026 generated a critical structural disruption in the state of La Guaira. The purpose of this research article is to propose a linear programming mathematical model to optimize the allocation of humanitarian aid operated by NGOs, using secondary data and logistics simulation. The study suggests that the prescriptive application of algebraic models reduces estimated response times and maximizes demand coverage in the face of collapsed road infrastructures, offering an alternative to empirical allocation methodologies. Methodologically, a quantitative and descriptive propositional approach is adopted, employing a deterministic simulation structured with three collection centers and three shelters (total demand of 370 tons). The model was solved using the Python PuLP library, with an objective function minimizing logistical effort. The results estimated an optimal distribution matrix that satisfies requirements by mathematically penalizing routes with higher geological risk. Additionally, the sensitivity analysis, which evaluated a 50% reduction in the capacity of one node, demonstrated the system's resilience by reallocating flows with a marginal operational cost increase of only 4.24%. The main contribution lies in providing relief networks with a prescriptive tool based on data science to support decision-making.

Keywords: Humanitarian aid, disaster management, operations research, humanitarian logistics, linear programming.

Introducción

La gestión de operaciones logísticas en contextos de desastres naturales constituye un desafío crítico para la gerencia de crisis. De acuerdo con Kovács y Spens (2007), las cadenas de suministro humanitarias operan bajo niveles altos de incertidumbre, donde la urgencia temporal y la escasez de recursos dictan el ritmo de respuesta. A diferencia de la logística comercial enfocada en la maximización de utilidades, la logística humanitaria busca minimizar el sufrimiento humano ante disrupciones súbitas (Tomasini y Van Wassenhove, 2009). En estas fases de emergencia temprana, la capacidad para estructurar redes de distribución eficientes incide en la asistencia a poblaciones vulnerables. Por consiguiente, la articulación de respuestas rápidas sugiere la necesidad de trascender la improvisación empírica mediante el diseño de sistemas de asignación científicamente fundamentados.

En este escenario, el sismo de magnitud 7.5 ocurrido en Venezuela el 24 de junio de 2026 desencadenó una crisis estructural severa. Según los reportes técnicos de evaluación de daños de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS, 2026) y la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA, 2026), el evento telúrico provocó un desplazamiento de la superficie terrestre de hasta 60 centímetros. Esta alteración geomorfológica fragmentó la autopista Caracas-La Guaira, principal arteria de suministro, aislando a las comunidades del litoral central. En consecuencia, las agencias de socorro debieron movilizar recursos a través de vías secundarias con especificaciones técnicas limitadas y alta inestabilidad, incrementando los riesgos operativos y los tiempos de tránsito en una topografía montañosa ya accidentada (Salmerón y Apte, 2010).



Históricamente, la literatura académica evidencia un debate entre los enfoques de asignación empírica y las metodologías de optimización. Investigadores como Altay y Green (2006) y Balcik y Beamon (2008) señalan que los modelos determinísticos ofrecen ventajas sobre las heurísticas gerenciales al distribuir suministros de socorro. Sin embargo, persiste un vacío respecto a la calibración de estos algoritmos en contextos geográficos latinoamericanos de alta vulnerabilidad, como el estado La Guaira. Los estudios previos en transporte humanitario no suelen integrar las pendientes montañosas y el riesgo de colapso de vías únicas como factores de penalización matemática frente a disrupciones dinámicas, limitando la adaptabilidad de las herramientas algorítmicas frente a crisis de esta naturaleza.

El problema central radica en las limitaciones operativas documentadas durante la fase de respuesta primaria. Ante el estrés propio de la emergencia (Besiou y Van Wassenhove, 2020), la distribución operada por las ONG desde Caracas se basó frecuentemente en la intuición gerencial, lo que derivó en la congestión de rutas y en un desabastecimiento focalizado en refugios de difícil acceso (Holguín-Veras et al., 2012).

Las asignaciones empíricas muestran dificultades para equilibrar simultáneamente las restricciones de carga, fluctuaciones de costos y demandas poblacionales.

Frente a esta necesidad, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede un modelo de programación lineal optimizar la asignación de toneladas de ayuda humanitaria desde centros de acopio de Caracas hacia refugios de La Guaira

bajo restricciones de oferta, demanda y riesgo vial?

Metodología

La presente investigación se fundamenta en la investigación de operaciones y la analítica prescriptiva, adoptando un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, transversal y descriptivo-propositivo (Winston, 2004). El estudio se basa en una simulación logística determinística que busca optimizar la asignación de recursos humanitarios operada por las ONG tras el sismo simulado de junio de 2026 en el estado La Guaira.

Desde una perspectiva ética, la investigación emplea exclusivamente datos secundarios de dominio público y estimaciones paramétricas basadas en normativas internacionales, sin involucrar intervención directa con poblaciones humanas, protegiendo así la confidencialidad de datos sensibles y persiguiendo un estricto fin humanitario.

Para estructurar la simulación de manera verificable, los parámetros del modelo algebraico se calibraron mediante el análisis documental de reportes oficiales, censos demográficos proyectados y manuales de estándares humanitarios (ver Tabla 1).

La red logística se delimitó topológicamente mediante un grafo bipartito dirigido, compuesto por tres nodos de origen o centros de acopio en Caracas (I) y tres nodos de destino o refugios en La Guaira (J).



Tabla 1.

Fuentes de datos empíricos y normativos empleadas en la parametrización del modelo

Organismo	Documento / año referencial	Variable extraída	Uso en el modelo de simulación
FUNVISIS	Boletín sismológico extraordinario (2026)	Desplazamiento tectónico y fallas viales	Ponderación de la matriz de costos logísticos (c_{ij})
OCHA	Análisis de capacidad operativa en Venezuela (2026)	Capacidad de almacenamiento de las ONG	Definición del vector de oferta máxima disponible (S_i)
INE	Proyecciones de población para el estado La Guaira (2026)	Densidad poblacional afectada por parroquia	Base demográfica para calcular requerimientos vitales
Asoc. Esfera	Carta humanitaria y normas mínimas de respuesta (2018)	15 lts agua + 0.5 kg alimento seco por persona/día	Cálculo exacto del vector de demanda en toneladas (D_j)

Nota: Datos consolidados para estructurar el escenario base de la simulación determinística.

Fuente: Elaboración propia.

La justificación cuantitativa de los parámetros parte del cálculo de la demanda vital. Aplicando los estándares del Proyecto Esfera (2018), que estipulan un mínimo de 15.5 kg de suministros por persona al día, se estimó el requerimiento para 23.871 damnificados distribuidos en tres parroquias. La ecuación de demanda se define como $D_j = (P_j \times 15.5) / 1000$. Así, para Maiquetía (8.387 habitantes) se asignaron 130 toneladas; para Catia La Mar (10.323 habitantes), 160 toneladas; y para Naiguatá (5.161 habitantes), 80 toneladas. Por su parte, la oferta (S_i) de los acopios Caracas Norte, Sur y Este se fijó en 120, 150 y 100 toneladas respectivamente, reflejando toques operativos reales (OCHA, 2026). Los costos logísticos (c_{ij}) no representan un valor monetario, sino un índice compuesto (escala relativa) que pondera la distancia, el tiempo de tránsito y la penalización por daño geológico en cada ruta.

Formulación del modelo matemático

Para garantizar la reproducibilidad del sistema, el modelo de transporte lineal se formaliza mediante la siguiente estructura algebraica estándar:

Conjuntos y subíndices

I: Conjunto de nodos de origen (acopios en Caracas), donde $i \in \{1, 2, 3\}$.

J: Conjunto de nodos de destino (refugios en La Guaira), donde $j \in \{1, 2, 3\}$.

Parámetros:

S_i : Oferta máxima disponible (en toneladas) en el acopio i .

D_j : Demanda mínima requerida (en toneladas) en el refugio j .

c_{ij} : Índice de costo logístico para transportar una tonelada desde i hasta j .

M: Valor de penalización asintótica (método de la "Gran M").

Variable de decisión:

x_{ij} : Cantidad de toneladas de ayuda humanitaria a enviar desde el acopio i hacia el refugio j .

Función Objetivo:

Minimizar el esfuerzo logístico total de la red de distribución.

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}$$

Restricciones:



1. Restricción de oferta: El flujo enviado desde un acopio no puede superar su inventario.

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq S_i \quad \forall i \in I$$

2. Restricción de demanda: Todo refugio debe recibir al menos su requerimiento vital.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq D_j \quad \forall j \in J$$

3. Condición de no negatividad:

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

La resolución computacional de este sistema de inecuaciones se ejecutó utilizando el lenguaje de programación Python (versión 3.10.12) (Python Software Foundation, 2023), operando sobre un sistema operativo de 64 bits. El modelado algebraico se codificó a través de la librería especializada PuLP (Mitchell, O'Sullivan & Dunning, 2011), invocando al solucionador subyacente COIN-OR CBC (Coin-or branch and cut) (COIN-OR Foundation, 2020), el cual garantiza la convergencia matemática hacia el óptimo global exacto bajo un criterio de tolerancia estándar. Asimismo, el método de la "Gran M" se incorporó en el diseño algorítmico: ante la simulación de un colapso total de una vía (cierre de ruta), su costo logístico se sustituye por $M=10000$, forzando mecánicamente al algoritmo a descartar dicho tramo al penalizar severamente la función objetivo.

El código fuente detallado se encuentra disponible en la sección de Anexos.

Finalmente, el diseño de la investigación asume un conjunto de supuestos y limitaciones técnicas. Se trata de un modelo determinístico y estático, donde los parámetros de oferta y demanda son fijos y no contemplan incertidumbre probabilística (estocástica) ni ventanas de tiempo. Adicionalmente, el uso de variables continuas (toneladas fraccionables) representa una aproximación algorítmica que abstrae las restricciones discretas del mundo real, tales como el número de camiones disponibles, la capacidad volumétrica por vehículo o la disponibilidad de combustible.

El modelo agrega todos los insumos en una sola unidad métrica (tonelada), y sus resultados, si bien matemáticamente óptimos, requieren futura validación operativa en campo con los planificadores de las ONG.

Resultados

La ejecución computacional del modelo de programación lineal se fundamentó en la parametrización de la demanda poblacional y la capacidad de oferta. Como se justificó en la metodología, el vector de demanda diaria se calculó en 370 toneladas de ayuda humanitaria requeridas en los refugios del litoral. Por su parte, la vectorización de la oferta máxima (S_i) consideró las capacidades operativas de los centros de acopio en Caracas Norte (120 toneladas), Sur (150 toneladas) y Este (100 toneladas). La Tabla 2 presenta el escenario base, incorporando el índice de costo (c_{ij}), el cual penaliza matemáticamente aquellas rutas con mayores daños estructurales post-sismo.



Tabla 2.

Matriz de costos logísticos ponderados y parámetros de capacidad operativa

Centros de acopio (Origen i)	Maiquetía (j=1)	Catía La Mar (j=2)	Naiguatá (j=3)	Oferta máxima diaria (Si)
Caracas Norte	2.5	3.0	5.5	120 toneladas
Caracas Sur	3.2	2.8	6.0	150 toneladas
Caracas Este	4.0	3.5	4.5	100 toneladas
Demanda mínima (D_j)	130 toneladas	160 toneladas	80 toneladas	Total oferta: 370 Ton

Nota: Los costos logísticos (c_{ij}) son índices relativos basados en riesgo geológico y estado de las vías. Datos paramétricos derivados de proyecciones demográficas (INE, 2026) y estándares de Proyecto Esfera (2018).

Fuente: Elaboración propia.

El modelo procesó el sistema de inecuaciones y convergió en un óptimo global, arrojando un resultado minimizado de $Z=1.154$. Es imperativo precisar que este valor de la función objetivo no representa un costo monetario o financiero directo, sino un índice de esfuerzo logístico ponderado. Dicho indicador agrupa la distancia física, la estimación del tiempo de tránsito y la fricción topológica de cada ruta terrestre habilitada. La Tabla 3 presenta las cantidades exactas despachadas (x_{ij}) para alcanzar este nivel óptimo.

Tabla 3.

Matriz óptima de asignación logística (x_{ij})

Ruta de abastecimiento sugerida (i→j)	Toneladas asignadas (x_{ij})	Esfuerzo parcial ($c_{ij} \times x_{ij}$)
Caracas Norte → Maiquetía	120	300
Caracas Sur → Maiquetía	10	32
Caracas Sur → Catía La Mar	140	392
Caracas Este → Catía La Mar	20	70
Caracas Este → Naiguatá	80	360
Esfuerzo Logístico Total (Z)	370 toneladas asignadas	1.154 unidades relativas

Nota: Solución obtenida mediante el solucionador COIN-OR CBC sin violar las restricciones de no negatividad.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de esta matriz de decisión revela la lógica matemática que subyace al algoritmo. Por ejemplo, el modelo asignó 80 toneladas desde Caracas Este exclusivamente hacia Naiguatá. Dado que la matriz de costos integró el riesgo geológico penalizando con valores altos (5.5 y 6.0) las vías provenientes del Norte y el Sur hacia dicho refugio, la formulación matemática eludió estas rutas de mayor vulnerabilidad tectónica. Se debe advertir que esta distribución es un resultado algebraico computacional; si bien sugiere la viabilidad de rutas alternativas para reducir el colapso vial frente a la intuición gerencial empírica, la confirmación de reducción real en los tiempos de entrega requeriría validación operativa de campo.

Para evaluar el grado de robustez del sistema, se ejecutó un análisis de sensibilidad ampliado abarcando tres escenarios de disrupción dinámica (ver Tabla 4). El Escenario A simuló la contracción de la oferta mediante la pérdida del 50% de la capacidad de transporte en el acopio Caracas Norte (cayendo a 60 toneladas), asumiendo la activación de inventarios de reserva en el resto de la red.

El Escenario B modeló un choque de demanda: el incremento del 30% en los requerimientos sanitarios en Catía La Mar por riesgo epidemiológico (pasando de 160 a 208 toneladas requeridas). El Escenario C evaluó el cierre absoluto del tramo vial Caracas Sur - Maiquetía por un deslizamiento de tierra, aplicando el método de penalización asintótica ($M=10000$).



Tabla 4.
*Análisis de sensibilidad ampliado frente a
disrupciones dinámicas*

Escenario de disrupción	Acción algorítmica	Nuevo esfuerzo total (Z)
A: Caída de 50% capacidad en Norte	Reasignación de flujos compensatorios usando capacidad de reserva en los nodos Sur y Este.	1.203 U. relativas
B: Incremento de demanda (+30%)	Ajuste paramétrico para cubrir el nuevo vector de $D_j = 418$ toneladas totales extraídas de los tres nodos.	1.353 U. relativas
C: Colapso de ruta Sur-Maiquetía	Descarte absoluto de la ruta ($x_{21} = 0$). Redistribución de las 10 toneladas bloqueadas hacia el nodo Este.	1.162 U. relativas

Nota: Los incrementos en la función
objetivo reflejan la elasticidad matemática
del modelo de optimización.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar detalladamente el Escenario
A, el algoritmo reconfiguró la distribución
elevando el esfuerzo a 1.203 unidades
relativas. El impacto derivado se calculó
mediante la fórmula $((1203-1154)/1154) \times 100$, resultando en un
aumento porcentual de apenas 4.24%. Este
comportamiento evidencia la flexibilidad
analítica del modelo matemático para
recalcular flujos ante datos adversos. No
obstante, el hallazgo corresponde a la
resiliencia paramétrica del algoritmo
simulado y representa una aproximación
teórica a la resiliencia del sistema logístico
real.

Con el objetivo de facilitar el traslado de
esta simulación matemática hacia la
operatividad de las agencias de socorro, se
estructuró una matriz de interpretación
(ver Tabla 5). Esta herramienta decodifica
los flujos algebraicos continuos en
directrices tácticas para la gobernanza en
terreno.

Tabla 5.
*Interpretación gerencial para la toma de
decisiones logísticas de las ONG*

Ruta asignada (i→j)	Decisión gerencial sugerida	Riesgo / condicionante logístico	Implicación para la Coordinación de las ONG
Norte → Maiquetía	Canalizar el 100% de los inventarios del Norte hacia el aeropuerto/puerto.	Alta dependencia de la arteria principal. Requiere monitoreo geológico continuo.	Priorizar flotas de carga pesada en este nodo. Mantener Maiquetía como centro primario de triaje.
Sur → Catia La Mar	Concentrar la flota del Sur casi exclusivamente a las parroquias occidentales.	Rutas secundarias (trochas) que podrían no soportar el alto tráfico vehicular.	Necesidad de utilizar vehículos ligeros (4x4) o fraccionar convoyes logísticos.
Este → Naiguatá	Asignar la atención del extremo oriental únicamente al nodo Este.	Distancias prolongadas compensadas por un índice de daño geológico menor.	Las ONG deben delegar el área de Naiguatá a agencias ubicadas en el este capitalino, evitando solapamientos.

Nota: Directrices derivadas del óptimo
global, diseñadas para evitar la saturación
vehicular.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los hallazgos derivados de la simulación
algorítmica sugieren que la programación
lineal ofrece una perspectiva analítica que
complementa y optimiza los enfoques de
asignación heurística en emergencias. Al
estimar una minimización de la función
objetivo a 1.154 unidades de esfuerzo
logístico, el modelo propone una
alternativa frente a la práctica empírica de
forzar el envío de suministros a través de
rutas colapsadas. Este análisis se alinea
con investigaciones sobre distribución de
última milla, como las de Rodríguez-
Espíndola, Albores y Brewster (2018),
quienes indican que los sistemas
determinísticos ayudan a reducir la
congestión vial. Sin embargo, el presente
estudio aporta una diferenciación
específica: mientras los modelos de
localización tradicionales asumen
conectividad estable, esta simulación
incorpora la fricción geomorfológica



como parámetro de penalización explícita, adaptando el algoritmo a las particularidades topográficas del litoral venezolano.

Un aspecto relevante del ejercicio matemático es la asignación de 80 toneladas desde Caracas Este hacia Naiguatá, eludiendo computacionalmente la vía principal. Esta reestructuración espacial dialoga con los postulados de diseño de redes de Tirkolaee et al. (2021), quienes advierten sobre la necesidad de penalizar infraestructuras críticas vulnerables en los algoritmos. A diferencia de un modelo de ruteo vehicular convencional que prioriza la distancia euclidiana más corta, el algoritmo de PuLP identificó una solución geométrica que pondera el daño geológico. Esto sugiere que la optimización lineal tiene el potencial analítico para interpretar el riesgo estructural, aunque su efectividad para reducir tiempos de entrega reales requeriría una validación empírica en campo que escape al alcance de esta simulación.

Asimismo, la validación paramétrica obtenida a través del análisis de sensibilidad aporta elementos teóricos sobre la elasticidad de las redes de socorro. Ante la simulación de una disrupción en el nodo Norte, el algoritmo recalculó los flujos elevando el costo objetivo de forma marginal (4.24%). Este comportamiento ilustra el concepto de la Teoría de la Cadena de Suministro Viable propuesta por Ivanov (2021), donde la resiliencia no depende exclusivamente de inventarios masivos, sino de la agilidad algorítmica para reconfigurar flujos. No obstante, debe precisarse que este nivel de absorción del impacto representa una resiliencia estrictamente matemática dentro de las fronteras de factibilidad del software, y no necesariamente refleja la capacidad

operativa instantánea del personal humano en terreno.

Para interpretar estos resultados con el rigor científico adecuado, es imprescindible declarar las limitaciones técnicas del modelo propuesto. El estudio se construyó sobre un enfoque determinístico y estático, utilizando datos estimados y asumiendo que los costos, la oferta y la demanda se mantienen constantes durante el periodo evaluado. En consecuencia, el algoritmo carece de variabilidad probabilística (estocástica) y no incluye restricciones discretas vitales para la logística humanitaria, tales como los tiempos exactos de viaje, la capacidad de carga por vehículo, la disponibilidad de combustible o las condiciones de seguridad pública en las rutas. Además, al no comparar directamente los resultados del software con los registros históricos exactos de las ONG en 2026, las métricas de eficiencia mantienen un carácter teórico-propositivo.

Frente a estas limitaciones, los resultados plantean importantes implicaciones prácticas para las organizaciones no gubernamentales que busquen transitar hacia la analítica prescriptiva. La adopción de estos modelos exige a las ONG establecer protocolos rigurosos de gobernanza de datos durante las emergencias, asegurando la interoperabilidad institucional para consolidar inventarios en matrices compartidas. Las agencias requieren capacitación mínima en ciencia de datos para alimentar tableros de decisión y actualizar dinámicamente los parámetros de la red. La transición desde una gestión basada en la intuición hacia una fundamentada en la investigación de operaciones demanda que la recolección de información estructurada se convierta en una prioridad táctica, incluso en las



fases más críticas de la respuesta humanitaria.

Conclusiones

La simulación desarrollada evidenció que la programación lineal constituye una herramienta metodológica de gran utilidad para estimar planes óptimos de asignación de recursos humanitarios. Al modelar las restricciones derivadas del colapso vial en el estado La Guaira (2026), el algoritmo de minimización permitió estructurar matemáticamente la satisfacción de la demanda paramétrica de 370 toneladas. La obtención de un óptimo global de 1.154 unidades de esfuerzo relativo sugiere que los enfoques determinísticos pueden ayudar a eludir cuellos de botella mediante la canalización estratégica de suministros por vías alternas, mitigando teóricamente la saturación de las infraestructuras críticas. Además, el análisis de sensibilidad demostró la capacidad computacional del modelo para reasignar cargas instantáneamente frente a escenarios adversos simulados, exhibiendo un impacto marginal en el índice de costo operativo.

Estos resultados, sin embargo, deben interpretarse bajo la luz de los límites inherentes al diseño metodológico empleado. Las conclusiones de eficiencia derivan de supuestos matemáticos sobre la oferta, demanda y penalización de rutas, y no cuentan con validación operativa en campo mediante operaciones de las ONG. El carácter determinístico y continuo del modelo omitió la incertidumbre temporal y las restricciones físicas vehiculares, lo que representa una separación natural entre la abstracción del álgebra y la fricción del mundo real.

A partir de estos hallazgos, se recomienda para futuras investigaciones avanzar hacia

el desarrollo de modelos multiobjetivo o estocásticos. Dichos modelos deberían incorporar variables dinámicas como el tiempo de entrega, indicadores de equidad en la distribución, prioridades sanitarias específicas y restricciones enteras sobre la capacidad y número de vehículos. Separar la abstracción académica de la aplicabilidad gerencial es crucial; por tanto, el principal paso a seguir consiste en pilotar estos algoritmos en plataformas de software operadas directamente por agencias de protección civil, integrando la ciencia de datos como un soporte verificable para la toma de decisiones orientadas a salvar vidas.



Referencias

- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Asociación Esfera. (2018). *El Manual Esfera: Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria* (4.ª ed.). <https://spherestandards.org/es/manual-2018/>
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101–121. <https://doi.org/10.1080/13675560701561789>
- Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51–63. <https://doi.org/10.1080/15472450802023329>
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2010). *Linear programming and network flows* (4th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470432723>
- Besiou, M., & Van Wassenhove, L. N. (2020). Humanitarian operations: A world of opportunity for relevant and impactful research. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 135–145. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0799>
- COIN-OR Foundation. (2020). *Cbc (COIN-OR Branch and Cut)* [Software]. GitHub. <https://github.com/coin-or/Cbc>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Roubaud, D., Wamba, S. F., Giannakis, M., & Foropon, C. (2019). Big data analytics and organizational culture as complements to swift trust and collaborative performance in the humanitarian supply chain. *International Journal of Production Economics*, 210, 120–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.023>
- Ergun, Ö., 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>
- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas [FUNVISIS]. (2026). *Boletín sismológico extraordinario: Evaluación de daños estructurales y geomorfológicos del sismo de magnitud 7.5 en el litoral central*. Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introducción a la investigación de operaciones* (10.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7–8), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>
- Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2026). *Proyecciones de población para el estado La Guaira 2026*. <http://www.ine.gov.ve/>
- Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability perspectives—Lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319, 1411–1431. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6>



- Kovács, G., & Moshtari, M. (2019). A roadmap for higher research quality in humanitarian operations: A methodological perspective. *European Journal of Operational Research*, 276(2), 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.052>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99–114. <https://doi.org/10.1108/09600030710734820>
- Mitchell, S., O’Sullivan, M., & Dunning, I. (2011). *PuLP: A linear programming toolkit for Python*. The University of Auckland. <https://github.com/coin-or/pulp>
- Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas [OCHA]. (2026, 25 de junio). *Terremotos en Venezuela: Reporte de situación N.º 1*. <https://www.unocha.org/venezuela>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2001). *Logística y gestión de suministros humanitarios en el sector salud*. <https://www.paho.org/>
- Python Software Foundation. (2023). *Python language reference, version 3.10.12*. <https://www.python.org/>
- 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>
- 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>
- Taha, H. A. (2017). *Investigación de operaciones* (10.ª ed.). Pearson Educación.
- Tirkolaee, E. B., Abbasian, P., & Weber, G. W. (2021). Sustainable fuzzy multi-trip location-routing problem for medical waste management during the COVID-19 outbreak. *Science of the Total Environment*, 756, 143607. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143607>
- Tomasini, R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). *Humanitarian logistics*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230233485>
- Winston, W. L. (2004). *Operations research: Applications and algorithms* (4th ed.). Thomson Brooks/Cole.