

Identificación de sitios favorables para el emplazamiento de albergues temporales ante el impacto de huracanes de gran intensidad en La Habana, Cuba

MSc. Jorge Olivera Acosta^{1*}, MSc. Roberto Pérez de los Reyes², Sonia Karakadze Díaz², Liliana Pino Carballido³, MSc. Sergio Luis Lorenzo Sánchez¹, Lic. Leyani Izquierdo Barrera¹

¹Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), Citma. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, Reparto La Coronela, Municipio La Lisa, La Habana, Cuba.

²Organización Internacional para las Migraciones (OIM), La Habana, Cuba.

³Equipo Técnico de Emergencia de las Naciones Unidas (UNETE), La Habana, Cuba

*Autor para correspondencia: yoyiga2010@gmail.com

Resumen

Introducción: En Cuba, a pesar de los avances en protección ante eventos extremos, no existe un enfoque integral para evaluar sitios de albergues temporales mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). **Objetivo:** Establecer una metodología de soporte de decisión espacial, basada en SIG y álgebra binaria de exclusión absoluta, para identificar sitios favorables de albergues temporales en La Habana ante huracanes de gran intensidad. **Materiales y métodos:** Se diseñó un flujo secuencial de tres fases: (I) filtro binario de exclusión por peligrosidad y restricciones legales; (II) validación cualitativa de accesibilidad; (III) evaluación de infraestructuras críticas. El procesamiento de datos y el análisis de la información espacial se ejecutó en SAGA GIS. **Resultados:** Se identificaron 90,4 km² (12,4 % del territorio) con favorabilidad adecuada, libres de inundabilidad peligrosa, exposición eólica extrema, procesos cársticos y pendientes > 6 %. **Conclusiones:** El sistema de filtros secuenciales de exclusión absoluta constituye una herramienta reproducible y epistemológicamente robusta para la planificación predesastre, donde las restricciones operan como vetos no ponderables.

Palabras claves: *albergues temporales; gestión del riesgo de desastres; álgebra de mapas; filtros de exclusión binarios; Sistemas de Información Geográfica.*

Identification of favorable sites for emergency temporary shelter placement against high-intensity hurricane impact in Havana, Cuba

Abstract

Introduction: In Cuba, despite advances in protection against extreme events, a comprehensive approach to evaluate temporary shelter sites using Geographic Information Systems (GIS) is lacking. **Objective:** To establish a spatial decision-support methodology, based on GIS and absolute binary exclusion algebra, for identifying favorable temporary shelter sites in Havana against high-intensity hurricanes. **Materials and methods:** A sequential three-phase workflow was designed: (I) binary exclusion filter by hazard and legal restrictions; (II) qualitative validation of accessibility; (III) evaluation of critical infrastructures. Data processing and spatial data analysis were performed using SAGA GIS. **Results:** 90.4 km² (12.4% of the territory) were identified with adequate favorability, free from dangerous inundation, extreme wind exposure, active karst processes, and slopes > 6%. **Conclusions:** The sequential absolute exclusion filter system constitutes a reproducible and epistemologically robust tool for pre-disaster planning, where restrictions operate as non-weighable vetoes.

Keywords: *temporary shelters; disaster risk management; map algebra; binary exclusion filters; Geographic Information Systems.*

1. Introducción

La planificación y emplazamiento de albergues de emergencia pre-desastre es una medida fundamental para mitigar los impactos de eventos extremos. En territorios insulares como Cuba, altamente expuestos a ciclones tropicales, la localización inadecuada de estos asentamientos no solo compromete la seguridad de las poblaciones evacuadas, sino que puede generar efectos de segundo orden que agravan la vulnerabilidad preexistente. La ciudad de La Habana, con su alta densidad poblacional, infraestructura envejecida y compleja geomorfología, presenta una vulnerabilidad crítica ante huracanes de categorías 4 y 5.

A pesar de esta urgencia, en Cuba persiste un vacío metodológico significativo. La planificación de albergues ha dependido de criterios empíricos y decisiones administrativas reactivas, sin integrar análisis espaciales que articulen simultáneamente estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR), criterios geomorfológicos, normativas legales y evaluación de infraestructuras críticas. Los estudios de peligro existentes operan de forma dispersa y no se han operacionalizado en productos cartográficos de decisión. Además, la omisión de restricciones legales y ambientales en la selección de sitios puede resultar en la ocupación de terrenos jurídica o ambientalmente inviables.

Esta ausencia de conocimiento metodológico integrado genera múltiples deficiencias operativas. En primer lugar, los estudios de PVR desarrollados en Cuba, aunque avanzados en la caracterización de amenazas naturales, no han sido operacionalizados para la planificación específica de albergues temporales, permaneciendo como documentos técnicos de consulta sin traducción a productos cartográficos de decisión (PNUD, s. f.). Los estudios de peligro por inundaciones, fuertes vientos, hundimientos cársticos y amenazas de origen tecnológico existen de manera dispersa en diferentes instituciones (Instituto de Meteorología, Instituto de Geofísica y Astronomía, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos), pero no han sido integrados en una base cartográfica unificada que permita su superposición y análisis combinatorio para la selección de sitios con favorabilidad adecuada.

En segundo lugar, los criterios geomorfológicos y geológicos fundamentales para la estabilidad de emplazamientos temporales (pendiente del terreno, tipo de roca de subsuelo, presencia de formas cársticas, capacidad de drenaje natural) no son evaluados de manera sistemática en los procesos de selección de sitios.

La experiencia internacional reciente ha demostrado que la omisión de estos factores puede resultar en la ubicación de albergues en zonas de inestabilidad de laderas, áreas de hundimiento por carso o terrenos con pendientes que comprometen el drenaje sanitario, generando riesgos secundarios que afectan la salud y seguridad de las poblaciones evacuadas (Bilasco et al., 2025).

En tercer lugar, no existe una total correspondencia con los instrumentos legales y normativos de planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres. Normas como la NC 23:1999. Protección de embalses y cauces fluviales, (Norma NC 23:1999; Oficina Nacional de Normalización, 1999), el Decreto-Ley 77/2023. Zona costera (Decreto-Ley 77/2023; Consejo de Estado, 2023), las concesiones mineras, las áreas protegidas y las zonas de protección sanitaria de pozos de abasto, establecen restricciones de uso del suelo que deberían ser consideradas de manera obligatoria en la selección de sitios para albergues. Sin embargo, en la práctica operativa estas normativas no son integradas en los procesos de decisión de emplazamiento, lo que puede resultar en la ocupación de zonas legalmente restringidas o ambientalmente frágiles.

En cuarto lugar, la evaluación de infraestructuras críticas (sistemas de suministro de energía eléctrica, agua potable, saneamiento, comunicaciones, transporte y salud, asentamientos urbanos de acogida) no se realiza de manera espacialmente explícita ni vinculada a la ubicación de los albergues. La ausencia de una base de datos georreferenciada de infraestructuras críticas en formato SIG impide evaluar la dependencia funcional de los albergues respecto a servicios esenciales, la identificación de rutas de evacuación óptimas y la planificación de contingencias ante la falla de infraestructuras durante el impacto del evento (Pederson et al., 2006).

Finalmente, la literatura científica internacional reciente ha consolidado metodologías de selección de sitios para albergues que integran Sistemas de Información Geográfica con técnicas de decisión multicriterio (MCDM), tales como Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Técnica de Preferencia de Orden por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS), Fuzzy AHP y análisis de redes (Nayyeri et al., 2024; Çetinkaya et al., 2021; Jiao y Feng, 2024; Bilasco et al., 2025). Estas metodologías han sido aplicadas exitosamente en contextos de terremotos (Irán, China, Siria), tormentas severas (Rumania) y huracanes (Sint Maarten, Estados Unidos, Hawái), demostrando su eficacia para sistematizar la complejidad de la decisión y reducir la subjetividad en la selección de emplazamientos.

Sin embargo, en Cuba estas metodologías no han sido adaptadas ni implementadas, generando un vacío de conocimiento técnico que limita severamente la capacidad de respuesta ante eventos de gran magnitud. Es pertinente señalar que dichas metodologías MCDM operan principalmente sobre criterios de preferencia relativa (soft constraints), donde la agregación ponderada es epistemológicamente apropiada. No obstante, cuando las restricciones son de carácter absoluto (como la presencia de carso activo, la inundabilidad peligrosa o la prohibición legal) la lógica booleana de exclusión resulta metodológicamente más robusta, ya que evita que una ponderación residual asigne idoneidad parcial a un sitio física o jurídicamente inviable (Malczewski, 2006; Eastman et al., 1995).

Desde una perspectiva de análisis de frecuencia, el periodo de retorno de un huracán de categoría 4 en la región occidental de Cuba se estima históricamente en aproximadamente 80 años (Emanuel, 2005; Pielke et al., 2008). Han transcurrido más de 100 años desde el evento de 1926 sin que La Habana haya experimentado un impacto directo de magnitud comparable. Esta anomalía temporal no implica una reducción del riesgo, sino que refleja la variabilidad inherente de los procesos estocásticos climáticos. Desde el marco probabilístico, la no-ocurrencia de un evento extremo durante un intervalo superior al periodo de retorno esperado aumenta la incertidumbre asociada a la estimación empírica, pero no constituye evidencia de que el evento deba ocurrir en el corto plazo (Coles, 2001). No obstante, la exposición acumulada durante este intervalo prolongado (expansión urbana costera, deterioro estructural de las edificaciones y crecimiento poblacional) sí incrementa el riesgo prospectivo, definido como la combinación de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición (IPCC, 2012).

La justificación de este trabajo radica en la necesidad imperante de contar con una base cartográfica actualizada y una metodología sistematizada que permita identificar sitios con favorabilidad adecuada para la construcción de albergues temporales. La integración de tecnologías SIG con criterios técnicos rigurosos y normativas nacionales e internacionales es esencial para optimizar la respuesta humanitaria y salvar vidas.

El objetivo de este estudio es establecer una metodología de soporte de decisión espacial, basada en SIG y álgebra binaria de exclusión absoluta, para la identificación de sitios favorables de albergues temporales en La Habana ante huracanes de gran intensidad, integrando estudios de peligrosidad natural, geomorfología, normativa legal e infraestructura crítica.

2. Marco Teórico

2.1. Criterios técnicos y estándares internacionales

La selección de sitios para albergues de emergencia requiere la evaluación de múltiples dimensiones. La literatura reciente jerarquiza estos criterios en: terrenos con condiciones favorables (topografía, geología, pendiente), infraestructura eléctrica, sistemas de higiene y saneamiento, seguridad frente a amenazas naturales y tecnológicas, y capacidad de transporte y proximidad a asentamientos.

Criterios técnicos para la selección de sitios

La investigación reciente en planificación de albergues de emergencia ha consolidado un conjunto de criterios jerarquizados que pueden clasificarse en seis dimensiones principales. La dimensión de favorabilidad del terreno (C1) incluye topografía, pendiente, geología, tipo de suelo, densidad poblacional y el uso del terreno. La pendiente óptima para drenaje superficial se sitúa entre 1 % y 5 %, evitando acumulaciones de agua sin comprometer la estabilidad estructural (OIM, 2012). Los suelos deben presentar adecuada capacidad de absorción, especialmente para el funcionamiento de sistemas de saneamiento, privilegiándose los substratos terrígenos de composición arcillosa sobre las formaciones carbonatadas propensas a procesos cársticos.

La infraestructura eléctrica (C2) constituye un factor determinante para iluminación, cocción, comunicaciones y atención médica, siendo directamente proporcional a la sostenibilidad operativa del albergue. El sistema de higiene y saneamiento (C3) presenta el mayor peso de importancia relativa dentro de su categoría, siendo esencial para la protección de la salud pública y el medio ambiente, particularmente en contextos de alta densidad poblacional temporal. La seguridad y protección (C4) comprende la aleatoriedad frente a deslizamientos e inundaciones, sistemas de alerta temprana, acceso a medios de vida y seguridad contra incendios, exigiendo el distanciamiento de zonas de peligro geológico e hidrológico, así como de instalaciones de riesgo tecnológico (Amini et al., 2022).

La capacidad de transporte y distribución (C5) y la proximidad (C6) completan el esquema jerárquico. La proximidad a asentamientos (accesibilidad) y a vías principales constituye el factor de mayor peso global en la jerarquización de sitios, dado que determina la capacidad de respuesta y la reducción de tiempos de evacuación. No obstante, esta proximidad debe contrapesarse con la seguridad física, evitando la sobre exposición a amenazas naturales.

Estos criterios técnicos deben armonizar con los estándares del Proyecto Esfera, referencia internacional para la respuesta humanitaria (Sphere Association, 2018). Esfera establece parámetros cuantificables, como un espacio habitable mínimo de 3,5 m² por persona en climas cálidos, garantizando seguridad estructural y diseño universal. En el contexto cubano, estos estándares se concilian con la normativa nacional del Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (INOTU).

2.2. Fundamentación epistemológica: Exclusión booleana vs. Agregación ponderada

En la literatura internacional, la selección de sitios suele abordarse mediante métodos de Decisión Multicriterio (MCDM) como AHP o TOPSIS, que utilizan agregación ponderada. Sin embargo, es crucial distinguir taxonómicamente entre restricciones blandas (preferencias relativas) y restricciones duras (vetos absolutos).

La complejidad de la selección de sitios (caracterizada por múltiples objetivos conflictivos, incertidumbre en los datos y necesidad de participación de expertos) ha impulsado el desarrollo de metodologías que integran SIG con técnicas de análisis combinatorio (Nayyeri et al., 2024; Çetinkaya et al., 2021). En este campo, es necesario distinguir taxonómicamente entre dos familias de métodos: (I) los métodos de agregación ponderada, donde los criterios son de preferencia relativa (soft constraints) y el analista debe establecer pesos que reflejen trade-offs entre objetivos (ej. Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Técnica de Preferencia de Orden por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS), Combinación Lineal Ponderada (WLC); y (II) los métodos de exclusión booleana, donde los criterios son de veto absoluto (hard constraints) y el sitio es descartado si incumple al menos una condición excluyente (Eastman et al., 1995; Malczewski, 2006).

Cuando un criterio representa una amenaza física ineludible (ej. inundación peligrosa, carso activo) o una prohibición legal, la asignación de un peso ponderado es epistemológicamente incorrecta, pues implicaría que el sitio conserva algún grado de idoneidad. En estos casos, el álgebra de mapas binaria (reclasificación a 0 = restricción absoluta; 1 = favorable, y superposición multiplicativa) es metodológicamente superior. La multiplicación garantiza que la presencia de un solo valor 0 anule definitivamente al sitio, evitando que la subjetividad de los pesos jerarquice como "parcialmente apto" un terreno físico o jurídicamente inviable. Por tanto, para la Fase I de este estudio, se adopta deliberadamente la exclusión booleana.

La elección entre ambas familias no es arbitraria, sino que depende de la naturaleza ontológica de los criterios. Cuando un criterio representa una restricción legal, una amenaza física ineludible o una condición de inestabilidad geológica, la asignación de un peso ponderado (por muy pequeño que sea) implica que el sitio conserva algún grado de idoneidad, lo cual es epistemológicamente incorrecto y operativamente peligroso. Por ejemplo, un terreno con pendiente del 25 % no puede ser considerado 'parcialmente apto' simplemente porque tenga excelente proximidad a un hospital; la inestabilidad del relieve constituye una restricción absoluta que anula cualquier otra virtud del emplazamiento. En estos casos, el álgebra de mapas binaria, operacionalizada mediante reclasificación a valores 0 (restricción absoluta) y 1 (favorable) y superposición multiplicativa de capas, garantiza que la presencia de una sola restricción excluyente anule definitivamente al sitio, independientemente de su desempeño en otros factores (Eastman et al., 1995).

En el presente estudio, se adopta deliberadamente el enfoque de exclusión booleana porque la mayoría de los criterios evaluados en La Habana (carso activo, inundabilidad peligrosa, normativa restrictiva, pendientes inestables) operan como restricciones duras.

3. Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde al territorio de la ciudad de La Habana, capital de Cuba, ubicada en la costa noroccidental de la isla, entre los 22°58' y 23°14' de latitud norte, y los 82°18' y 82°28' de longitud oeste (figura 1). La ciudad posee una extensión territorial de 728.26 km² y una población superior a dos millones de habitantes. El relieve es predominantemente plano en las zonas costeras, con elevaciones suaves hacia el interior que alcanzan alturas máximas de aproximadamente 100 m.s.n.m, la constitución geológica del territorio está formada por rocas caracterizadas por una alternancia de formaciones terrígenas y carbonatadas con procesos cársticos activos en el oeste, y substratos más estables en el este.

La ciudad de La Habana, por su posición geográfica en el archipiélago cubano, se encuentra sometida a la influencia recurrente de ciclones tropicales que generan vientos intensos, constituyendo una de las amenazas naturales de mayor impacto sobre la infraestructura, la población y los ecosistemas urbanos.

3.1. Materiales

Se utilizaron datos espaciales incluyendo un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de 5 m, construido a partir de cotas y curvas de nivel suministradas por GEOCUBA,



Figura 1. Localización del área de estudio.

cartografía geológica (1:100 000) suministrada por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP), mapas de peligrosidad por inundaciones, exposición a vientos, zonas cársticas suministradas por los estudios de PVR del Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA) y límites de áreas protegidas y restringidas por normativas (NC 23:1999, (Norma NC 23:1999; Oficina Nacional de Normalización, 1999, Decreto ley de la Zona Costera (Decreto-Ley 77/2023; Consejo de Estado, 2023). Todos los datos fueron georreferenciados al sistema EPSG:3795. Se estructuró una base de datos de infraestructuras críticas (hospitales, subestaciones, plantas potabilizadoras, vías) obtenida de OpenStreetMap y validada institucionalmente. El procesamiento se realizó en SAGA GIS (v. 9.12.1) para análisis combinatorio y modelación hidráulica, y QGIS (v. 3.28) para gestión visual y mapas temáticos.

3.2. Métodos

La metodología se estructura en tres fases secuenciales que operan bajo el principio de que la idoneidad de un sitio es una condición necesaria pero no suficiente; la viabilidad operativa depende de la conjunción de factores geomorfológicos, ambientales, legales y logísticos, integrados en un flujo de trabajo basado en Sistemas de Información Geográfica, cada fase constituye un filtro progresivo que reduce el universo de sitios potenciales hasta identificar aquellos que cumplen de manera integral con los criterios técnicos, normativos y operativos establecidos. La metodología propuesta se describe a continuación:

Fase I

Evaluación de factores restrictivos y exclusión de zonas no aptas: se aplicó un filtro binario multiplicativo. Las capas se reclasificaron a 0 (restricción) y 1 (favorable). Los factores evaluados fueron:

Peligro por inundaciones: se emplearon los resultados de la modelación hidráulica 2D en SAGA GIS (módulo Overland Flow), obteniéndose como producto de salida, las variables hidráulicas calado y velocidad de flujo. Se excluyeron celdas donde el producto del calado por la velocidad de flujo, supera los valores de $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ (umbral de estabilidad humana) (asignándole el peso con valor 0) . Los espacios del terreno que presentan valores restrictivos se le asignaron valor de peso (0) y los no restrictivos, valor de peso (1) (favorables), garantizando que en el producto combinatorio multiplicativo el valor 0 prevalezca de forma absoluta (figura 2).

Exposición a fuertes vientos: cálculo del Índice de Exposición al Viento. Se empleó el Índice de Exposición al Viento (Wind Exposition Index) de J. Böhner y O. Conrad (2015), calculado para una distancia angular de 15° considerando 16 direcciones predominantes en un radio de 360° , adaptado de la metodología de Boose et al. (2004) para condiciones caribeñas. Valores superiores del índice a 1 indican que existe una alta exposición a los fuertes vientos (valor de peso asignado 0), mientras que valores inferiores a 1 se consideran zonas con menor afectación por los fuertes vientos (se le asigna valor de peso 1).

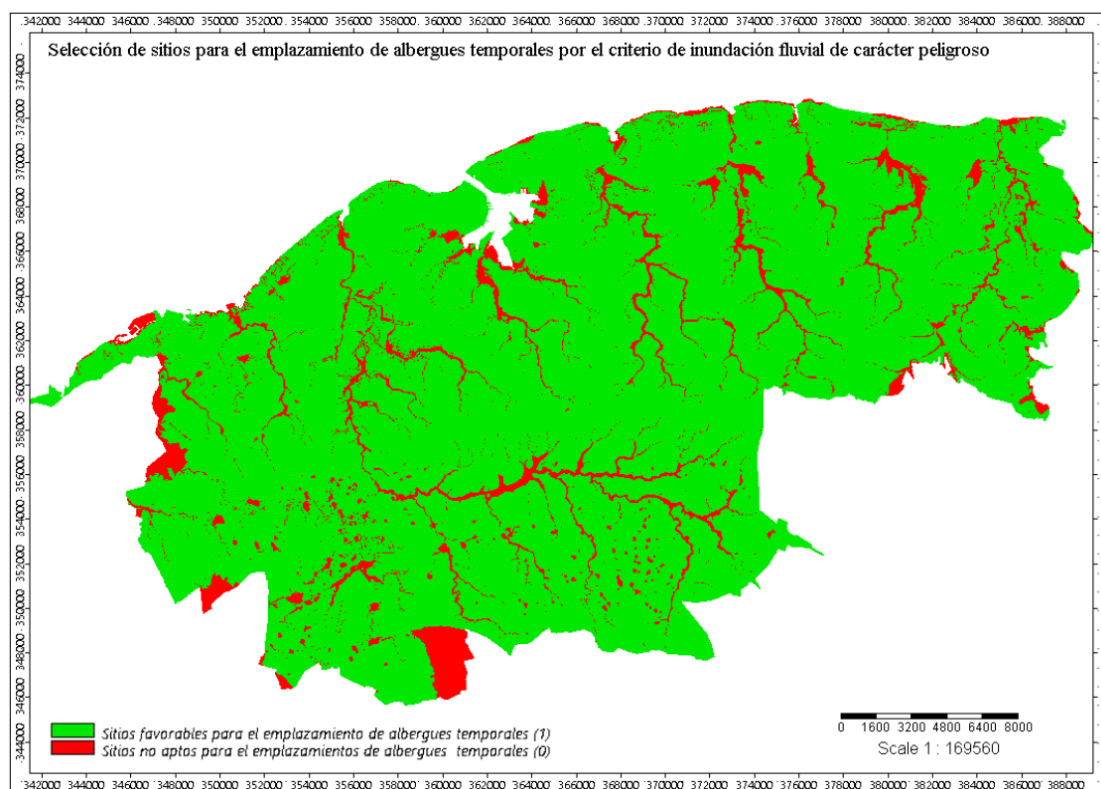


Figura 2. Criterios por áreas con inundación de carácter peligroso. Fuente: elaboración propia.

Este índice captura el efecto de obstáculos topográficos en la reducción de la velocidad del flujo eólico, factor crítico en la mitigación de daños estructurales durante el paso de huracanes de categorías 4 y 5 (figura 3). Se excluyeron todas las áreas para el emplazamiento de albergues temporales con valores del índice de exposición superiores a > 1 .

Procesos cársticos: Se excluyeron formaciones carbonatadas propensas a hundimientos, asignándole el valor de peso (0), privilegiando rocas terrígenas y evitando procesos de infiltración de residuales evitando la contaminación de acuíferos por presencia en los albergues temporales de lagunas de oxidación, asignándole el valor de peso (1), (figura 4).

Relieve: Se estableció como límite una pendiente del 6 % de inclinación del terreno, recomendada según el manual de la OIM para emplazamientos de albergues temporales. Los terrenos ideales deben permitir drenaje natural sin ser abruptos o de difícil acceso, evitando movimientos de tierra, modificación del drenaje natural y procesos erosivos. Pendientes superiores al 6 % recibieron valor de peso (0); pendientes inferiores, valor de peso (1) (figura 5).

Restricciones legales y ambientales: Se incorporaron zonas de ecosistemas frágiles (áreas protegidas), franjas

hidroreguladoras Norma NC 23:1999, protección de embalses y cauces fluviales, (Norma NC 23:1999; Oficina Nacional de Normalización, 1999), zona costera (Decreto-Ley 77/2023; Consejo de Estado, 2023), concesiones mineras extractivas actuales y futuras, antiguas canteras abandonadas (activos pasivos), suelos de alta y muy alta agroproduktividad, zonas de protección sanitaria de pozos de abasto de agua, sitios de recolección de basuras y áreas de apoyo a la defensa de la nación. Todas estas categorías recibieron el valor de puntaje de peso (0) en la reclasificación binaria (figura 6).

El producto combinatorio de todas las capas restrictivas mediante álgebra de mapas (operación de multiplicación de capas binarias) generó un mapa sintético de sectores seleccionados como sitios seguros para el emplazamiento de albergues temporales, donde únicamente permanecen como favorables (valor 1) aquellas áreas que simultáneamente cumplen con todas las condiciones de no peligrosidad establecidas. La operación multiplicativa asegura la transitividad lógica de las restricciones: si un sitio es inundable (0), su producto con cualquier otra capa seguirá siendo (0), independientemente de que sea terrígeno, de baja pendiente y legalmente permisible.

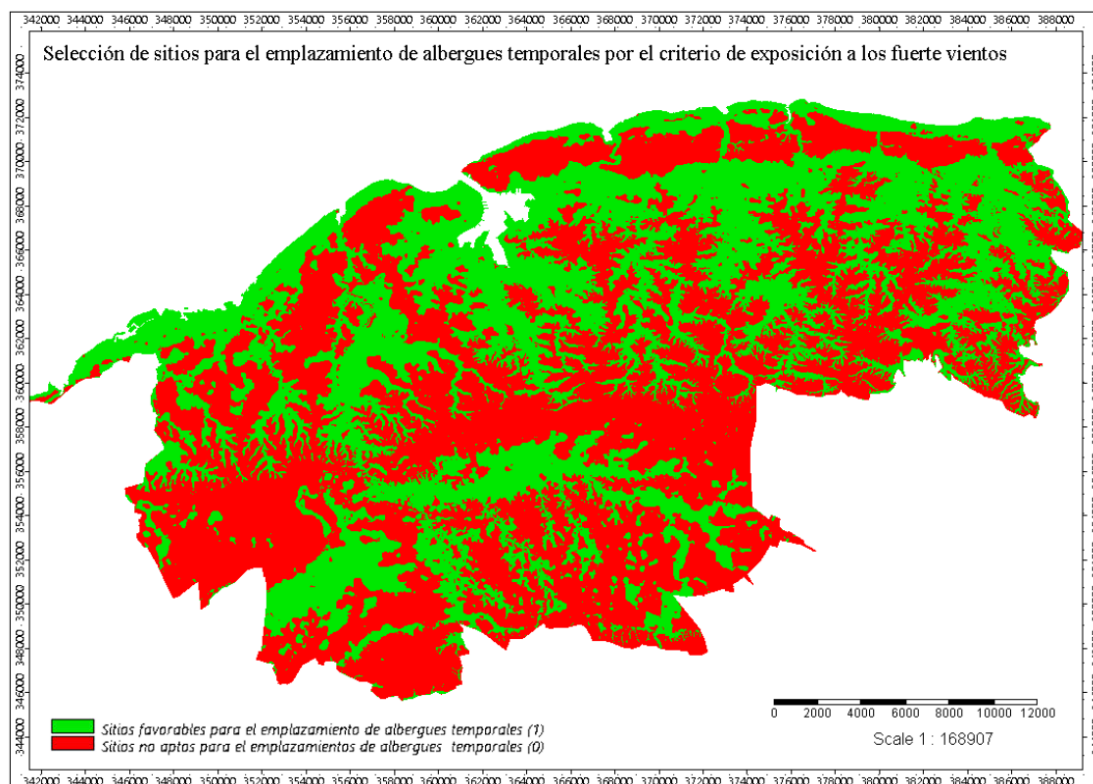


Figura 3. Criterios por áreas con exposición elevada a la acción de los fuertes vientos.
Fuente: elaboración propia.

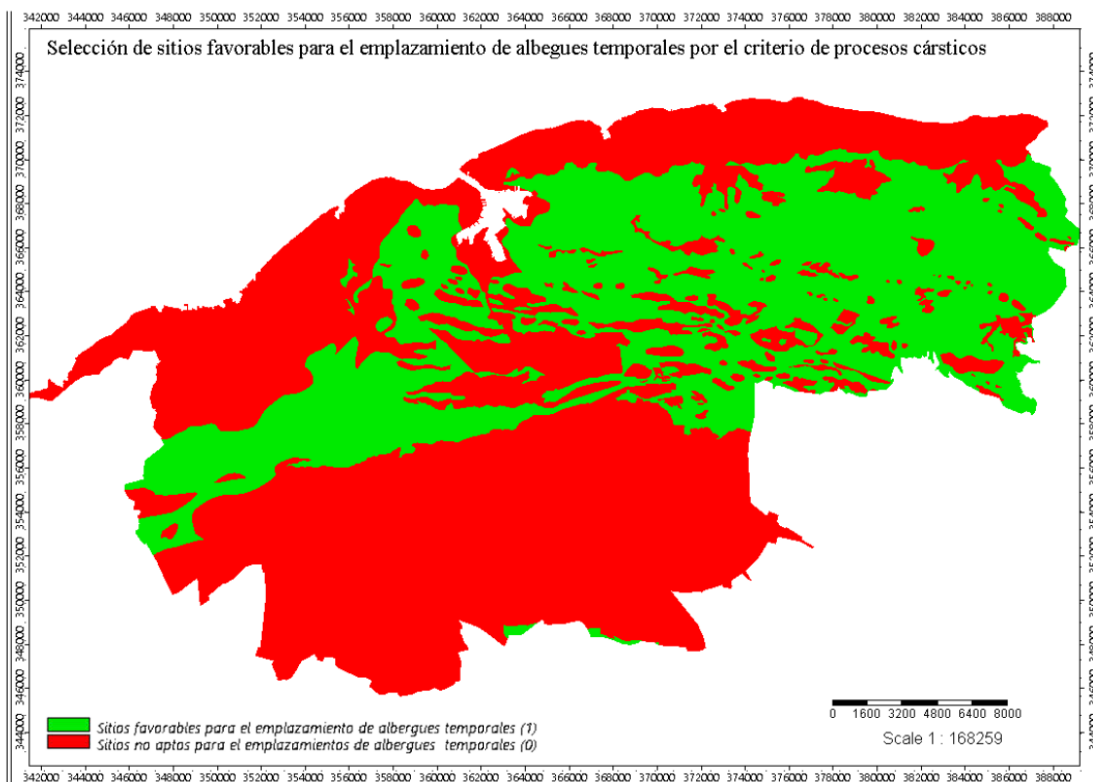


Figura 4. Criterios por áreas con exposición a desarrollo de procesos cársticos.
Fuente: elaboración propia.

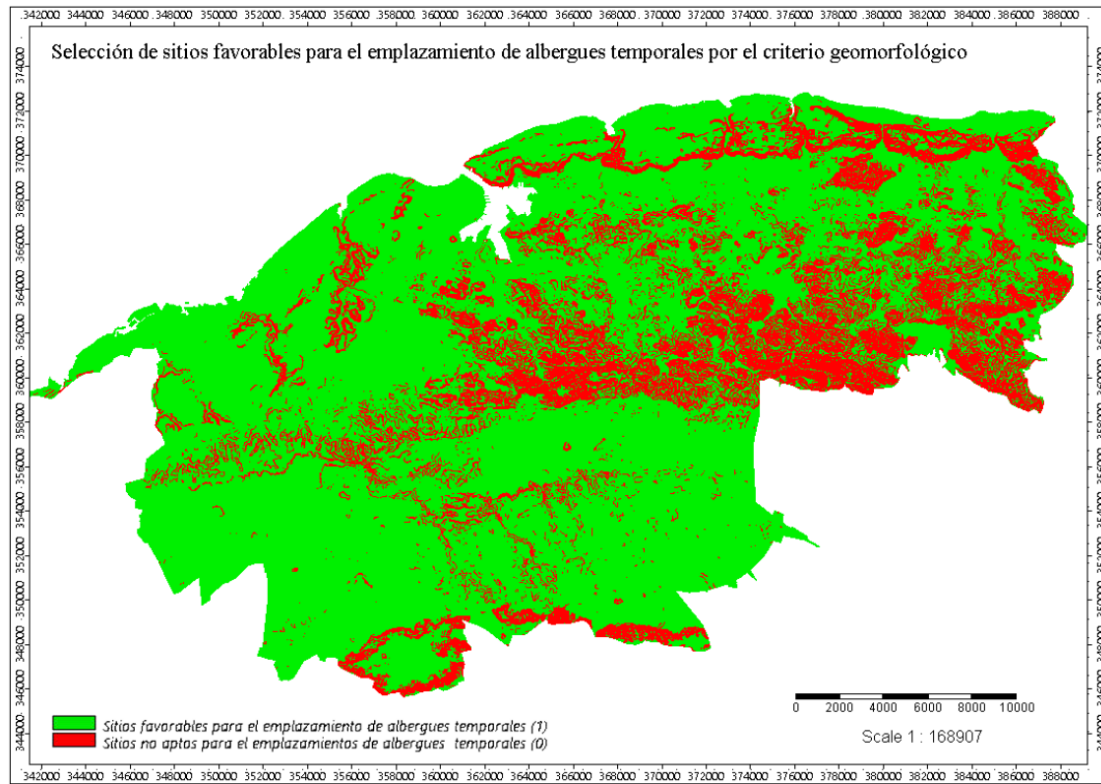


Figura 5. Criterios por áreas con exposición a inclinación de pendientes desfavorables.
 Fuente: elaboración propia.

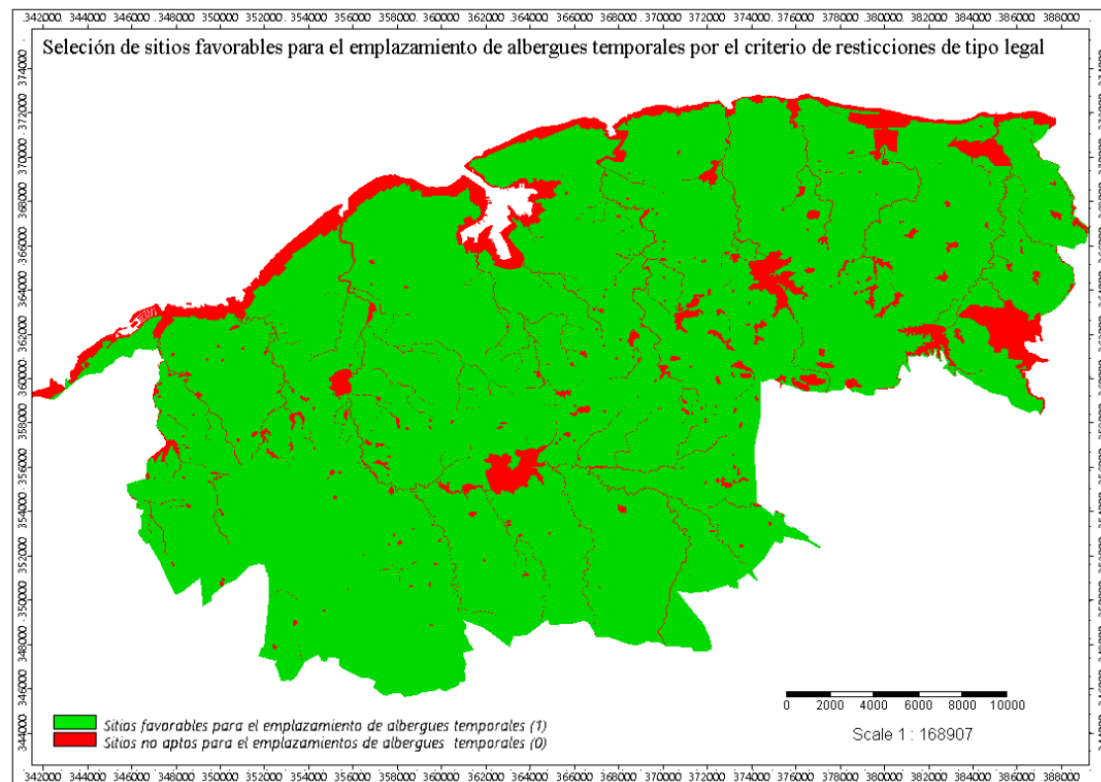


Figura 6. Criterios por áreas con restricciones de tipo legal.
 Fuente: elaboración propia.

Esta propiedad algebraica es la que confiere robustez al método frente a la agregación aditiva, donde un peso residual podría mantener artificialmente la idoneidad del sitio (figura 7).

Fase II

Análisis de proximidad y accesibilidad: se realizó una validación cualitativa mediante consultas web cartográficas (imágenes satelitales y OpenStreetMap) para confirmar que los sitios de la Fase I no estuvieran aislados, garantizando proximidad a comunidades de acogida, accesibilidad vial y conectividad con la trama urbana.

Fase III

Evaluación de infraestructuras críticas y sostenibilidad operativa: la sostenibilidad de un albergue temporal depende de la continuidad de servicios esenciales que garanticen las condiciones mínimas de dignidad y salubridad. En este estudio se adoptó una definición operativa de infraestructuras críticas como los sistemas físicos y redes de información que ofrecen servicios esenciales para el funcionamiento y la seguridad de una organización, ciudad o país, cuya interrupción causaría impacto negativo en el desarrollo de las actividades poblacionales (Pederson et al., 2006).

Las infraestructuras críticas fueron clasificadas en cuatro categorías funcionales: (I) Infraestructuras Estratégicas (energía, transporte, comunicaciones, finanzas, seguridad pública); (II) Infraestructuras Vitales (abastecimiento de agua, saneamiento, salud, alimentación); (III) Infraestructuras Esenciales (administración, investigación, educación, cultura, industria); y (IV) Infraestructuras Comunes (servicios públicos, instalaciones deportivas, bibliotecas, parques). Cada infraestructura fue georreferenciada en la base de datos SIG, incorporando campos como: Identificador (id), municipio, sector, clase, clasificación, nombre de la infraestructura, tipología de la infraestructura crítica, responsable, vulnerabilidad ante los peligros.

Para cada albergue seleccionado se estructuró una base de datos específica con los siguientes campos básicos: código del albergue, municipio, nombre, área en metros cuadrados, contactos de tres responsables del albergue, tres personas del gobierno provincial, tres del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC), tres del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y tres del Instituto de Meteorología (INSMET). Adicionalmente, se incorporaron campos adaptados de la experiencia de la Matriz de Seguimiento de Desplazamientos (DTM)

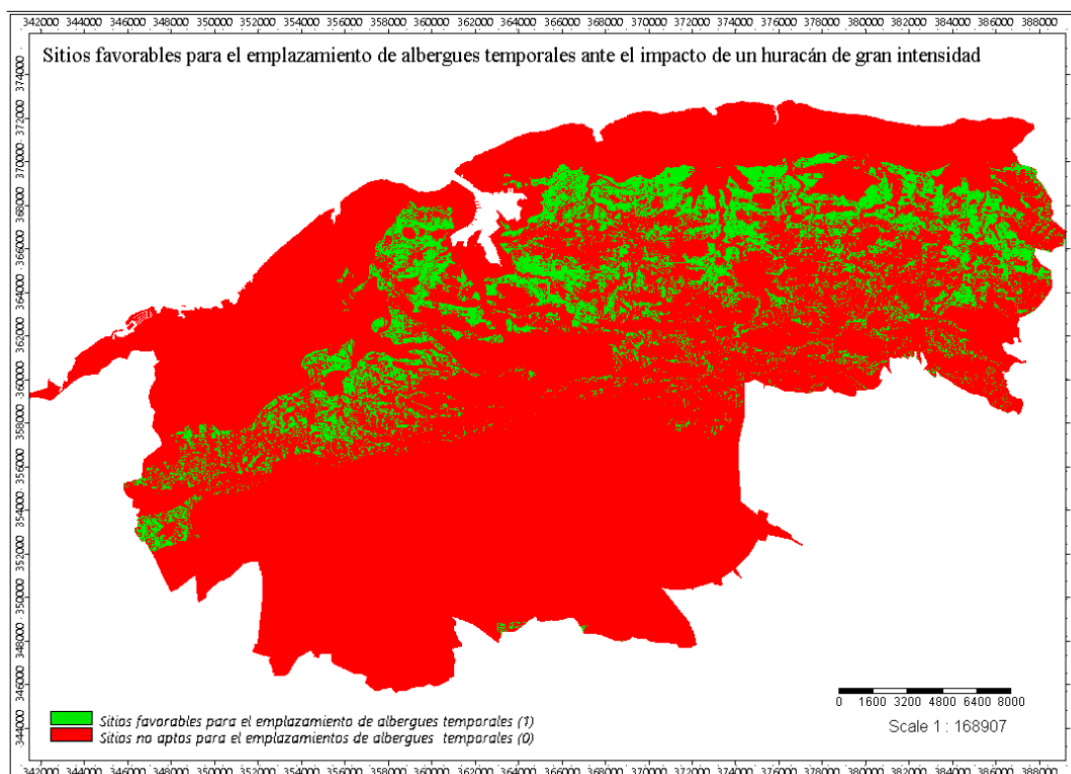


Figura 7. Sectores seleccionados como favorables para el emplazamiento de albergues.
Fuente: elaboración propia.

desarrollada por la OIM durante el terremoto de Ecuador 2016 (OIM, 2016), garantizando la interoperabilidad con estándares internacionales de gestión de información humanitaria.

4. Resultados

4.1. Filtrado de peligrosidad y áreas favorables (Fase I)

El análisis combinatorio binario identificó un área favorable (figura 8) total de 90,4 km², lo que representa el 12,4 % de la superficie de La Habana. Estas zonas están libres de inundabilidad peligrosa, protegidas de vientos extremos, sobre substratos terrígenos, con pendientes < 6 % y sin restricciones legales.

Espacialmente, las áreas favorables se concentran en los municipios interiores (tabla 1). Guanabacoa (32 km²) y Habana del Este (27 km²) acumulan el 65,2 % del área total apta. La exclusión de áreas carbonatadas eliminó sectores del oeste (Playa, Marianao), y la restricción por pendiente descartó zonas de transición topográfica.

Bajo el estándar de la OIM (45 m²/persona) y el límite de 20 000 personas por albergue, los 90,4 km² permiten

Tabla 1. Áreas favorables por municipios para el emplazamiento de albergues temporales.

Municipio	Área Favorable (km ²)	% del Área Total de La Habana
Guanabacoa	32	4.4
Habana del Este	27	3.7
Boyeros	5	0.7
Diez de Octubre	4	0.6
Cerro	4	0.6
Marianao	4	0.6
San Miguel del Padrón	4	0.6
La Lisa	3	0.4
Regla	2	0.3
Arroyo Naranjo	2	0.3
Plaza de la Revolución	1	0.1
Centro Habana	1	0.1
Habana Vieja	1	0.1
Cotorro	0.4	0.05
TOTAL	90.4	12.4

Fuente: Elaboración propia.

teóricamente el emplazamiento de 100 albergues con una capacidad agregada de 1 920 000 personas.

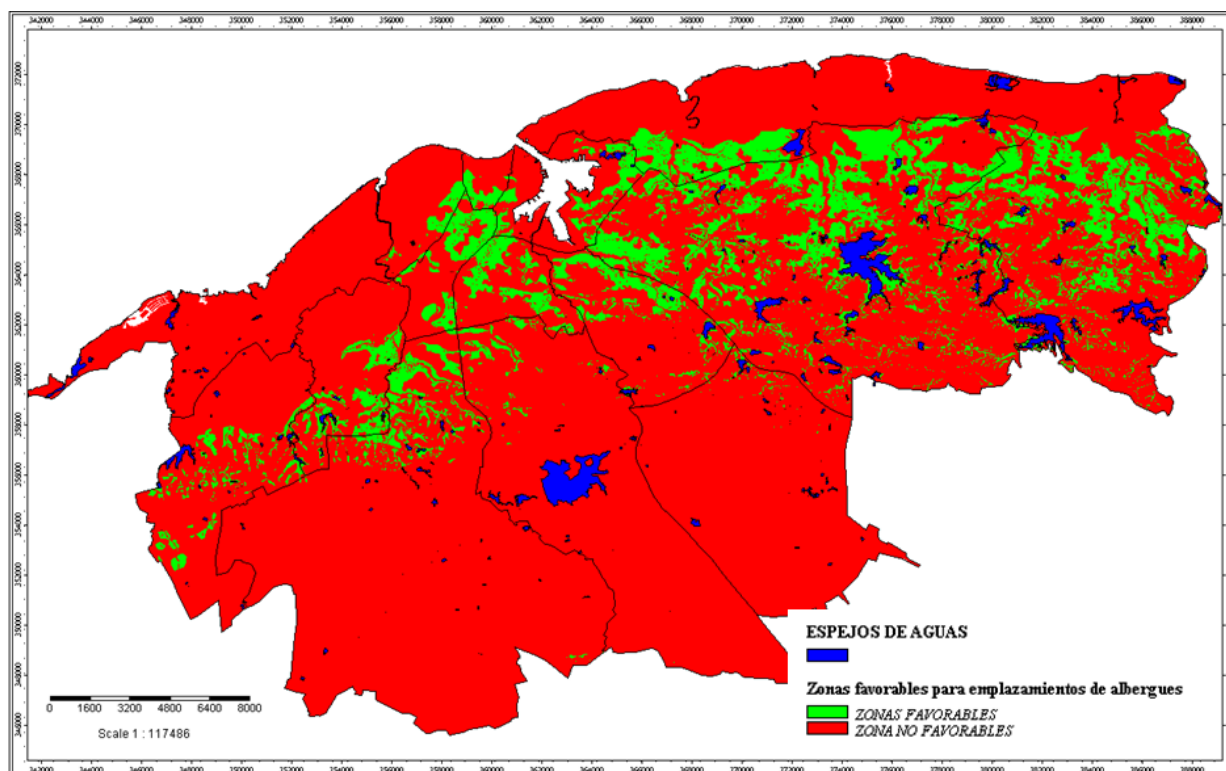


Figura 8. Áreas con favorabilidad para el emplazamiento de albergues emergentes.

Fuente: Elaboración propia.

Esto cubre el 109,7 % de la población total de La Habana, superando ampliamente cualquier escenario realista de demanda de refugio.

En consecuencia, el área favorable disponible supera ampliamente cualquier escenario realista de demanda de refugio ante un huracán categoría 4 (tabla 2), garantizando no solo el cumplimiento de los estándares de espacio por persona, sino también el respeto a los principios de convivencia social, seguridad y gestión operativa derivados de la normativa humanitaria internacional. La restricción epistemológica del filtro de exclusión absoluta aplicado en la metodología garantiza, además, que ninguna de estas áreas presente condiciones de peligrosidad natural o legal que comprometan la integridad de los refugiados.

Tabla 2. Capacidad de acogida de albergues temporales en municipios de La Habana Estándar OIM/Namibia: 45 m²/persona (superficie total del sitio) | Límite ACNUR/OIM: máximo 20 000 personas por albergue.

Municipio	Nº Alber- gues (máx. 20 000 pers.)	Área Fa- vorable (km ²)	Capacidad de Acogida (personas)
Guanabacoa	35	32	700,000.0
Habana del Este	30	27	600,000.0
Boyeros	5	5	100,000.0
Diez de Octubre	4	4	80,000.0
Cerro	4	4	80,000.0
Marianao	4	4	80,000.0
San Miguel del Padrón	4	4	80,000.0
La Lisa	3	3	60,000.0
Regla	2	2	40,000.0
Arroyo Naranjo	2	2	40,000.0
Plaza de la Revo- lución	1	1	20,000.0
Centro Habana	1	1	20,000.0
Habana Vieja	1	1	20,000.0
Cotorro	0	0.4	0
TOTAL LA HA- BANA	100	90.4	1,920,000.0

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Validación de proximidad y accesibilidad (Fase II)

La validación cualitativa confirmó que los sitios preseleccionados no constituyen emplazamientos aislados (figura 9). Se descartaron sectores técnicamente seguros,

pero operativamente inviables por su inaccesibilidad. Los sitios validados presentan comunicación vial funcional y proximidad a asentamientos, facilitando la evacuación y el suministro logístico.

4.4. Infraestructuras críticas y síntesis de sitios (Fase III)

La integración de la base de datos de infraestructuras críticas en plataforma SIG permitió identificar, para cada sitio seleccionado, las infraestructuras estratégicas, vitales, esenciales y comunes ubicadas en su radio de influencia (figura 10). La georreferenciación de centrales eléctricas, subestaciones, plantas potabilizadoras, hospitales, escuelas, centros de comunicaciones y vías principales proporcionó una visión integral de la capacidad de soporte de servicios de cada emplazamiento.

Para cada albergue seleccionado se estructuró una base de datos específica que incluye: código del albergue, municipio, nombre, área en metros cuadrados, y contactos institucionales (responsables del albergue, gobierno provincial, EMNDC, INRH, INSMET). La estructura de la base de datos fue diseñada adaptando campos de la Matriz de Seguimiento de Desplazamientos (DTM) de la OIM (2016) (figura 11), garantizando la interoperabilidad con estándares internacionales de gestión de información humanitaria y facilitando la consulta inmediata por parte de los decisores en situaciones de emergencia.

La existencia de una base de datos operativa (BDO) al nivel de cada albergue temporal no constituye un mero recurso logístico, sino una infraestructura epistemológica que articula la respuesta humanitaria con los principios de calidad, rendición de cuentas y protección establecidos por el Camp Coordination and Camp Management (CCCM), Sphere (Sphere Association, 2018) y el Core Humanitarian Standard (CHS). El ciclo de vida de un albergue incluye tres fases: establecimiento/mejoramiento, operación y cierre. La BDO operativa garantiza que la información recolectada durante la fase de emergencia no se pierda en la transición hacia soluciones duraderas (durable solutions). Los Minimum Standards for Camp Management señalan que la información sobre intenciones de retorno, condiciones de seguridad en áreas de origen y capacidades de la población debe estar disponible para la planificación de recuperación temprana y desarrollo, evitando que cada fase reinicie los procesos de evaluación desde cero.

Síntesis cuantitativa de sitios seleccionados

A modo de ejemplo, con el fin de facilitar la toma de decisiones operativas, se elaboró la tabla 3 resumen

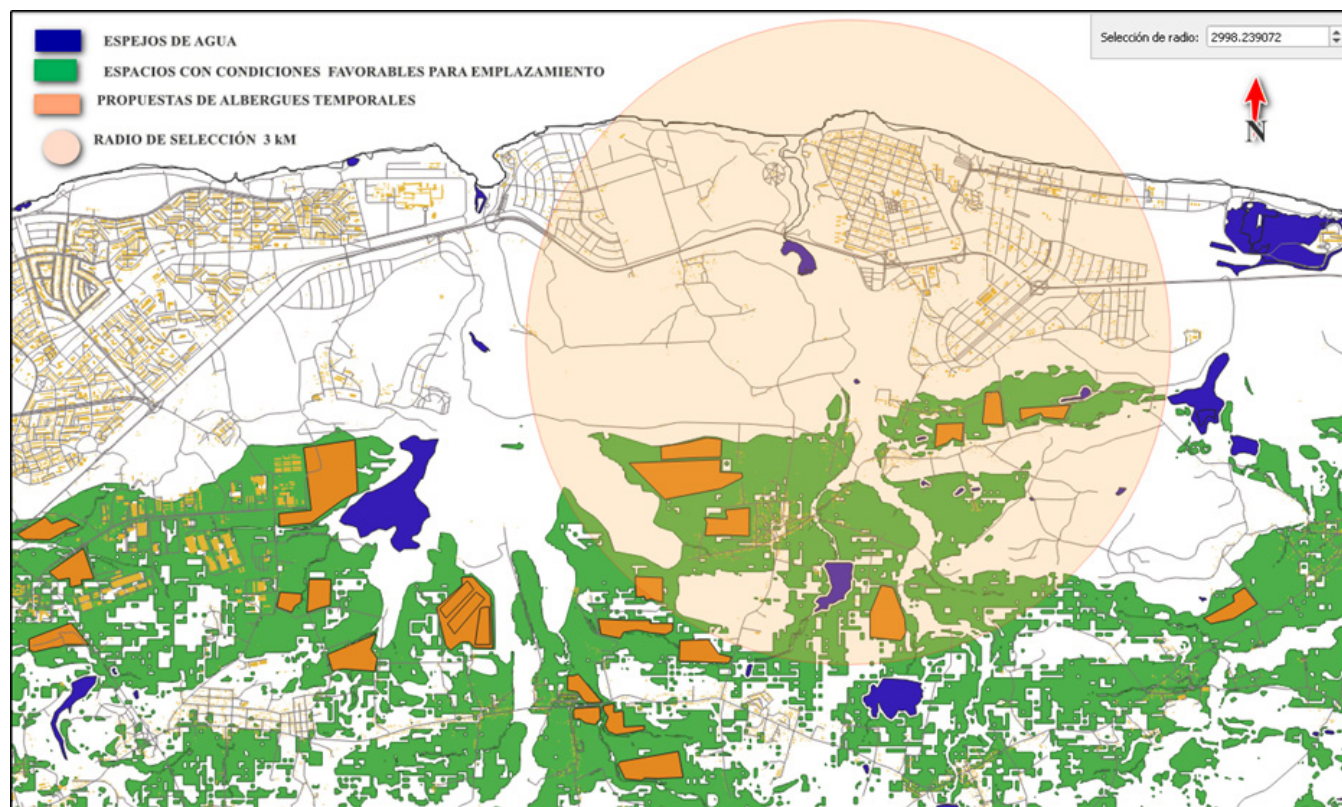


Figura 9. Filtrado de sitios aislados por radio de cercanía a poblaciones.

Fuente: Elaboración propia.

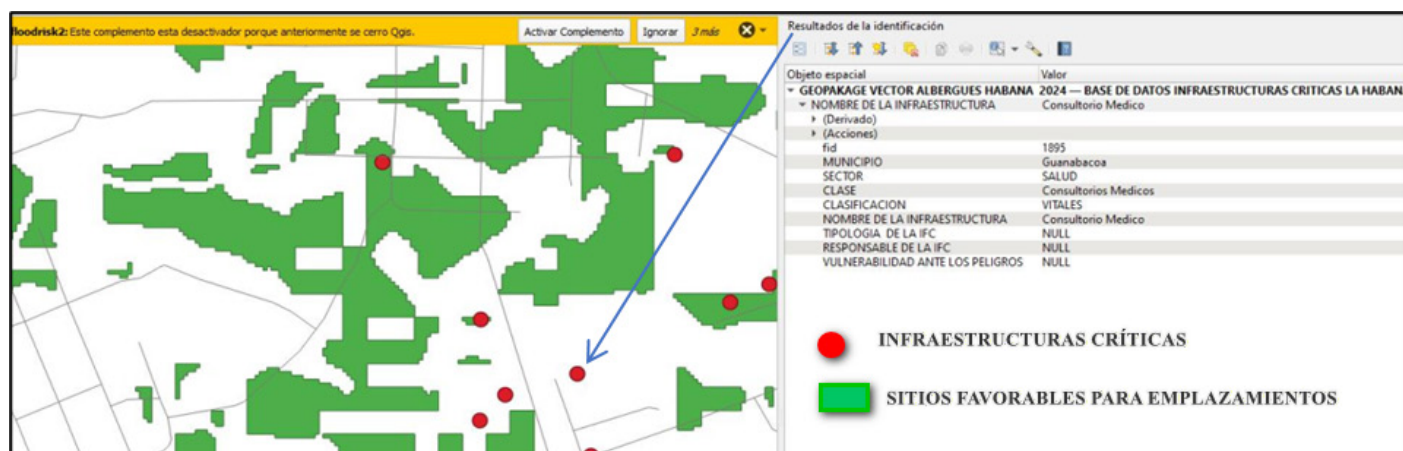


Figura 10. Base de datos asociadas a las infraestructuras críticas. Fuente: Elaboración propia

con algunos de los sitios preseleccionados que cumplen las tres fases del flujo de trabajo. Los valores de área y capacidad poblacional estimada se derivan del análisis espacial y se presentan a título ilustrativo; los valores exactos deben completarse con la verificación de trabajos en el terreno por parte del organismo competente.

La superficie total de zonas con favorabilidad adecuada identificadas en la Fase I alcanza aproximadamente

90.4 Km² distribuidas en los municipios interiores de la capital, lo que representa el 12,4 % del área total del territorio habanero (732 km² aproximadamente). Este porcentaje, aunque modesto en términos relativos, resulta operativamente suficiente dado que los albergues temporales no requieren ocupación masiva del territorio, sino una distribución estratégica de nodos de acogida conectados a la red vial y a servicios esenciales.

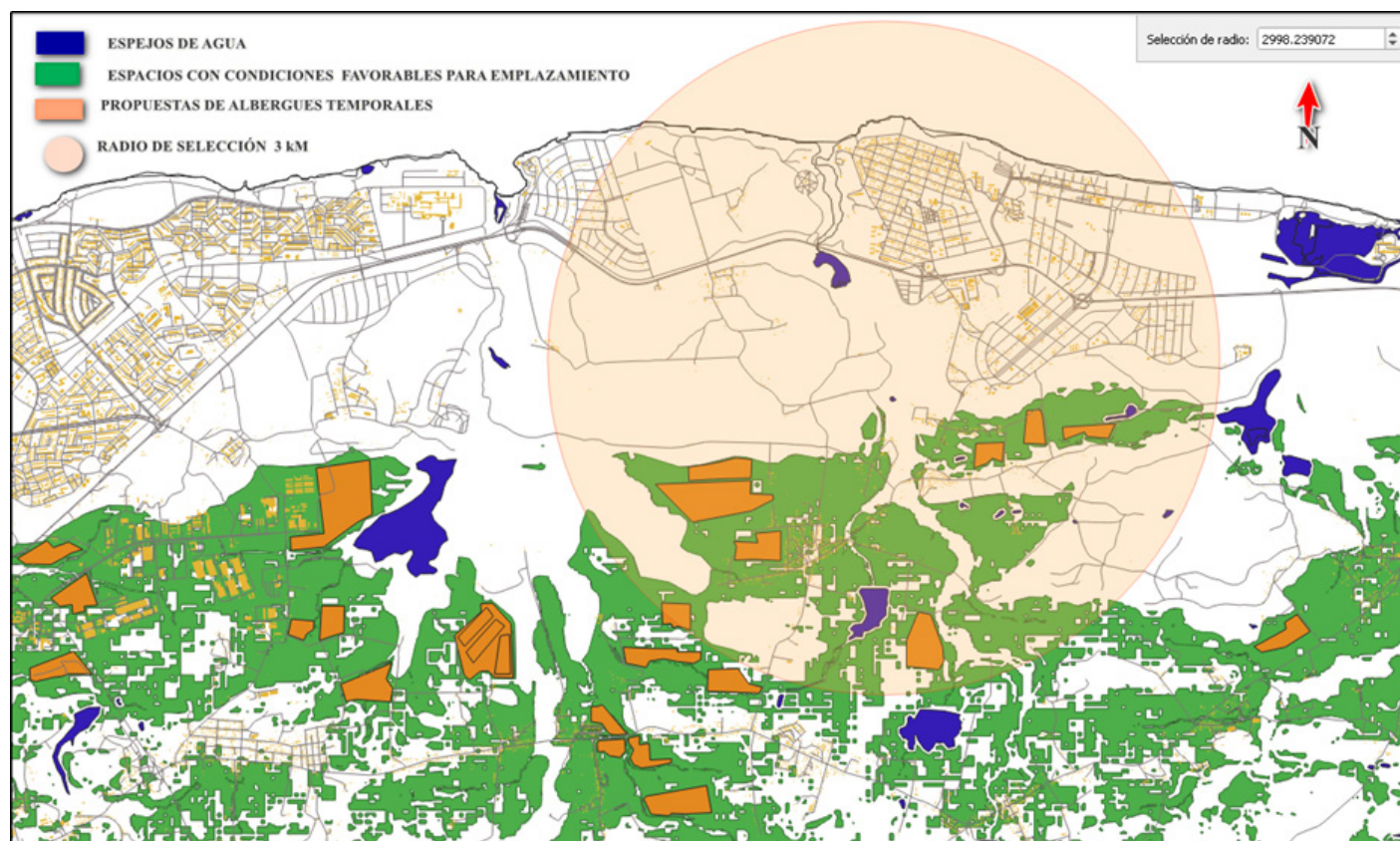


Figura 11. Estructura de la base de datos operativa para cada albergue en situaciones de desastre. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Sitios preseleccionados que cumplen con los requisitos para el emplazamiento.

ID	Municipio	Área (m ²)	Capacidad estimada (pers.)	Pendiente media (%)	Infraestructuras críticas en entorno	Distancia a hospital más cercano (km)
ALB-1	Boyeros	15000	4285	2.8	Hospital, subestación eléctrica, planta potabilizadora, vía principal	1.2
ALB-2	Arroyo Naranjo	12500	3571	3.5	Policlínico, escuela, centro de comunicaciones	0.9
ALB-3	10 de Octubre	18000	5142	2.2	Hospital, subestación, mercado agropecuario	1.5
ALB-4	La Lisa (este)	10000	2857	4.1	Policlínico, escuela, vía principal	2
ALB-5	Cerro	14000	4000	3	Hospital, planta potabilizadora, terminal de transporte	1.1
ALB-6	Plaza de la Revolución	8500	2428	2.5	Hospital, subestación, centro de comunicaciones	0.7

Nota: Capacidad estimada según estándar Sphere de 3,5 m²/persona en clima cálido, (Sphere Association, 2018). Los valores de distancia e infraestructura se basan en análisis de proximidad euclidiana en SIG.

5. Discusión

5.1. Interpretación de resultados y validez del método

La validez del método está condicionada por la resolución espacial del DEM de entrada (5 m), lo que garantiza alta precisión en la exclusión, aunque limita la gradación de idoneidad dentro de las zonas aptas. Esta simplificación es epistemológicamente coherente con la naturaleza de veto absoluto de las restricciones evaluadas. Asimismo, el uso de software libre (SAGA GIS, QGIS) asegura la sostenibilidad tecnológica y la transferencia de capacidades en Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (SIDS) con recursos limitados. No obstante, la dinámica urbana habanera y la ausencia de validación de campo o participación comunitaria inicial exigen que estos resultados se consideren como una línea base técnica, sujeta a verificación in situ y ajuste social.

5.2. Justificación epistemológica de la exclusión booleana

Una cuestión metodológica central es por qué se optó por un filtro binario multiplicativo en lugar de una técnica MCDM con ponderación (AHP, TOPSIS). La respuesta reside en la distinción ontológica entre restricciones duras (hard constraints) y blandas (soft constraints). En La Habana, los criterios evaluados en la Fase I (carso activo, inundabilidad peligrosa, normativa restrictiva) operan como restricciones duras. Un terreno inundable peligrosamente no puede albergar población evacuada, sin importar su proximidad a hospitales.

En los métodos MCDM de agregación ponderada, un sitio con una restricción dura recibe un puntaje reducido, pero no nulo, lo que podría posicionarlo por encima de otro sitio sin restricciones duras. Esta situación es inaceptable en planificación de albergues. El filtro binario multiplicativo resuelve este problema algebraicamente: la presencia de un solo valor 0 anula el producto completo. Esta propiedad, conocida como el principio de dominancia de la restricción, garantiza que la seguridad física y legal prevalezcan sobre cualquier otra consideración logística.

5.3. Limitaciones del estudio

El estudio presenta limitaciones que deben considerarse: (1) Ausencia de validación de campo para verificar condiciones locales de drenaje u ocupación actual; (2) La accesibilidad se validó cualitativamente, sin modelar

tiempos de viaje reales ni congestión vial (análisis de redes); (3) No se realizó un análisis de sensibilidad para variar los umbrales de exclusión (ej. pendiente del 6 % al 8 %).

5.4. Comparación con estudios internacionales

La metodología desarrollada aporta originalidad al integrar criterios específicos de peligrosidad huracanada (inundación hidrodinámica, índice de exposición eólica, carso) en un marco de exclusión booleana, adaptado al contexto caribeño. A diferencia de estudios recientes en Rumania o China que utilizan MCDM ponderado, este enfoque prioriza la seguridad física innegociable. Asimismo, la armonización de la normativa cubana con los estándares del proyecto Esfera, representa un modelo replicable. En la [tabla 4](#) se presentan casos de estudios comparativos por diversos autores y en diferentes regiones con objetivos similares al tratado en esta investigación.

La revisión comparativa evidencia una bifurcación metodológica en la literatura reciente. Por un lado, los enfoques MCDM con agregación ponderada (Wang et al., 2024; Bilasco et al., 2025) son apropiados cuando los criterios son de preferencia relativa (proximidad, calidad del suelo, acceso a servicios), donde el analista debe establecer compromisos (trade-offs) entre objetivos conflictivos. Por otro lado, los enfoques de exclusión booleana (FEMA, 2020) son metodológicamente imperativos cuando los criterios son de veto absoluto: una zona legalmente protegida, una ladera inestable o una planicie inundada no admite gradación de idoneidad. En La Habana, la mayoría de los criterios evaluados (carso activo, inundabilidad peligrosa, normativa restrictiva, pendientes inestables) operan como restricciones duras (hard constraints), por lo que la adopción de un filtro binario multiplicativo no constituye una simplificación metodológica, sino una elección epistemológicamente coherente con la naturaleza de las restricciones, la literatura comparada también evidencia que en Cuba ninguno de los estudios identificados ha sido aplicado o adaptado al contexto nacional, y que las metodologías existentes en el país no incorporan los avances internacionales en materia de análisis espacial, modelación de escenarios de huracán y evaluación dinámica de accesibilidad. Esta investigación constituye, por tanto, una contribución original que busca cerrar esta brecha mediante la adaptación contextualizada de metodologías probadas internacionalmente a las condiciones específicas de riesgo, recursos tecnológicos y marco normativo de La Habana.

Tabla 4. Comparación con estudios mundiales similares.

Estudio/Contexto	Metodología	Resolución espacial / Escala	Técnica de validación	Convergencias / Diferencias con La Habana
Bilasco et al. (2025) / Cluj, Rumania (tormentas)	GIS-AHP, 7 capas, reclasificación en 5 clases (WLC)	30 m (raster)	Validación de campo	Similar uso de SIG; agregación ponderada (soft constraints); no incluye peligro cársico ni huracanes
Jiao y Feng (2024) / Xichang, China (sismo)	SAA con redes viales y 2SFCA	Varía (red vial 1:50 000)	Simulación de escenarios	Integra peligrosidad multifactorial; orientado a sismo, no huracanes; usa MCDM para jerarquización post-exclusión
Borowska-Stefańska et al. (2024) / Sint Maarten (Huracán Irma)	Evacuación y comportamiento	Malla 100 m (agentes)	Encuestas post-evento	Evidencia dimensiones socioeconómicas críticas en SIDS; relevante para La Habana; no usa SIG para selección de sitios
Ahmed e Islam (2025) / Dhaka, Bangladesh (sismo)	GIS-MCDM con índice COSI, AHP, análisis de red	90 m (raster)	Comparación con albergues existentes	Evalúa calidad, capacidad y accesibilidad; no considera peligrosidad climática; exclusión + ponderación
Wang et al. (2024) / Beijing, China (sismo)	Ontología + Fuzzy-AHP + TOPSIS	Varía (edificios)	Validación cruzada	Integra criterios de seguridad, planificación, economía y construcción; no aplica a huracanes; agregación difusa
FEMA (2020) / EE. UU. (huracanes)	Estándares SLOSH, ASCE 7-10	Varía (modelos hidrodinámicos)	Simulacros operativos	Marco de referencia para criterios de viento e inundación; usa exclusión absoluta por zonas de evacuación obligatoria
Presente estudio / La Habana, Cuba (huracanes)	Álgebra de mapas binaria multiplicativa + modelación hidráulica Overland Flow (SAGA GIS) + SIG + infraestructuras críticas (exclusión absoluta)	5 m (raster)	Consulta web cartográfica (fase II)	Integra peligrosidad huracanada modelada hidrodinámicamente, carso, normativa cubana y estándares Sphere (Sphere Association, 2018); identifica favorabilidad adecuada para construcción de albergues; ventaja: evita subjetividad de pesos en restricciones absolutas; limitación: sin validación de campo ni análisis de red vial

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, los estudios comparados evidencian áreas de mejora para la metodología elaborada. La investigación de Borowska-Stefańska et al. (2024) en Sint Maarten y los análisis de accesibilidad de Jiao y Feng (2024) en Xichang demuestran la importancia crítica de incorporar modelos de comportamiento de evacuación y tiempos de viaje basados en redes viales reales, elementos que en el estudio de La Habana se abordan de manera preliminar. Asimismo, la experiencia de respuesta basada en SIG y monitoreo en tiempo real de albergues mediante dashboards geoespaciales, evidenciada en contextos caribeños recientes, sugiere la necesidad de integrar capacidades de monitoreo dinámico en la plataforma SIG habanera para futuras fases de operación.

Conclusiones

- » El álgebra de mapas binaria multiplicativa demostró ser una herramienta reproducible y epistemológicamente robusta para la planificación pre-desastre, evitando la subjetividad de la agregación ponderada cuando las restricciones operan como vetos absolutos.
- » Se identificaron 90,4 km² de área favorable en La Habana (12,4 % del territorio), concentrados en Guanabacoa y Habana del Este, con capacidad potencial para 100 albergues y casi 2 millones de personas, superando la demanda máxima esperada.
- » La lógica booleana garantizó que ningún sitio con peligro de inundación, carso activo, pendiente inestable

o restricción legal fuera considerado apto, preservando la integridad física y jurídica de los emplazamientos.

- » La conciliación entre los estándares internacionales (Esfera) y la normativa cubana proporciona el marco mínimo para garantizar dignidad y seguridad, debiendo complementarse en el futuro con validación de campo y modelos de accesibilidad basados en redes viales reales.
- » Se recomienda que futuras fases incorporen la consulta participativa con comunidades y autoridades locales, así como la integración de la fase de exclusión booleana con una posterior jerarquización MCDM para optimizar la selección final entre sitios igualmente seguros.

Agradecimientos

A la OIM, PNUD y UNETE por el apoyo técnico y financiero.

Disponibilidad de datos

Los datos espaciales son propiedad institucional. La metodología y metadatos se facilitarán bajo solicitud razonable.

Referencias

- Ahmed, N., & Islam, M. S. (2025). COSI-SAFE: A GIS-based multi-criteria framework for evaluating urban open space suitability for post-earthquake emergency sheltering. *International Journal of Disaster Risk Management*, 7(2), 1–18. <https://doi.org/10.18485/ijdrm.2025.7.2.10>
- Amini, S., Zolfani, S. H., Bazayr, A., & Derakhti, A. (2022). A new index-based model for site selection of emergency shelters after an earthquake for Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82, 103296. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103296>
- Bilasco, S., Roşca, V., Fodorean, I., & Vescan, I. (2025). GIS-based AHP approach for identifying suitable shelter locations against severe storms. *Natural Hazards*, 131(2), 1125–1148. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06345-y>
- Boose, E. R., Chamberlin, K. E., & Foster, D. R. (2004). Landscape and regional impacts of hurricanes in New England. *Ecological Monographs*, 74(2), 203–239. <https://doi.org/10.1890/02-4052>
- Borowska-Stefańska, M., Tsimopoulou, A., & Díaz-Sarachaga, J. M. (2024). Evacuation during Hurricane Irma in Sint Maarten: Behavioural insights from a small island developing state. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 103, 104321. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104321>
- Böhner, J., & Conrad, O. (2015). *Wind Exposition Index* [Software]. SAGA GIS. <https://saga-gis.sourceforge.io/>
- Cetinkaya, C., Özceylan, E., & İşleyen, S. K. (2021). Emergency shelter site selection in Maar Shurin community of Idlib (Syria). *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11(2), 187–210. <https://doi.org/10.5325/transportationj.60.1.0070>
- Coles, S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- Consejo de Estado de la República de Cuba. (2023). *Decreto-Ley 77/2023 De la zona costera*. Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A. K., Toledano, J., & Jin, W. (1995). Raster procedures for multi-criteria/multiobjective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5), 539–547.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436(7051), 686–688. <https://doi.org/10.1038/nature03906>
- Federal Emergency Management Agency. (2020). *Hurricane evacuation shelter criteria and standards* (FEMA P-431). U.S. Department of Homeland Security.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press.
- International Organization for Migration. (2012). *Technical standards and practice: Site selection and site planning*. <https://www.iom.int>
- International Organization for Migration. (2016). *Displacement Tracking Matrix (DTM)*. Global DTM. <https://www.globaldtm.info>
- Jiao, Y., & Feng, Z. (2024). Scenario-specific spatial accessibility analysis for emergency shelters in earthquake-prone areas. *International Journal*

- of Disaster Risk Reduction, 108, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104456>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(3), 249–268. <https://doi.org/10.1080/13658810500261082>
- Nayyeri, M. J., Hashemkhani Zolfani, S., & Torkayesh, A. E. (2024). Location of disaster management bases using spatial analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 112, 104056. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104056>
- Oficina Nacional de Normalización. (1999). *NC 23:1999 Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales*. ONN.
- Pederson, P., Dudenhoeffer, D., Hartley, S., & Permann, M. (2006). *Critical infrastructure interdependency modeling: A survey of U.S. and international research* (INL/EXT-06-11464). Idaho National Laboratory.
- Pielke, R. A., Jr., Gratz, J., Landsea, C. W., Collins, D., Saunders, M. A., & Musulin, R. (2008). Normalized hurricane damage in the United States: 1900–2005. *Natural Hazards Review*, 9(1), 29–42. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:1\(29\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:1(29))
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s. f.). *Disaster risk assessment*. <https://www.undp.org>
- Sphere Association. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). <https://doi.org/10.3362/9781908176764>
- Wang, Y., Li, Y., & Liu, X. (2024). Ontology-based shelter site selection using fuzzy AHP-TOPSIS for earthquake disaster response. *Expert Systems with Applications*, 238, 121845. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121845>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses financieros o personales que puedan haber influido en la realización de este artículo.

Contribución de autores: **Conceptualización:** Jorge Olivera Acosta, Sonia Karakadze Díaz, Roberto Pérez de los Reyes, Liliana Pino. **Curaduría de datos:** Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez, Leyani Izquierdo Barrera. **Análisis formal:** Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez, Roberto Pérez de los Reyes. **Investigación:** Sonia Karakadze Díaz, Liliana Pino, Leyani Izquierdo Barrera. **Metodología:** Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez, Roberto Pérez de los Reyes. **Administración del proyecto:** Sonia Karakadze Díaz, Liliana Pino. **Software (geoprocesamiento):** Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez. **Supervisión:** Sonia Karakadze Díaz, Liliana Pino, Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez. **Validación:** Jorge Olivera Acosta, Sergio Lorenzo Sánchez. **Visualización:** Roberto Pérez de los Reyes, Sergio Lorenzo Sánchez, Liliana Pino, Jorge Olivera Acosta. **Redacción (borrador original):** Jorge Olivera Acosta. **Redacción (revisión y edición):** Roberto Pérez de los Reyes, Sonia Karakadze Díaz, Sergio Lorenzo Sánchez, Leyani Izquierdo Barrera.