

Localización de instalaciones en logística humanitaria: una revisión de la literatura y consideraciones para futuras investigaciones

Miguel Antonio Daza-Moscoso ^a, María Fernanda Carnero-Quispe ^a & José Manuel Cárdenas-Medina ^{a b}

^a *Departamento de Ingenierías de la Industria y el Ambiente, Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. miguel.daza@ucsp.edu.pe, mfcarnero@ucsp.edu.pe*

^b *Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, pcinjar@upc.edu.pe.*

Received: October 25th, 2023. Received in revised form: February 27th, 2024. Accepted: March 12th, 2024

Resumen

La localización de instalaciones en la logística humanitaria es un problema crucial ya afecta directamente a la capacidad de respuesta, eficiencia en la distribución y al rendimiento de las operaciones de ayuda, este problema se caracteriza por la incertidumbre de la información, la velocidad en la reacción, la falta de recursos y la variabilidad del entorno haciendo que se generen nuevos modelos que se puedan ajustar a la realidad. En esta revisión de literatura se analizaron investigaciones publicadas entre los años 2020 y 2022. Con base en los estudios revisados, estos prefieren ajustarse a la realidad utilizando límites de capacidad, modelos estocásticos, ubicaciones no predefinidas, funciones de privación y multiobjetivo en emergencias generadas por desastres naturales. Finalmente se debe de considerar en futuras investigaciones: el tipo de temporalidad de la instalación, el enrutamiento con sus restricciones, el uso de modelos más robustos y el tamaño de las instalaciones.

Palabras clave: logística humanitaria; localización de instalaciones; desastres naturales.

Facility location in humanitarian logistics: a literature review and considerations for future research

Abstract

The location of facilities in humanitarian logistics is a crucial problem as it directly affects the responsiveness, efficiency in distribution and performance of aid operations, this problem is characterized by uncertainty of information, speed of reaction, lack of resources and variability of the environment making it necessary to generate new models that can be adjusted to reality. In this literature review, research published between 2020 and 2022 was analyzed. Based on the studies reviewed, they prefer to adjust to reality using capacity limits, stochastic models, non-predefined locations, deprivation and multi-objective functions in emergencies generated by natural disasters. Finally, the following should be considered in future research: the type of temporality of the facility, the routing with its restrictions, the use of more robust models and the size of the facilities.

Keywords: humanitarian logistics; facility location; natural disasters.

1 Introducción

Cada año ocurren alrededor de 376 desastres naturales que afectan a 98.6 millones de personas alrededor del mundo [18], esto hace que la logística humanitaria sea una parte esencial de la gestión de desastres y una de las mejores formas para reducir el tiempo y costo en las operaciones de socorro, esto sucede tanto para países desarrollados como para subdesarrollados, ya que

ambos serán afectados por la escasez de recursos básicos [24].

La logística no es una tarea sencilla en caso de desastres; ya que se caracteriza por un aumento considerable en la incertidumbre y complejidad de la situación post desastre, haciendo que el 80% del éxito de los esfuerzos dependan de la logística humanitaria [25]. Estas actividades son vitales especialmente en las primeras 72 horas posteriores al desastre natural [5].

How to cite: Daza-Moscoso, M.A., Carnero-Quispe, M.F. and Cárdenas-Medina, J.M., Localización de instalaciones en logística humanitaria: una revisión de la literatura y consideraciones para futuras investigaciones. DYNA, 91(232), pp. 172-180, April - June, 2024.

La localización de instalaciones consiste en seleccionar el lugar ideal para ubicar cierta instalación. Esta es una tarea importante en la logística humanitaria ya afecta directamente en la capacidad de respuesta a los desastres [1] y al rendimiento de las operaciones de ayuda [27]. Cumple distintas funciones en la logística humanitaria, en el nivel estratégico, se determina la localización de las instalaciones y su capacidad, en el nivel operativo, se asignan los costos ya sean logísticos o de privación [1], por lo tanto, es de suma importancia considerar en la planificación y operación de la logística humanitaria.

El ciclo de gestión de desastre comprende las fases de mitigación, preparación, respuesta y recuperación [6]. Las dos primeras fases se realizan antes del desastre con el fin de reducir posibles impactos económicos, sociales y físicos. Algunas de las operaciones que se realizan son simulacros, reposicionamiento de suministros de emergencia y la creación de leyes [10]. Las otras fases se realizan después del desastre, cuyo objetivo es disminuir el sufrimiento de las personas [5], estas operaciones incluyen la búsqueda y el transporte de equipo de rescate, personal y los materiales necesarios para la evaluación del impacto y las reparaciones [11]. El presente artículo evalúa la operación de localización de instalaciones que puede realizarse en la fase de preparación y respuesta [2].

Las instalaciones se pueden dividir en permanentes y temporales, la localización de las instalaciones temporales por lo general se realiza en fase de respuesta, después del desastre; se abren y cierran durante un periodo de tiempo. Sus principales objetivos son minimizar la distancia de desplazamiento, la demanda insatisfecha y el costo [19], mientras que las instalaciones permanentes suelen ubicarse en la etapa de preparación donde su función es poder brindar los recursos cuando ocurra el desastre, esto incluye almacenes, hospitales y cadenas de suministro [39], estas instalaciones son componentes críticos para la etapa de preparación y estas requieren una planificación a largo plazo [1].

La decisión de la localización de una instalación puede afectar al desempeño de las operaciones de socorro debido a que el número de las instalaciones y su localización afectan directamente al tiempo acción y a los costos incurridos, limitando la capacidad de respuesta [1], poniendo en peligro la seguridad del personal y de las víctimas del desastre [21]. Una localización correcta puede mejorar la eficiencia en la cadena de suministros, reducir costos, además de garantizar la cercanía a las áreas afectadas y la correcta disposición de los servicios a las personas [20].

Los principales desafíos son la existencia de la complejidad y la incertidumbre que existe para satisfacer la demanda, controlar los costos asociados a la apertura y mantenimiento de las instalaciones de manera eficiente y efectiva [1]. También existen condiciones geográficas y el tamaño de los lugares que no permiten que todos sean una opción viable para las instalaciones. Además, estas condiciones pueden afectar a la infraestructura existente como el bloqueo de carreteras y puentes que pueden limitar considerablemente el transporte hacia las áreas afectadas [42].

Mientras que las principales restricciones utilizadas para la resolución de este problema son las restricciones de capacidad, restricciones de distancia, restricciones de

demanda y restricciones de asignación. La restricción de capacidad limita la cantidad de recursos que puede tener una instalación. Las restricciones de distancia limitan la distancia entre la instalación y las víctimas de la emergencia. Las restricciones de demanda limitan la cantidad de personas que se pueden atender por cada instalación. La restricción de asignación determina dónde se pueden ubicar las instalaciones y la distribución de los recursos [33].

Para superar estos retos, se utilizan sistemas de información geográfica (SIG) que permiten identificar las áreas afectadas y posibles ubicaciones [7] además proporciona información topográfica, climática, de la infraestructura y rastrear el movimientos de los suministros y del personal, lo que puede mejorar la capacidad de respuesta, como en la investigación de Ming, J., Richard, J. P. P., & Zhu, J. (2021) [21] donde utilizaron SIG para poder reubicar estaciones de bomberos, además se considera otros factores como el tiempo de respuesta y condiciones de tráfico. Sin embargo, no todas las organizaciones disponen de acceso a tecnologías como SIG y aunque las tengan tienen que saber cómo usar esa información en entornos complejos y cambiantes [38]. También se utilizan los costos de privación, el valor económico del sufrimiento de las personas [32], si estos no se consideran correctamente no se podrá garantizar los resultados del modelo generando mayores costos, duplicación de esfuerzo y desperdicio de recursos, debido a que en muchos casos estos costos representan más del 50% de los costos totales debido al aumento del sufrimiento de las personas [5]. Esta es una de las principales diferencias con la localización de instalaciones de la logística comercial, ya que busca beneficiar a las víctimas, pero también aumenta la dificultad [42] en la formulación del proyecto y el desarrollo de métodos apropiados de optimización [5].

Así mismo, es importante utilizar algoritmos heurísticos dado que permiten tener soluciones cercanas a la óptima en un tiempo menor a algoritmos exactos [14], por lo general la mayoría de investigadores considera modelos multiobjetivo que contienen criterios monetarios y no monetarios [29].

Las funciones objetivo de los modelos incluyen costos logísticos como el transporte o apertura de la instalación, y los costos de privación. En la investigación de Loree y Aros-Vera (2018) [18] donde realizaron un modelo matemático para determinar la localización de puntos de distribución y la asignación de bienes de ayuda humanitaria se considera el costo social (costo logístico y privación) haciendo que tengan un impacto en la víctima, el valor óptimo de instalaciones y su impacto en el costo social, este modelo puede satisfacer cualquier punto de la demanda mientras tenga la capacidad disponible.

Algunos modelos como el de Nikhil Patel y Sandeep Trivedi durante la pandemia del COVID-19 [28] consideran la cantidad de población, cantidad de ubicaciones candidatas, la distancia máxima entre los pacientes y el hospital, la cantidad de pacientes y de ser necesario el cómo agruparlos para su atención, mientras que otros consideran posibles fallas en la red, eficiencia, eficacia y equidad para medir el rendimiento del sistema proporcionando soluciones equitativas y sostenibles en términos de costo, además se utilizó optimización robusta distribucional (DRO) para superar las limitaciones generadas por el método basado en

escenarios con el fin de poder tener una eficiencia computacional adecuada [16].

Cotes y Cantillo [5] propusieron un modelo de localización de instalaciones para el preposicionamiento de suministros en situaciones de desastre. El objetivo del modelo es minimizar los costos sociales globales, que incluyen tanto los costos privados (como los costos de transporte, inventario e instalaciones) como los costos de privación, también se define la cantidad de cada tipo de producto a ser almacenado para atender a las áreas afectadas por el desastre durante la respuesta inicial. El modelo se aplicó con éxito en la región Caribe colombiana, que fue afectada por el fenómeno "La Niña" en el período 2010-2011.

Mohri, Akbarzadeh y Sayed Matin [23] proponen un modelo híbrido para la ubicar instalaciones de emergencia con el objetivo de mejorar la cobertura, este modelo combina el análisis envolvente de datos (DEA) que permite identificar las instalaciones más eficientes y el problema de localización máxima de cobertura (MCLP) que determina el menor número de instalaciones para cubrir una región determinada de tal forma que maximizan la eficiencia en el servicio y la respuesta a la demanda.

Esta investigación está organizada en las siguientes partes: En la segunda parte se describirán los principales criterios que se tomaron para la realización de esta revisión de literatura. En la tercera sección se realizará una descripción de las principales consideraciones que se utilizan en la localización de instalaciones en la logística humanitaria que se encontraron. Finalmente, en la última sección están ubicadas las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

2 Metodología

Para la revisión de literatura se realizó un proceso conformado por tres fases, las cuales tienen como objetivos definir cuáles son las características principales para la revisión de los artículos como el tema principal y calidad de los artículos que se van a leer, definir las partes principales que se tienen para su selección y finalmente poder analizar y clasificar cada artículo según los parámetros que se consideraron (Fig. 1).

Fase 1: Se definen las palabras clave para la búsqueda de investigaciones que son: Facility location, Humanitarian, Disaster, Emergency.

Los artículos escogidos deben pertenecer a una revista con un SJR (SCImago Journal Rank) mayor o igual a Q2, y que no tengan una antigüedad mayor a 3 años (2020-2022), además se utilizó como principal base de datos SCOPUS y para la elección de los artículos, se utilizó la siguiente ecuación:

"TITLE-ABS-KEY ((disaster OR emergency OR humanitarian) AND "facility location") AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))".

Fase 2: Se realizó una lectura de los resúmenes y conclusiones, los cuales cumplen con los requisitos previos se aceptarán además de esos requisitos no se están considerando las investigaciones que hablan de localización

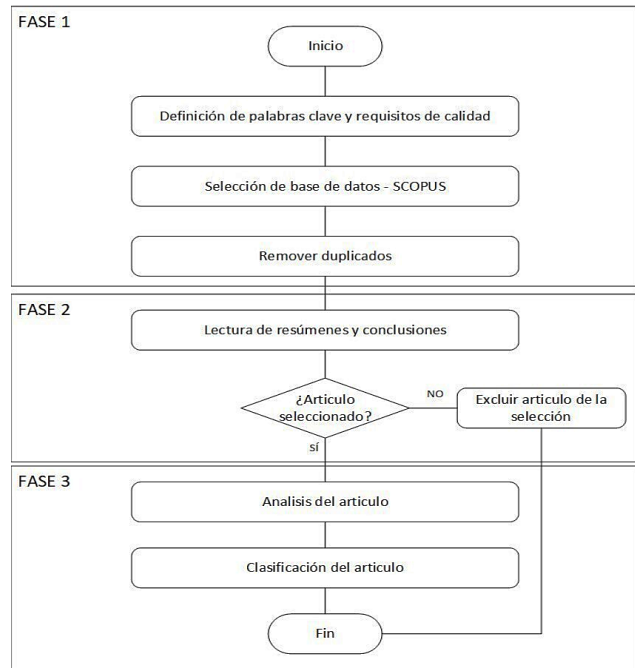


Figura 1. Flujograma de análisis de artículos.
Fuente: Elaboración propia.

de instalaciones móviles como ambulancias, drones, camiones y también la localización de objetos como sirenas o equipos médicos, debido a que requiere un tipo de tratamiento diferente para su movilización en el caso que la localización sea incorrecta a diferencia de una instalación, la cual puede permanecer en una ubicación durante un tiempo determinado o puede ser permanente lo que implica que va a estar en horizonte de tiempo prolongado y en el caso que la instalación sea localizada en un lugar incorrecto su movimiento no tiene una mayor complejidad ya que son objetos y no una instalación como tal y no dependen de variables como la demanda, aunque si pueden tener variables de cobertura. Tampoco se consideraron investigaciones que son revisiones de literatura del tema y artículos que solo hablaban exclusivamente de la instalación o se centraban en la cadena de suministro en el área del desastre, ya que estos artículos en muchos casos no proporcionaban una solución a este problema y solo describen el entorno o la instalación con sus características. También se tomó como característica importante que los artículos se hayan generado modelos matemáticos y técnicas de optimización para poder resolver el problema de localización de instalaciones, también se priorizo los artículos que sus modelos matemáticos buscan una mayor eficiencia a modelos anteriores.

Fase 3: Se realizará un análisis de cada uno de los artículos escogidos de la anterior fase para poder clasificarlos según los campos elegidos (ver Tabla 1), los cuales son:

- Temporalidad: este campo se divide en las instalaciones que son temporales y permanentes.
- Función objetivo que se divide en funciones que consideran variables clásicas y variables de privación o ambas.
- Tipo de objetivo, puede ser de un solo objetivo o multiobjetivo.
- Modelo según la certeza de los parámetros puede ser determinístico o estocástico.
- Localización se divide en predefinidos y no definidos.

Tabla 1.

Descripción general de las investigaciones sobre localización de instalaciones en la logística humanitaria de los últimos 3 años.

Referencias	Temporalidad ¹	Función Objetivo ²	Tipo de Objetivo ³	Modelo ⁴	Localización ⁵	Problema ⁶	Caso de estudio ⁷	Problema de enrutamiento	Etapa ⁸	Tipo de desastre ⁹	Tipo de instalación ¹⁰
[29]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R	x	R	FL	S
[26]	T	C&P	MT	ST	PR	FC	R		R	CE	DC
[13]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	NR	x	R	CV	DC
[31]	P	CL	MT	ST	NP	FC	R		P	FL	EC
[3]	P	C&P	MT	ST	NP	FC	R	x	P&R	EQ	DC
[32]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R		R	EQ	MC
[24]	P	C&P	MT	ST	NP	FC	R		P	ST	DC
[21]	P	C&P	MT	ST	NP	FC	R	x	P	FR	FS
[40]	P	CL	MT	ST	NP	FC	NR		R	GR	WH
[39]	P	C&P	MT	ST	NP	FC	NR		P	GR	GR
[12]	T	C&P	MT	DT	NP	FC	NR		P	GR	EC
[37]	T	DP	SN	ST	NP	UF	R		P	FL	MC
[25]	P	CL	MT	ST	NP	UF	NR		P	GR	MC
[15]	T	CL	SN	ST	NP	FC	R		P&R	CV	WH
[33]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R	x	R	EQ	MC
[7]	T	DP	SN	DT	NP	FC	R		R	EQ	MC
[14]	P	DP	MT	DT	NP	FC	NR		R	TA	TR
[20]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R		P&R	EQ	DC
[27]	T	CL	MT	ST	NP	FC	R		P	EQ	MC
[23]	P	DP	MT	ST	NP	FC	R		P	RC	MC
[36]	T	DP	MT	ST	NP	FC	R		R	CV	EC
[42]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R		P	HR	EC
[9]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R		P&R	EQ	DC
[34]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	NR	x	R	GR	GR
[30]	P	CL	MT	ST	NP	FC	R		P	HR	DC
[38]	T	C&P	MT	ST	NP	FC	R		R	FL	WH

¹: T: Temporal, P: Permanente.

²: Clásico, DP: Privación, C&P: Clásico y Privación.

³: SN: Mono objetivo, MT: Multiobjetivo.

⁴: DT: Determinista, ST: Estocástico.

⁵: NP: No Predefinido, PR: Predefinido.

⁶: UF: Capacidad ilimitada, FC: Capacidad fija.

⁷: R: Real, NR: No Real.

⁸: R: Respuesta, P: Preparación, R&P: Respuesta y Preparación.

⁹: COVID-19, CE: Ciclón, EQ: Terremoto, FR: Incendio, FL: Inundación, GR: General, HR: Huracán, RC: Choques de carretera, ST: Tormenta, TA: Ataque terrorista.

¹⁰: S: Refugio, DC: Centro de distribución, EC: Centro de emergencia, MC: Centros médicos, GR: General, WH: Almacén, FS: Estación de bomberos, TR: Instalación de respuesta a terroristas.

Fuente: Elaboración propia.

- Problema considera capacidad ilimitada o una capacidad limitada de las instalaciones.
- Etapa, se identifican a cuál etapa del manejo de desastres pertenece la investigación, ya sea en la etapa de preparación (pre desastre) o respuesta (post desastre).
- La investigación considera el problema de enrutamiento.
- La investigación utiliza un caso real o no.
- Tipo desastre que considera el artículo.
- Tipo de instalación se va a instalar

3 Análisis y discusión

Se puede observar que en los últimos 10 años las investigaciones sobre localización de instalaciones en la logística humanitaria han ido creciendo como se refleja en la Fig. 2, de la misma forma el 81% de las investigaciones pertenecen a revistas con un nivel Q1 (Fig. 3), siendo las principales revistas Computers and Industrial Engineering, International Journal of Disaster Risk Reduction, Socio-Economic Planning Sciences y Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (ver Tabla 2).

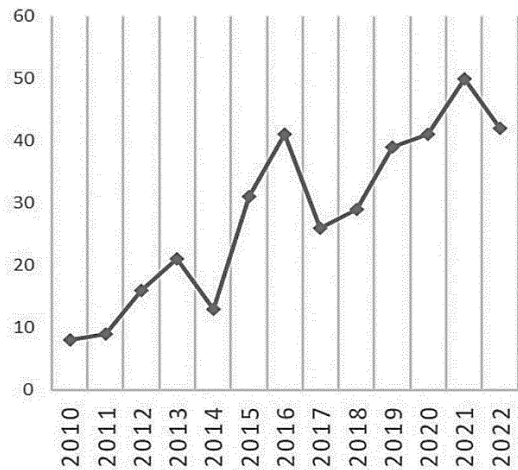


Figura 2. Línea de tendencia de las investigaciones sobre localización de instalaciones en la logística humanitaria.

Fuente: Elaboración propia.

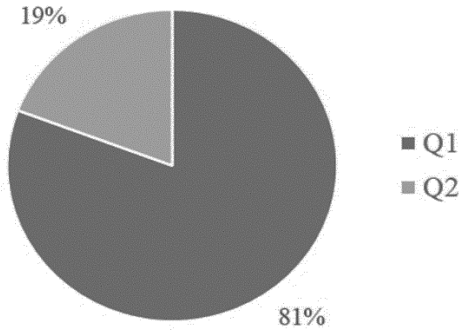


Figura 3. Calificación de las revistas en SCImago.
Fuente: Elaboración propia.

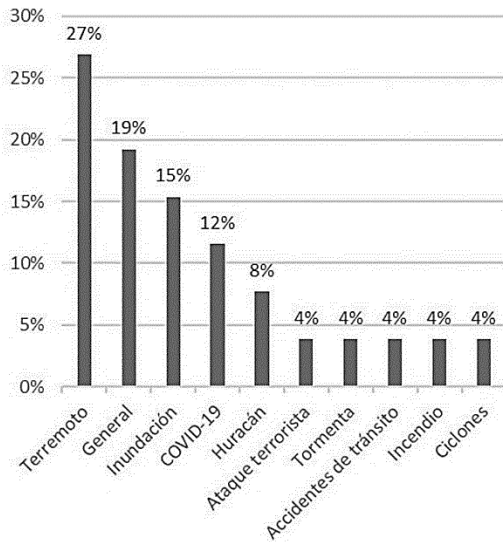


Figura 4. Tipos de desastre.
Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 4 se muestra que la mayoría de los artículos se centra en desastres naturales (74%), entre los cuales están terremotos, inundaciones, tormentas y huracanes, con una menor cantidad están la pandemia, incendios, ataques terroristas y accidentes de tránsito, mientras que las investigaciones sobre desastres genéricos o que no los mencionan son muy escasos (19%). Las investigaciones se están centrando en desastres de inicio rápido como lo pueden ser los terremotos, huracanes e inundaciones siendo el 62% de los artículos. Estas tendencias son debido a que los modelos actuales quieren hacer frente a los desastres naturales que como principal característica que son el tiempo de acción es corto, dentro de las primeras 24 horas [1] donde se busca reducir la pérdida de vidas y de los bienes [37], condiciones para tomar una acción de tiempo real aumentan la dificultad debido a la poca disponibilidad de información

y aumentaría el tiempo de solución del problema. Esto hace que las palabras “caso de estudio” sea muy comunes y se tomen en cuenta para la consideración de modelos ya que se prueba su validez con información de pasados desastres.

Tabla 2.

Fuentes a la que pertenecen las investigaciones analizadas

Revista	Cantidad
Computers and Industrial Engineering	3
International Journal of Disaster Risk Reduction	3
Socio-Economic Planning Sciences	2
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	2
Decision Analytics Journal	1
European Journal of Operational Research	1
Health Care Management Science	1
IEEE Access	1
International Journal of Sustainable Transportation	1
International Transactions in Operational Research	1
Mathematical Problems in Engineering	1
Mathematics	1
Natural Hazards	1
Natural Hazards and Earth System Sciences	1
Safety Science	1
Science Progress	1
Sustainability	1
The Asian Journal of Shipping and Logistics	1
Transportation Research Part B: Methodological	1
Transportation Research Part C: Emerging Technologies	1

Fuente: Elaboración propia.

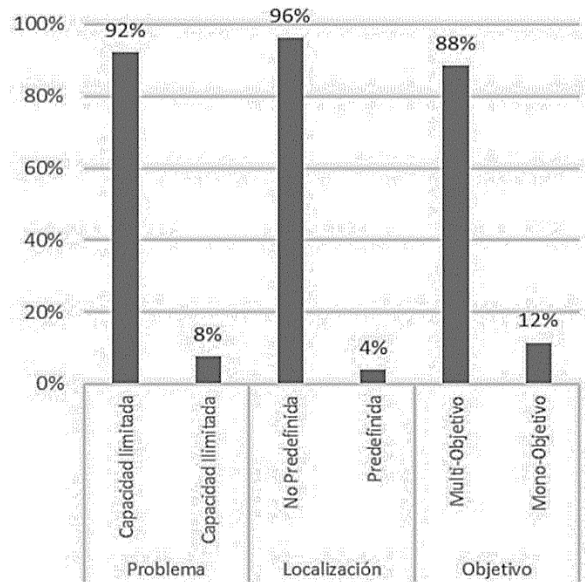


Figura 5. Tipos de modelos según el problema, localización y objetivo.
Fuente: Elaboración propia.

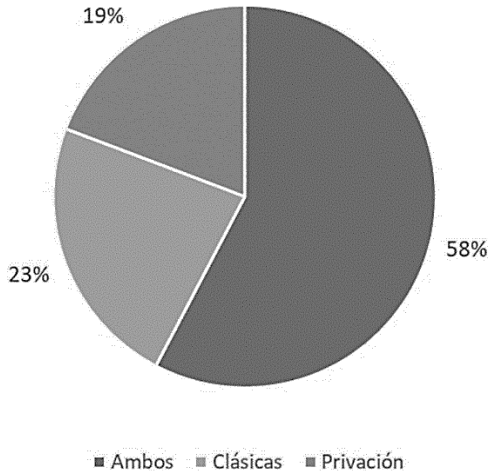


Figura 6. Tipos de variables.
Fuente: Elaboración propia

En los últimos años las investigaciones sobre la localización de instalaciones en la logística humanitaria hacen uso de modelos que contemplan la incertidumbre y la variabilidad de escenarios (Fig. 5) ya sea considerando las diferentes localizaciones de áreas afectadas [31], diferente cantidad de demandas por zonas [3] o zonas más afectadas por un desastre [29] o limitaciones en la capacidad de las instalaciones (Fig. 5), esto se debe a que en la actualidad se busca poder hacer frente a situaciones reales donde datos como la demanda o áreas afectadas no se conocen de antemano, un claro ejemplo de esto es el uso de modelos multiobjetivo antes que los modelos con un solo objetivo como se muestra en la Fig. 5, los cuales en su mayoría consideran la minimización de los costos totales que incluyen costos de apertura de la facilidad, costos de suministro, costo de transporte, entre otros costos que también se utilizan dentro de la logística comercial.

Un ejemplo de esto es la primera función objetivo de la investigación de Praneetpholkrang et al. (2021) [29] tiene como objetivo minimizar el costo total de abrir y operar refugios durante un desastre. Este costo total se compone de tres términos: el costo fijo para abrir los refugios, el costo de transporte para evacuar a las víctimas desde la zona afectada al refugio seleccionado y el costo del servicio, que se refiere al personal necesario para trabajar en los refugios durante el desastre (Eq. 1).

$$\text{Min } f_1 = \sum_{j \in J} X_j f_j + \alpha \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} d Y_{ij} h_i + \beta T \sum_{i \in I} \frac{Z_{ij}}{\gamma} \quad (1)$$

Otro ejemplo es el artículo de H. Sun et al. (2021) [33] es la función objetivo que busca minimizar la suma de índice de severidad de la lesión (ISS) de todas las víctimas, incluyendo la penalización de las víctimas leves y graves que no han sido trasladadas, a eso se añade la minimización del costo total que incluye la falta de suministros médicos, costo de construcción de instalaciones temporales, costo de compra de

suministros médicos, costo de transporte y contratación de vehículos (Eq. 2).

$$\text{min} Z_1 = F^l + F^s + \sum_{i \in I} p^l U_i^l + \sum_{j \in J} p^s U_j^s \quad (2)$$

Como se puede ver en estos dos ejemplos, las funciones objetivo en su mayoría incluyen variables clásicas de funciones objetivo utilizadas en la logística comercial como el costo de apertura de la instalación y a estos costos se están comenzando a considerarse los costos de privación (Fig. 6) que en su mayoría son costos por penalidades ocasionadas por la demanda no satisfecha o costos relacionados con el no bienestar de las personas afectadas y costos de servicio o cobertura, siendo estos de suma importancia porque en una situación de desastre buscan aliviar el sufrimiento de las personas [3] y de no considerarlos podrían ocasionar situaciones muy graves como la pérdida de vidas [5], mientras que las otras funciones objetivos consideran sobre todo maximizar o minimizar variables no monetarias como la cobertura [23], bienestar [3], demanda servida [21] o el tiempo de evacuación [29].

De la misma forma se observa un mayor uso de modelos estocásticos (Fig. 7) en los cuales se considera la incertidumbre la cual está presente en una situación de un desastre real. la mayoría de las investigaciones las localizaciones en su mayoría no están predefinidas y estas se pueden clasificar según las localizaciones candidatas que pueden ser en cada punto de los nodos o en lugares como parques, colegios o terrenos disponibles, en el caso de los modelos que consideran ubicaciones predefinidas hacen uso de expertos para definir de antemano la localización de las instalaciones [26], también consideran la falta de información.

Los principales tipos de instalaciones utilizados en la logística humanitaria son centros de distribución, centros médicos, almacenes y refugios, siendo los principales los centros médicos y centros de distribución (ver Fig. 8).

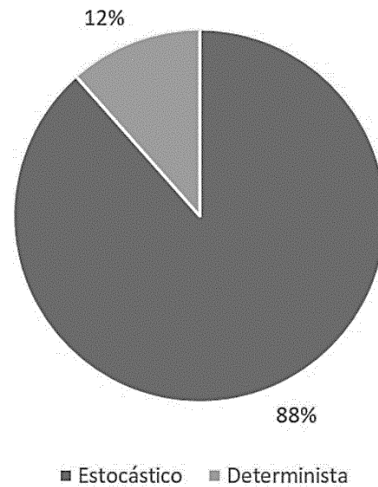


Figura 7. Tipo de modelo.
Fuente: Elaboración propia.

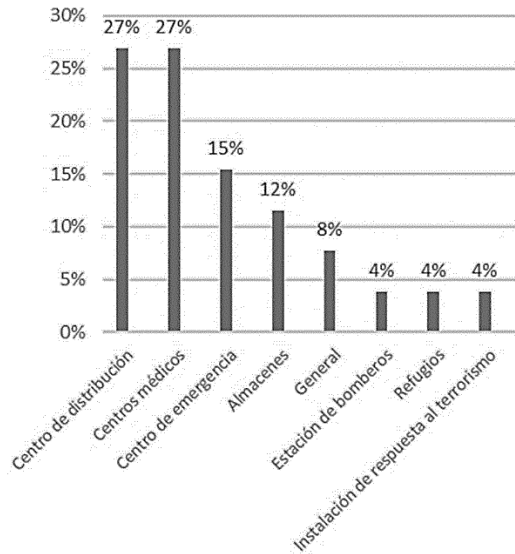


Figura 8. Tipos de localización.
Fuente: Elaboración propia.

Los refugios tienen como principal objetivo reducir el transporte de las víctimas desde la zona del desastre hasta el refugio y servir a la mayor cantidad de víctimas, por lo general se considera que los refugios son temporales y se apertura en la etapa de respuesta, otra consideración son que no siempre el refugio más cercano a la zona de desastre es el más seguro [29]. De la misma forma los centros de distribución buscan reducir el costo de transporte entre los centros de distribución y las personas, para este caso se tienen que determinar la cantidad de bienes que debe de tener cada instalación y su distribución equitativa para todos los afectados, buscando siempre el mayor nivel de satisfacción de las personas. Finalmente, los centros médicos surgen como respuesta a que la capacidad de los hospitales en un desastre no es suficiente [23], por lo cual considerar el transporte o la cercanía de la instalación hacia las víctimas, otro factor sería la condición de las víctimas, cada uno tendrá un diferente grado de severidad unas necesitan una atención más rápida que otros [31].

Entre las principales palabras clave que se encontraron en la revisión fueron “caso de estudio”, aplicación, tomador de decisiones, servicio, incertidumbre, personas, riesgo, entre otros términos relacionados con la eficiencia y efectividad, lo que demuestra que los artículos se están enfocando en realizar modelos que se puedan aplicar al mundo real donde la falta de información crea incertidumbre y se busca poder reducir el sufrimiento de las personas asegurando la eficiencia en las operaciones.

4 Conclusiones

4.1 Resumen

Es necesario reconocer la importancia que tiene la localización de instalaciones en situación de emergencia, ya que sin una correcta localización puede generar problemas como retrasos en la entrega, costos más elevados, problemas

de seguridad y dificultades en la coordinación. Además, debido a la frecuencia de los desastres naturales y emergencias, es importante encontrar una forma eficiente y efectiva la localización de las instalaciones en estos escenarios.

En los últimos años, la investigación sobre la localización de instalaciones en la logística humanitaria es un tema que está cobrando mucho interés, esto se muestra en una mayor cantidad de artículos pertenecientes a revistas con calidad Q1 y el constante esfuerzo por generar modelos que puedan funcionar en condiciones reales donde la información antes y después del desastre es incierta y el tiempo de acción es corto haciendo que se consideren los desastres naturales que ocurrieron como principal fuente de información para los casos de estudio de los artículos, estos artículos se suelen centrarse en la etapa de respuesta a las emergencias, por lo cual utilizan modelos estocásticos con los cuales ayudan a optimizar las decisiones de localización y distribución, donde la localización de las instalaciones no está predefinidas, también hacen uso de funciones multiobjetivo para poder resolver este problema que no solo buscan reducir el costo de apertura o transporte que es común en la logística comercial, además buscan maximizar eficiencia o minimizar el tiempo de respuesta, además en las funciones objetivo se prioriza incluir variables de privación como la demanda satisfecha o la cobertura, estas variables tienen que ser consideradas porque sin ellas no se puede asegurar completamente que se estén reduciendo el sufrimiento de las víctimas y estas en muchos casos sino se consideran pueden generar costos adicionales y posiblemente la pérdida de vidas.

4.2 Consideraciones para futuras investigaciones

- Problema de enrutamiento

Uno de los principales vacíos en las investigaciones es el poco uso de las restricciones en el transporte, esto se puede observar en la Tabla 1, donde los artículos que hacen mención del problema de enrutamiento son menos de la mitad, este factor es muy importante sobre todo en la distribución y localización de las instalaciones debido a que los desastres naturales no solo afectan a los nodos también pueden afectar a las calles algo que es muy común cuando ocurre un desastre [40] o una zona entera, lo cual puede imposibilitar la apertura de las instalaciones debido a la interrupción de servicios esenciales como luz y agua ya que estas fallas van más allá de las fallas de las instalaciones y puede ocasionar el cierre de estas [32], un ejemplo de esto son las réplicas de los terremotos, las cuales pueden afectar a instalaciones ya desplegadas [9].

Al existir una gran variedad de desastres y peligros es necesario saber dónde se va a ubicar una instalación considerando las condiciones geográficas que condicionan la elección de posibles localizaciones y su relación con la eficiencia en la respuesta a la emergencia [37]. Otro factor para considerar es la fuente de los suministros para la facilidad, esta puede tener una o varias como lo pueden ser varias tiendas para un centro de distribución o un solo almacén de emergencia, ocurre una situación similar a la distribución, las dificultades geográficas o interrupciones en las vías pueden dificultar que la instalación pueda ser suministrada con los materiales necesarios.

- **Modelos Robustos**

La utilización de modelos estocásticos se ha vuelto casi un estándar para los últimas investigaciones sobre localización de instalaciones en la logística humanitaria debido a que la demanda no está determinada en el mundo real cuando ocurre un desastre y que la demanda no sea conocida afecta a la localización de las instalaciones y al servicio, convirtiendo a los modelos estocásticos en una de las principales herramientas para resolver este tipo de problemas, sin embargo, no todos los desastres naturales ocurren en zonas pequeñas y muchos de estos problemas manejan una gran cantidad de incertidumbre por lo cual muchas veces hay factores que no se consideran, con el fin de poder capturar factores aleatorios se están comenzando a utilizar modelos robustos, debido a que estos modelos pueden hacer frente a la cantidad limitada de información y a las nuevas condiciones o restricciones.

- **Instalaciones temporales**

Varias de las investigaciones no consideran la temporalidad o no la mencionan directamente, en muchos casos se asume que las instalaciones que se realizan en la etapa de respuesta son temporales mientras los ubicados en la etapa de preparación son permanentes, para la correcta definición del problema es necesario definir qué tipo de temporalidad tendrá la facilidad debido a su relación con otras variables como el tiempo de respuesta que es diferente para cada tipo de facilidad, las instalaciones temporales tienen un tiempo de permanencia en un lugar determinado mientras que las instalaciones permanentes tienen que cumplir funciones específicas en el largo plazo, esto también determina algunas características como el tiempo de instalación, la cobertura y las funciones que pueden cumplir.

- **Un solo tipo de facilidad**

La mayoría de investigaciones sólo considera un solo tamaño de las instalaciones, en la mayoría de casos la instalación solo depende de la cantidad de recursos que debe de tener y la cobertura que tiene para poder satisfacer su demanda, sin embargo, en una situación real no siempre las instalaciones son de un solo tamaño, esto depende mucho de donde se va a construir la instalación, no es lo mismo construir en una calle que en un colegio o un parque, y que demanda debe cubrir, esto se traduce en los costos totales y el recursos necesarios para su funcionamiento como el tiempo de respuesta o los suministros.

Reconocimiento

Esta investigación forma parte Hito 1 del proyecto "Modelo matemático para la localización de puntos de entrega temporales de bienes de ayuda humanitaria en caso de sismo de gran magnitud para el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa" UCSP-2022-25Años-P36.

Referencias

[1] Balcik, B., and Beamon, B.M., Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), pp. 101-121, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/13675560701561789>.
 [2] Boonmee, C., Arimura, M., and Asada, T., Facility location

optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, pp. 485-498, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.01.017>.
 [3] Boostani, A., Jolai, F., and Bozorgi-Amiri, A., Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre- and postdisaster management. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(8), pp. 604-620, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975>.
 [4] Bozorgi-Amiri, A., and Khorsi, M., A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), pp. 1633-1648, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7923-3>.
 [5] Cotes, N., and Cantillo, V., Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65, pp. 89-100, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>.
 [6] Cozzolino, A., Humanitarian logistics and supply chain management. *Humanitarian Logistics. Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management*. SpringerBriefs in Business, Ed., 2012, pp. 5-16. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-30186-5_2.
 [7] Gulzari, A., and Tarakci, H., A healthcare location-allocation model with an application of telemedicine for an earthquake response phase. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, art. 102100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102100>.
 [8] Gutjahr, W.J., and Fischer, S., Equity and deprivation costs in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 270(1), pp. 185-197, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.03.019>.
 [9] Haeri, A., Hosseini-Motlagh, S.M., Samani, M.R.G., and Rezaei, M., A bi-level programming approach for improving relief logistics operations: a real case in Kermanshah earthquake. *Computers & Industrial Engineering*, 145, art. 106532, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106532>.
 [10] Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L.N., Pérez, N. and Wachtendorf, T., On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7-8), pp. 494-506, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>.
 [11] Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L.N. and Aros-Vera, F., On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), pp. 262-280, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.06.002>.
 [12] Jiang, Z., and Ouyang, Y., Reliable location of first responder stations for cooperative response to disasters. *Transportation Research Part B: Methodological*, 149, pp. 20-32, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.04.004>.
 [13] Khodaei, V., Kayvanfar, V., and Haji, A., A humanitarian cold supply chain distribution model with equity consideration: the case of COVID-19 vaccine distribution in the European Union. *Decision Analytics Journal*, 4, art. 100126, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100126>.
 [14] Li, Q., Li, M., Gan, J., and Guo, C., A game-theoretic approach for the location of terror response facilities with both disruption risk and hidden information. *International Transactions in Operational Research*, 28(4), pp. 1864-1889, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/itor.12900>.
 [15] Liu, K., Liu, C., Xiang, X., and Tian, Z., Testing facility location and dynamic capacity planning for pandemics with demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 304(1), pp. 150-168, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.11.028>.
 [16] Liu, K., Zhang, H., and Zhang, Z.H., The efficiency, equity and effectiveness of location strategies in humanitarian logistics: a robust chance-constrained approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, art. 102521, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102521>.
 [17] Liu, Y., Yuan, Y., Shen, J. and Gao, W., Emergency response facility location in transportation networks: a literature review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 8(2), pp. 153-169, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.001>.
 [18] Oree, N., and Aros-Vera, F., Points of distribution location and inventory management model for post-disaster humanitarian logistics.

- Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 116, pp. 1-24, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.05.003>.
- [19] Maharjan, R., and Hanaoka, S., 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), pp. 2-21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/jhlscm-08-2017-0040>.
- [20] Maharjan, R., and Hanaoka, S., A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 70, art. 100727, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.07.003>.
- [21] Ming, J., Richard, J.P.P., and Zhu, J., A facility location and allocation model for cooperative fire services. *IEEE Access*, 9, pp. 90908-90918, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3091481>.
- [22] Mishra, M., Singh, S.P., and Gupta, M.P., Two phase algorithm for bi-objective relief distribution location problem. *Annals of Operations Research*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04751-y>.
- [23] Mohri, S.S., Akbarzadeh, M., and Sayed-Matin, S.H., A Hybrid model for locating new emergency facilities to improve the coverage of the road crashes. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, art. 100683, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.01.005>.
- [24] Monzón, J., Liberatore, F., and Vitoriano, B., A Mathematical Pre-Disaster Model with Uncertainty and Multiple Criteria for Facility Location and Network Fortification. *Mathematics*, 8(4), art. 529, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8040529>.
- [25] Mousavi, H., Darestani, S.A., and Azimi, P., An artificial neural network based mathematical model for a stochastic health care facility location problem. *Health Care Management Science*, 24(3), pp. 499-514, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10729-020-09533-1>.
- [26] Nawazish, M., Padhi, S.S., and Edwin-Cheng, T., Stratified delivery aid plans for humanitarian aid distribution centre selection. *Computers & Industrial Engineering*, 171, art. 108451, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108451>.
- [27] Oksuz, M.K., and Satoglu, S.I., A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, art. 101426, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101426>.
- [28] Patel, N., and Trivedi, S., Choosing optimal locations for temporary health care facilities during health crisis using binary integer programming. *Sage Science Review of Applied Machine Learning*, [online]. 3(2), pp. 1-20, 2020. Available at: <https://journals.sagescience.org/index.php/ssraml/article/view/7>.
- [29] Praneetpholkrang, P., Huynh, V.N., and Kanjanawattana, S., A multi-objective optimization model for shelter location-allocation in response to humanitarian relief logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37(2), pp. 149-156, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.01.003>.
- [30] Shehadeh, K.S., and Tucker, E.L., Stochastic optimization models for location and inventory prepositioning of disaster relief supplies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 144, art. 103871, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103871>.
- [31] Shu, J., Lv, W., and Na, Q., Humanitarian relief supply network design: expander graph based approach and a case study of 2013 Flood in Northeast China. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 146, art. 102178, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102178>.
- [32] Sun, H., Li, J., Wang, T., and Xue, Y., A novel scenario-based robust bi-objective optimization model for humanitarian logistics network under risk of disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, art. 102578, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102578>.
- [33] Sun, H., Wang, Y., and Xue, Y., A bi-objective robust optimization model for disaster response planning under uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, 155, art. 107213, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107213>.
- [34] Sun, Q., and Liu, S., Locating abrupt disaster emergency logistics centres using improved artificial bee colony (IABC) algorithm. *Science Progress*, 104(2), art. 003685042110162, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/00368504211016205>.
- [35] Tofighi, S., Torabi, S., and Mansouri, S., Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250(1), pp. 239-250, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.059>.
- [36] Wang, H., and Ma, X., Research on multiobjective location of urban emergency logistics under major emergencies. *Mathematical Problems in Engineering*, art. 5577797, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5577797>.
- [37] Yang, Y., Yin, J., Ye, M., She, D., and Yu, J., Multi-coverage optimal location model for emergency medical service (EMS) facilities under various disaster scenarios: a case study of urban fluvial floods in the Minhang district of Shanghai, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(1), pp. 181-195, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-181-2020>.
- [38] Yeh, C.H., and Chen, Y.R., Location model analysis of flood relief facilities: a case study of the Fazih River floodplain, Taiwan. *Natural Hazards*, 103(1), pp. 317-327, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03989-8>.
- [39] Yu, W., Reachability guarantee-based model for pre-positioning of emergency facilities under uncertain disaster damages. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42, art. 101335, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101335>.
- [40] Yu, W., Pre-disaster location and storage model for emergency commodities considering both randomness and uncertainty. *Safety Science*, 141, art. 105330, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105330>.
- [41] Dönmez, Z., Kara, B.Y., Karsu, Z., and Saldanha-da-Gama, F., Humanitarian facility location under uncertainty: Critical review and future prospects. *Omega*, 102, art. 102393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102393>.
- [42] Zhang, L., and Cui, N., Pre-positioning facility location and resource allocation in humanitarian relief operations considering deprivation costs. *Sustainability*, 13(8), art. 4141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084141>.

M.A. Daza-Moscoso, es Ing. Industrial de la Universidad Católica San Pablo, Perú.
ORCID: 0000-0003-4720-8311

J.M. Cárdenas Medina, es Dr. en Ingeniería de Producción con énfasis en Gestión de Tecnologías de la Información por la Escola Politécnica de la Universidad de São Paulo, Brasil. Ing. Industrial de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. MSc. en Integración Latinoamericana (Relaciones Internacionales) de la Universidad de São Paulo, Brasil. Director de la carrera de Ingeniería Industrial de EPE de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
ORCID: 0000-0002-2801-3546

M.F. Carnero-Quispe, es Ing. Industrial de la Universidad Católica San Pablo, Perú.
ORCID: 0000-0002-8123-8218