

# Disaster response logistics based on social assistance programs.

## Case study: Earthquake risk in Bogotá-Colombia

Logística para la respuesta a desastres basada en programas de asistencia social.  
Caso de Estudio: Riesgo de Terremoto en Bogotá-Colombia

F. Rueda-Velasco  ; C.A. López-Bello  ; G.D. Parada-Caro  ; A. Garzón-Luna  ;  
J. Marroquín-Ávila 

**Abstract**— The Social Assistance Programs support vulnerable population or living in poverty, some of them, produce and distribute food. Those programs have access to a significant number of vulnerable people, move large freight quantities, wide geographical coverage, and mainly, have a social purpose. Such features make social assistance programs able to be adapted and prepared to support the response against disruptive events as natural disasters. Nevertheless, the potential adaptation of social assistance programs does not have any attention from other publications. This paper uses the adaptation concept in a program called Bienestarina, which could support the disaster response in an earthquake risk scenario in the City of Bogotá-Colombia. The methodology has 5 phases: (i) A description of Bienestarina Supply chain was made, (ii) The earthquake scenario and the possible impacts on the population was described, (iii) the potential vulnerability of the Bienestarina network in the earthquake scenario was evaluated, (iv) a set of mathematical programming models for planning the disaster response was proposed, and (iv) quantification of the potential impact of the Bienestarina adaptation was shown. The results describe a feasibility integration of the social assistance program to respond to the selected risk scenario. The research value is mainly the evaluation of the integration of social assistance programs capabilities with the disaster response efforts and, in a second way, the formulation of mathematical programming models for planning the disaster response. The proposed models consider the network vulnerability and the concept of “Safety zones” for facility location.

**Index Terms**— Disaster Response, Facility Location Problem, Humanitarian Logistics, Risk Management and Social Assistance Programs.

Este manuscrito fue enviado el 30 de mayo 2020 y aceptado el 04 de septiembre de 2020.

F Rueda-Velasco es profesor asistente e Investigador Grupo de Investigación ARCOSES, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas e Investigador del Grupo de Investigación Sociedad, Economía y Productividad -SEPRO- de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia (e-mail: fjruevad@udistrital.edu.co).

C. López-Bello es profesor asociado, Facultad de Ingeniería Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Investigador del Grupo de Investigación

**Resumen**— Los programas de asistencia social tienen como propósito brindar apoyo a la población vulnerable o en condiciones de pobreza, algunos de ellos a través de la producción y distribución directa de alimentos. Dada su integración con la población vulnerable, sus capacidades para movilizar carga, la amplia cobertura geográfica y sobre todo su orientación social, dichos programas podrían ser adaptados y preparados para servir como sistema de apoyo ante eventos disruptivos como los desastres naturales. Sin embargo, dicha adaptación hasta ahora no ha sido mencionada en la literatura. Este artículo propone la adaptación de un programa de asistencia social llamado *Bienestarina*, para la atención de un riesgo de terremoto en la Ciudad de Bogotá-Colombia. Para ello se implementó una metodología de 5 fases, con la cual se identificaron los elementos constitutivos de la cadena de suministro, se determinó un escenario potencial de riesgo de terremoto y el posible efecto del mismo sobre las capacidades de la red. La información obtenida fue el soporte para el diseño de los modelos matemáticos propuestos, a través de los cuales se evaluó un escenario de riesgo con variaciones en los parámetros de capacidades y demandas de asistencia humanitaria, obteniendo así un marco de resultados que permiten entrever la bondad de la integración de este programa en la respuesta a desastres.

El aporte principal de la investigación es la evaluación de la integración de las capacidades de los programas de asistencia social para la respuesta a escenarios de desastre, y de manera accesoria la formulación de modelos matemáticos para la planificación de la respuesta considerando la vulnerabilidad de la infraestructura y el uso de concepto de “Zonas seguras” para la localización de instalaciones.

ARCOSES de la misma institución. Bogotá, Colombia (e-mail: clopezb@udistrital.edu.co).

G. Parada-Caro es Magíster en Ingeniería Industrial egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia (e-mail: gdparadac@correo.udistrital.edu.co).

A. Garzón-Luna es Magíster en Ingeniería Industrial egresada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia (e-mail: jagarzonl@correo.udistrital.edu.co).

C. Marroquín-Ávila es Magíster en Ingeniería Industrial egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. (e-mail: jmarroquina@correo.udistrital.edu.co).



**Palabras claves— Atención a desastres, Problema de Localización de Instalaciones, Logística Humanitaria, Gestión del Riesgo y Programas de Asistencia Social.**

## I. INTRODUCCIÓN

La perspectiva de análisis y comprensión de los fenómenos disruptivos que pueden impactar a la sociedades, así como los mecanismos para mitigar los efectos de éstos, ha evolucionado en gran medida en las últimas décadas. Es así como una visión más profesional ha acompañado el estudio de las operaciones para la atención de desastres -naturales o aquellos ocasionados por el hombre-[1], surgiendo así un área de especial interés investigativo: la Logística Humanitaria, en adelante HL, por sus siglas en inglés.

El número de publicaciones centradas en HL (2 publicaciones en 2006, frente a 43 publicaciones en 2019, según el servicio de indexación Scopus®) refleja un crecimiento significativo del área del conocimiento igualmente coherente con el incremento de las cifras de pérdidas humanas y económicas causadas por diferentes eventos alrededor del mundo.

Información reciente refleja que los eventos naturales han generado reiterativamente impactos devastadores en la sociedad. En 2018 se reportaron alrededor del mundo 315 eventos naturales que provocaron 11.804 muertes, más de 68 millones de personas afectadas y pérdidas económicas que ascendieron a los 131,7 mil millones de dólares [2]. Un análisis más detallado de estas cifras permite situar a los terremotos como el tipo de evento con mayor índice de mortalidad, responsable del 45% de las muertes por desastres naturales en 2018. En adición a ello, los efectos devastadores ocasionados por los movimientos telúricos se reflejaron con mayor crudeza en el Terremoto de Haití, el cual dejó un saldo de 225.570 decesos en 2010 [3].

Colombia no es un país alejado del riesgo a terremotos e incluso está ubicado en una de las zonas sísmicas más activas de la Tierra, concentrando aproximadamente el 83% de su población en zonas de amenaza intermedia o alta [4]. Bogotá, la capital del país, se encuentra en una zona de amenaza intermedia, dado que se encuentra ubicada aproximadamente a 40 km del sistema de Falla Frontal de la cordillera oriental, falla que tiene el potencial de generar sismos de magnitudes importantes [5]. Por otra parte, en la ciudad se han percibido desde 2009, el 41,66% del total de sismos del país [6]. Por ejemplo, en 2019 los 3 sismos con epicentro en Mesetas-Meta y uno con epicentro en los Santos-Santander fueron clasificados como de intensidad 5 en la escala EMS-98 “*sentido fuertemente*”. También se observa un incremento en el número de sismos con afectación alguna en la población bogotana, con un aumento del 126,8% entre el 2018 y el 2019 [6]. Estos antecedentes, así como el alto nivel poblacional de la capital (7.743.955 de habitantes, que representa el 15,37% de la población total del país, según proyección de población a 2020 informada en [7]), motivan el estudio de estrategias para

disminuir los perjuicios que puedan ser ocasionados por un terremoto de mayor magnitud e intensidad, con epicentro cercano a Bogotá.

Como se mencionó en párrafos anteriores, el estudio de carácter científico de la administración de desastres, incluyendo los eventos naturales, está contenido en el área de HL [1], [8], la cual a su vez ha sido dividida en Logística Humanitaria Regular y Logística Humanitaria de Post-Desastre (R-HL y PD-HL por sus siglas en inglés) [9]. Las operaciones efectuadas en la estela de una catástrofe hacen parte del campo de análisis de la PD-HL, dentro de la que se han identificado importantes retos: la coordinación efectiva de los actores en las labores de respuesta [10] y el mejoramiento de la distribución de ayudas, especialmente en la conexión con la comunidad afectada, también llamada última milla [11]; La presente investigación pretende aportar a los desafíos que se han identificado en esta materia.

Para afrontar los retos de coordinación y aumentar la capacidad de respuesta ante los eventos de desastre, se han propuesto estrategias de colaboración con cadenas de suministro del sector privado y proveedores de servicios logísticos [12]–[14], o incluso apoyándose en el sector defensa [15], [16]. Sin embargo existen redes como las construidas por los programas de asistencia social que no han tenido suficiente atención en la literatura en HL.

Los programas de asistencia social brindan apoyo a las personas y hogares en condiciones de pobreza [17], ayuda que puede traducirse en ingresos económicos (dinero) y/o apoyo en especie, atienden a una población vulnerable claramente identificada, cuentan con un sistema logístico claramente constituido, amplia cobertura geográfica y usualmente mueven constantemente grandes cantidades de carga. Estas características, así como su propósito social, las hacen atractivas para su integración como redes activas en la respuesta a desastres.

El programa social de *Bienestarina* en Colombia es un ejemplo de esta última clasificación, cuyo objetivo es producir y distribuir alimentos de alto valor nutricional para la población más vulnerable del país [18]. El producto más importante de dicho programa es la *Bienestarina Más*®, un complemento de presentación en polvo compuesto de una mezcla fortificada de leche y cereales.

Su cadena de suministro cuenta con 6 eslabones representados en 15 proveedores, 2 plantas de producción, 21 bodegas regionales, aproximadamente 5.000 puntos de entrega primarios –PEPs- localizados en 1.056 municipios, 112.000 unidades ejecutoras que, finalmente, benefician a una población aproximada de 4.500.000 [19]. Dicha cadena alcanzó en 2015 un hito de producción y distribución cercano a las 18.000 toneladas al año [20] y está diseñada para producir 22000 toneladas por año [21]. A su vez el programa representa una conexión directa del estado con población en condiciones de

vulnerabilidad alimentaria (especialmente niños) y sus familias, además de experticia en el manejo de alimentos y protocolos de salubridad [19].

A pesar de lo anterior, la literatura no concentra esfuerzos para evaluar el potencial de este tipo de cadenas para apoyar en la planificación y respuesta ante eventos disruptivos, como los desastres naturales. Por ello el presente artículo presenta una alternativa para la respuesta a desastres integrando las capacidades encontradas en los programas de asistencia social, en el marco de la respuesta ante un terremoto en la Ciudad de Bogotá y empleando las capacidades nominales del programa de asistencia social de *Bienestarina*.

Con este propósito, inicialmente se caracteriza el sistema logístico del programa de Bienestarina y sus capacidades para la ciudad de Bogotá. Posteriormente se evalúan los potenciales daños ante un terremoto en la ciudad y se determina la vulnerabilidad de la infraestructura de la red de *Bienestarina* ante dicho escenario de riesgo. Posteriormente se diseñan modelos de programación matemática para generar escenarios de respuesta ante el desastre, particularmente para la localización de instalaciones y planificación de la distribución de ayudas a través de la red de *Bienestarina*.

Desde el punto de vista de los esfuerzos de planeación a desastres basados en programación matemática, es importante mencionar que si bien en la literatura de logística humanitaria, diferentes autores han abordado la localización de instalaciones, el preposicionamiento del inventario (e.g. [22]–[27]). El factor común de estas publicaciones es que el diseño y configuración de la red “complementaria” tiene origen en infraestructura no existente o en locaciones “potenciales” que no pertenecen a redes integradas y no contemplan, por tanto, alternativas como la adaptación de redes ya operantes. En contraria vía, el presente artículo propone emplear la capacidad de una red ya establecida, con experticia logística y conocimiento de la población vulnerable.

Adicionalmente se tiene como novedad en el ámbito de logística humanitaria, la adaptación del concepto de zonas seguras para la localización de centros de distribución. Dicho concepto se basa en el planteamiento hallado en el contexto de logística militar, en el cual estas delimitaciones geográficas responden a “*la imposibilidad práctica de localizar centros logísticos en cualquier coordenada del teatro de operaciones*” [28].

De manera diferencial, las zonas seguras propuestas en esta investigación tienen como propósito limitar las regiones factibles de localización a aquellas con bajo riesgo de afectación ante la materialización de un terremoto en la capital colombiana, atendiendo así la observación de [29], trabajo en el que se plantea que “...*Tener en cuenta la confiabilidad es una tarea importante y decisiva para enfrentar desastres naturales que están llenos de incertidumbres y riesgos...*”.

Los resultados expuestos en este artículo pretenden ser el

punto de referencia para el análisis de estructuras de similar naturaleza en otros contextos geográficos.

## II. ANTECEDENTES

### A. Programas de Asistencia Social

Los Programas de Asistencia Social (SAP por sus siglas en inglés) tienen como propósito redistribuir los ingresos y recursos a la población más necesitada, con el fin de ayudarles a superar la pobreza y, por ende, hacen parte del conjunto de medidas que conforman el sistema de seguridad pública de las naciones [30].

Son múltiples las estrategias implementadas por los gobiernos para alcanzar el objetivo descrito, por lo que ha surgido un diverso portafolio de medidas de redistribución de los ingresos. La literatura resalta, entre otras formas, la transferencia en efectivo (Ej. subsidios por hijos), transferencia en especie (Ej. comida o subsidios de vivienda), el apoyo a través de la provisión de empleo en obras públicas a la integrantes de familias de menores ingresos e, incluso, llegan a considerarse los sistemas de seguro social (pensiones), como parte de los SAPs [30], [31].

En [31] el autor efectúa una evaluación discriminada sobre el impacto que tienen los diferentes tipos de programas en cuanto a cobertura y equivalente diario en dólares de la ayuda brindada. Para Latinoamérica y el Caribe los resultados reflejan que las transferencias en dinero llegan a un 43,41% de los habitantes más pobres, mientras que los programas relacionados con transferencia en especie y alimentación escolar apoyan al 28,52% de la población de menores ingresos. La equivalencia en dólares del apoyo diario por persona, en el mismo orden, es de US\$1,17 y US\$0,52.

*Bolsa Familia* en Brasil, *Progres-Oportunidades-Prospera* en México o *Familias en Acción* en Colombia son ejemplos de estrategias de transferencia en efectivo [31]; *Long Day Care Centers (LDCC)* en Australia, *Federal Emergency Food Assistance (TEFAP)* en Estados Unidos [32], el *Programa de Alimentación Complementaria (PNAC)* en Chile, *LICONSA* en México y *Bienestarina* en Colombia son, por su parte, ejemplos de programas de asistencia social del tipo “transferencia en especie”, cuyo objetivo generalizado es llevar a la población de escasos recursos los nutrientes necesarios esenciales para la vida y el crecimiento, mitigando con ello los riesgos de desnutrición.

*Bienestarina*, programa de interés de la presente investigación, distribuye suplementos nutricionales a niños, adolescentes, mujeres embarazadas, madres lactantes, ancianos y familias vulnerables o en riesgo de desnutrición, en todo el territorio nacional [33], mediante una cadena de suministro que se describirá en detalle más adelante.

### B. Estructuras logísticas de respuesta a desastres

La respuesta a desastres en el ámbito de investigación científica se encuentra enmarcada en el campo de la Logística Humanitaria (HL), definida como el conjunto de "...procesos y sistemas involucrados en movilizar personas, recursos, habilidades y conocimiento para ayudar a la población vulnerable, afectada por un desastre..." [1].

En [8] se hace una importante distinción entre dos corrientes de la HL: labor continua de ayuda y atención a desastres; apreciación compartida en [9], donde a la rama concerniente a las operaciones cuyo propósito principal es la recuperación a largo plazo y/o la asistencia humanitaria se le denomina Logística Humanitaria Regular (R-HL por sus siglas en inglés), y a las operaciones logísticas en la estela de los eventos disruptivos se les denomina Logística Humanitaria Post-desastre (PD-HL).

Sobre la R-HL, las investigaciones posteriores son limitadas, debido a que la vinculan de manera estrecha al comportamiento de la logística comercial.

Frente a la PD-HL, en [9] se definen claramente características que la distinguen de la logística comercial y se presenta un marco sobre 7 necesidades de investigación, dentro de las que se resalta: 1) estudiar los mecanismos para incrementar la resiliencia de las redes sociales para asegurar su participación efectiva en la respuesta a los desastres, y 2) estudiar las políticas del sector público (Ej. alianzas público-privadas) que incrementen la resiliencia de la comunidad y, en general, la eficiencia de la respuesta al desastre. El presente artículo atiende, simultáneamente, estas dos líneas de investigación propuestas.

De manera paralela a la investigación citada en el párrafo anterior fue publicado el trabajo [34], en el que se define una tipología de estructuras logísticas de post-desastre. Dicha clasificación tuvo como base el análisis de los diferentes esfuerzos adelantados por diversos entes para la atención a los afectados en el terremoto de Puerto Príncipe-Haití, en 2010.

Los autores encontraron que las operaciones de respuesta a este desastre podían ser categorizados en una de 3 estructuras, a saber: Esfuerzo Centrado en Agencias, Esfuerzos Parcialmente Integrados o Redes de Ayuda Colaborativa - ACEs, PIEs o CANs respectivamente por sus siglas en inglés-. El factor diferenciador entre las estructuras es, principalmente, el grado en que cada una de ellas logra integrarse con las redes sociales locales para la distribución de ayuda. En este sentido, en las ACEs las operaciones son ejecutadas por grupos foráneos, con poca o nula integración con los locales. Las CANs, por su parte, son esfuerzos completamente locales, ejecutados por grupos o individuos que son parte de la comunidad impactada y que, a su vez, hacen parte de una red mayor cuyo propósito típicamente no es la atención a desastres (Ej. Servicio Social de Iglesias).

Como una idea de bastante relevancia los autores plantean que "*existe un grado de complementariedad entre los grupos foráneos y las CANs*", por lo que destacan la necesidad de integrar las CANs como aliados clave en la atención a desastres, en tanto "*son las únicas redes logísticas/humanas que podrían asumir el desafío de la distribución local después de un gran desastre urbano de un evento catastrófico*".

Esta integración, según los autores, requiere de una estructura logística en la que los grupos foráneos transporten grandes volúmenes de suministros a los sitios de desastres, dejando a cargo de las CANs la distribución local, labor que en [35] es catalogada como la parte más desafiante de todo el proceso de la Logística Humanitaria de Post-Desastre.

Enmarcado en dichas ideas, este artículo propone emplear la cadena de suministro de Bienestarina como soporte a la atención a desastres, considerando que, de potenciar sus características inherentes, podría llegar a apoyar en gran medida la efectiva distribución de ayudas ante un desastre, puesto que posee simultáneamente los rasgos positivos de las ACEs (capacidad de distribución de grandes volúmenes) y de las CANs (integración con el entorno local).

### C. Modelamiento matemático en Logística Humanitaria.

Son considerables los aportes en investigación tendientes a mejorar las condiciones de eficiencia y gestión de las cadenas logísticas comerciales, hallándose en la literatura numerosos trabajos sobre modelos analíticos robustos que buscan optimizar el desempeño de las cadenas de suministro tradicionales. Sin embargo, como se menciona en [10] y [9], los avances relacionados con logística humanitaria, sus estrategias de coordinación, y la cantidad de estudios empíricos asociados a este tema son menores, en comparación con el campo de la logística comercial, ampliamente abordada. "*Las organizaciones humanitarias tienen cerca de 15 años de retraso frente a la implementación de cadenas logísticas eficientes, comparadas con sus homólogas en el sector privado*" [1].

En el ámbito de modelamiento matemático, la disparidad entre los avances alcanzados en el entorno comercial frente a los logros del entorno humanitario se hace evidente al considerar que en [9] se estableció la necesidad de plantear funciones objetivo adecuadas que sirviesen como métrica para emplear en modelos matemáticos de PD-HL; En el 2012, año de dicha publicación, incontables funciones objetivo de múltiples problemas y dilemas del sector comercial habían sido ya definidas, probadas y satisfactoriamente implementadas.

Con relación a ello, en [36] se propuso una función objetivo para ser empleada en los modelos matemáticos de PD-HL, la cual contempla el uso de costos sociales, que incluyen los costos de privación y los costos propiamente logísticos. Un reciente estudio indica que los costos de privación han sido aplicados en múltiples fases de la administración del desastre y

en múltiples tipos de problemas de investigación [37].

Se han desarrollado modelos matemáticos específicos para aplicar en el contexto de respuesta a emergencias, teniendo en cuenta los elementos constitutivos de la función objetivo propuesta en [36]. Es así como en la investigación [38] se define un modelo de redes de flujo para la selección dinámica de instalaciones temporales de distribución y asignación de recursos para minimizar la suma de los costos de privación (penalidad por demora en la entrega) y los costos logísticos en la distribución de ayudas (costos fijos, costos de transporte y distribución). El modelo propuesto tiene la particularidad que permite asignar y mover recursos a lo largo del tiempo para garantizar que se suplen todos los requerimientos de los diferentes puntos de demanda al finalizar el horizonte de planeación, una idea de cierto modo opuesta al planteamiento de [9], en donde se menciona que los costos de privación están asociados con demandas no acumulables a través del tiempo.

En [39] se propone un modelo que determina la localización y el número de centros de distribución de una red de socorro, y la cantidad de suministros a ser almacenados en cada uno de los centros de distribución para atender las necesidades de los afectados por un desastre.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el alcance de la logística humanitaria no se limita únicamente a la intervención reactiva frente a un desastre, sino que contempla también las estrategias de preparación para emergencias, en la literatura se encuentran modelos matemáticos que se sustentan en este principio; ejemplo de lo anterior es el trabajo [40], en el cual bajo el precepto que una de las mejores estrategias para maximizar la efectividad de las cadenas de suministro humanitarias es mantener stock en centros de acopio pre-posicionados, se identifican los criterios claves para seleccionar la ubicación adecuada del centro de acopio, a través de un proceso de análisis jerárquico.

En los trabajos [22] y [23] se evalúan también alternativas de pre-posicionamiento de suministros necesarios para la atención de desastres, lo que inherentemente conlleva decisiones de localización de instalaciones. Lo anterior muestra la imperante tendencia de esta estrategia de mitigación de riesgo en la HL, hecho que se cuantifica en [41], trabajo que indica que el stock estratégico es, de lejos, la estrategia de administración de riesgo más empleada en HL (utilizada en el 69% de los trabajos analizados a través de revisión literaria). Esta estrategia a su vez está enmarcada en el principio de redundancia de la estructura de la cadena de suministro mencionado en [42], el cual ha de contribuir al aumento de la resiliencia de la misma y, con ello, a su capacidad de recuperarse y responder efectivamente ante los eventos disruptivos.

La revisión sobre las publicaciones asociadas a esta estrategia de administración de riesgo en HL muestra una tendencia a proponer el pre-posicionamiento de stock en instalaciones nuevas o locaciones “potenciales” que no

pertenecen a redes integradas, sino a lugares definidos como “factibles” bajo criterios subjetivos (Ej. escuelas). Propuestas de este estilo se encuentran en [24]–[27]. En [43], trabajo que aborda el “preposicionamiento integrado” que combina los objetivos de operaciones de respuesta a emergencias y operaciones de largo plazo lideradas por el Alto Comisionado de Naciones Unidas para los refugiados -UNHCR por sus siglas en inglés-, también se propone un rediseño de la red existente, partiendo de infraestructura potencial que habría que ser construida.

A diferencia de los anteriores aportes, el presente trabajo plantea la posibilidad de robustecer la operación humanitaria de atención al desastre a través de la integración de una cadena logística ya constituida, altamente conectada con la población, que cuenta con una importante cantidad de puntos de entrega operantes con los que se distribuye periódicamente suplemento alimenticio a las familias vulnerables en Colombia.

#### *D. Análisis de estrategias de cooperación entre las redes logísticas de atención a desastres y otras cadenas de suministro*

Desde los primeros trabajos formales y específicos sobre HL se estableció el principio de cooperación como uno de los 5 elementos clave para producir resultados efectivos en la respuesta a desastres [1], haciéndose énfasis en que la coordinación y análisis de alianzas estratégicas con la industria o entre organizaciones humanitarias es una de las áreas en las que los académicos pueden ofrecer su conocimiento para obtener resultados positivos.

Un estudio más general dentro del área de la Logística, también recalca que el establecimiento de relaciones efectivas de colaboración es una piedra angular en la gestión de cadenas de suministro en tiempos de crisis y desastres [44].

Con base en estos principios, han sido estudiadas estrategias para obtener apoyo del gobierno, de otras entidades humanitarias, del sector militar, o producto de alianzas público-privadas. Sobre estas últimas, en [12] se citan ejemplos reales de cooperación entre compañías como TNT, DHL, UPS e IBM, con agencias de atención a desastres, aseverando que la experticia, tecnología e infraestructura del sector comercial puede contribuir al desarrollo de eficientes cadenas de atención. Como parte de las conclusiones de dicho trabajo se indica que es necesario continuar con las investigaciones para determinar la manera en que el sector humanitario pueda trabajar mejor con otros sectores, determinando los motivos comunes para el desarrollo de alianzas basadas en la confianza y la colaboración.

En [13] se afirma que las alianzas público-privadas actúan como facilitadores de resiliencia durante la respuesta post-desastre, pero indican que una de las grandes barreras para la consolidación de estas relaciones es el grado de confianza entre las instituciones públicas y privadas, lo cual impide tomar decisiones urgentes si no se cumplen con los formalismos de una relación contractual y su rígido control de ejecución. Esta

idea sobre la falta de confianza se reafirma en [45], trabajo en el que se propone a los proveedores de servicios logísticos (LSP por sus siglas en inglés) reevaluar los motivos por los cuales contribuyen a las operaciones de respuesta a desastres, puesto que más que estar comprometidos con una causa social, son motivados por decisiones estratégicas, responsabilidad social corporativa y publicidad, lo que obstruye la consolidación de relaciones colaborativas fuertes.

En [46] los autores reiteran la necesidad de analizar estrategias de colaboración y coordinación entre sectores para fortalecer la cadena de atención de desastres, mencionando como crucial la integración de la comunidad. Frente a esto último, de manera tangencial en [47] se evalúa la potencial colaboración que podrían brindar comunidades técnicas voluntarias (VTC, por sus siglas en inglés) para recopilar, gestionar y proveer oportunamente información en apoyo a la respuesta a desastres (Ej. infraestructura y población afectada).

En un trabajo posterior, en el que se evalúan las estrategias de mitigación de riesgo empleadas en las cadenas de suministro humanitarias se insiste en la necesidad de estudiar detalladamente la manera en que organizaciones humanitarias puedan trabajar con LSPs, de modo que se desarrolle una base flexible de suministro [41]. En esta misma línea, [48] introduce un nuevo concepto denominado Colaboración Público-Privada en emergencias (PPEC por sus siglas en inglés), indicando que bajo este esquema la cadena de suministro comercial de bienes y servicios puede complementar la cadena de suministro de atención a desastres, logrando con ello mejorar la respuesta a la crisis, de manera significativa.

Pese a que, como lo reflejan las citadas publicaciones, la investigación en torno a la cooperación en logística humanitaria ha cobrado mayor relevancia, se observa una marcada tendencia a evaluar alianzas con el sector privado, con lo que se han dejado de lado otras alternativas válidas, e incluso más cercanas por la similitud de sus objetivos: la integración con redes de asistencia social humanitaria regular.

A la luz de la literatura consultada, las orientaciones en Logística humanitaria post-desastre no abordan específicamente la potencial cooperación entre las cadenas de respuesta a desastres y cadenas logísticas que soportan programas de asistencia social continua del tipo transferencia en especie, en adelante SC-SAP. En esta investigación se evalúa, como parte de la planificación de la respuesta a un desastre en Bogotá, el grado en que una SC-SAP puede brindar apoyo.

### III. METODOLOGÍA

En aras de cuantificar el grado de apoyo de una SC-SAP ante la ocurrencia de un desastre, fue necesario implementar un proceso metodológico que permitió recolectar información sobre las capacidades, la localización de infraestructura, riesgos físicos ante el tipo de desastre estudiado, la demanda potencial

de suministros, entre otros valiosos insumos.

La metodología que se expone en la Fig. 1, además de ser aplicable en este caso de estudio, se estima replicable para otros contextos geográficos, u otras cadenas de asistencia social regular.

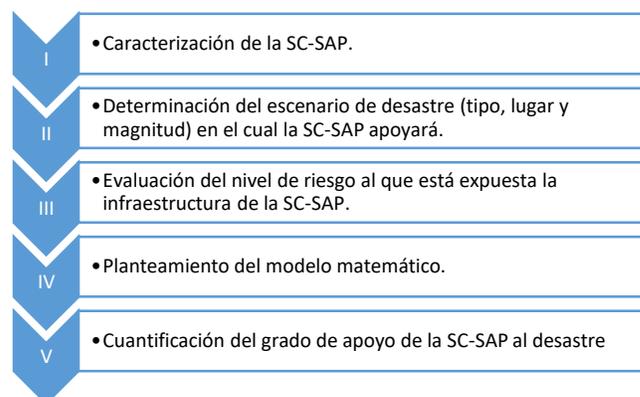


Fig. 1. Metodología de investigación.

**I - Caracterización de la SC-SAP:** Consistió en la identificación de los elementos constitutivos de la SC-SAP. Como resultado de esta fase se contó con información sobre la infraestructura de la red (almacenes, puntos de distribución, plantas de producción, si aplica, etc.), la disposición geográfica de dicha infraestructura, los flujos que caracterizan el movimiento de suministros a lo largo de la red, las capacidades de almacenamiento y distribución, así como las características de la población regularmente atendida por la SC-SAP, incluyendo, como elemento clave, el número de beneficiarios.

**II - Determinación del escenario de desastre (tipo, lugar y magnitud) en el cual la SC-SAP apoyará:** Fue necesario determinar entre otros factores, el tipo de desastre a evaluar (natural-terremoto), la zona afectada, así como la magnitud del evento y su potencial impacto sobre la infraestructura del área implicada.

Esta fase de la metodología se estima de gran importancia debido a que, como se menciona en [29], en la literatura prima la tendencia de generalizar los modelos y resultados obtenidos por cada publicación, mencionando que los métodos empleados son aplicables a cualquier tipo de desastre (70% de papers revisados en coinciden en esta afirmación); generalización que los autores consideran poco realista, en tanto "*cada desastre tiene diferentes características y consecuencias*", idea que es compartida en la presente investigación.

Por lo anterior, luego de la revisión de trabajos técnicos de evaluación de riesgos de terremotos en la capital colombiana liderados por instituciones académicas e instituciones gubernamentales del orden distrital, se definió un escenario de riesgo específico bajo el cual se evaluó el potencial aporte de la SC-SAP de Bienestarina.

III - Evaluación del nivel de riesgo al que está expuesta la infraestructura de la SC-SAP: La definición del escenario de desastre fue insumo para determinar el efecto que tendría éste sobre la infraestructura de la SC-SAP, de modo que se evaluó la pérdida de capacidad logística (almacenamiento, distribución) e, incluso, se determinaron aquellos puntos que, en lugar de ayudar a la atención del desastre, se convertirían en población afectada por el evento disruptivo y, por ende, demandarían suministros de asistencia.

IV - Planteamiento del modelo matemático: Se plantearon modelos matemáticos, acordes con la información obtenida en las fases anteriores, para evaluar, a un nivel táctico, el plan de distribución de ayudas desde la infraestructura de la SC-SAP que permanezca habilitada, hacia los puntos que demandan atención.

V - Cuantificación del grado de apoyo de la SC-SAP al desastre: A través del análisis de resultados obtenidos con las ejecuciones del modelo de la fase anterior, se determinó el grado de cobertura al desastre que podría ser soportado por la SC-SAP, así como los puntos atendidos parcial o totalmente y aquellos cuya demanda total fue insatisfecha.

#### IV. CARACTERIZACIÓN DE LA SC-SAP – BIENESTARINA MAS®

Al analizar la SC-SAP de Bienestarina se identificaron sus objetivos, componentes de su infraestructura, características de distribución, flujos y capacidades de ésta.

El programa de Bienestarina hace parte de las estrategias de seguridad social del gobierno colombiano y se soporta, como se muestra en la Fig. 2, en una cadena de suministro de 6 eslabones, con cerca de 15 proveedores, 2 plantas de producción -ubicadas en Cartago y Sabana Grande-, 21 bodegas regionales, aproximadamente 5.000 puntos de entrega primarios –PEPs- localizados en 1.056 municipios, 112.000 unidades ejecutoras que, finalmente, benefician a una población aproximada de 4.500.000 [19], mediante la distribución cercana a las 18.000 toneladas al año –datos de 2015 [20].



Fig. 2. Esquema de distribución de Bienestarina a nivel nacional. Fuente: [33]

El análisis enfocado en la ciudad de Bogotá refleja que en la capital colombiana se encuentran habilitados 658 puntos de entrega (13% aprox. del total de PEPs a nivel nacional), con los que se distribuye cerca del 6,07% de la carga nacional de Bienestarina (1.096 toneladas/año). Se determinó la localización de cada uno de estos puntos, a través de la búsqueda de las coordenadas geográficas (latitud, longitud) y su posterior conversión al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), obteniendo así la localización en términos de abscisas (x) y ordenadas (y), para posteriores cálculos de distancias y análisis gráficos. Frente a ello, en la Fig. 3 se muestra la distribución geográfica de los puntos de entrega de Bogotá y, en la Fig. 4, se muestra el mapa de Bogotá, dividido por UPZs<sup>1</sup> [53], con el número de cupos que se atienden en cada una de estas unidades de planeación zonal.

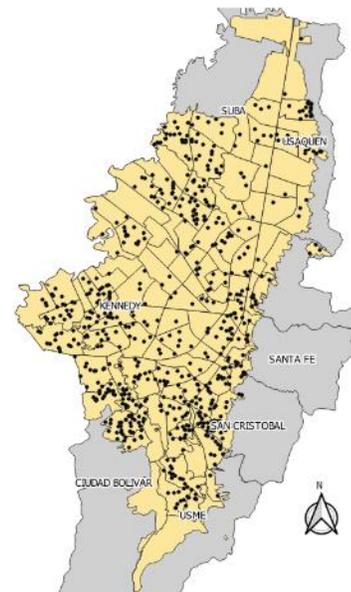


Fig. 3. Distribución geográfica PEPs en Bogotá.

<sup>1</sup> UPZ - Unidad de planeamiento zonal: Son áreas urbanas más pequeñas que las localidades y más grandes que el barrio. La función de las UPZ es servir de

unidades territoriales o sectores para planificar el desarrollo urbano en el nivel zonal.

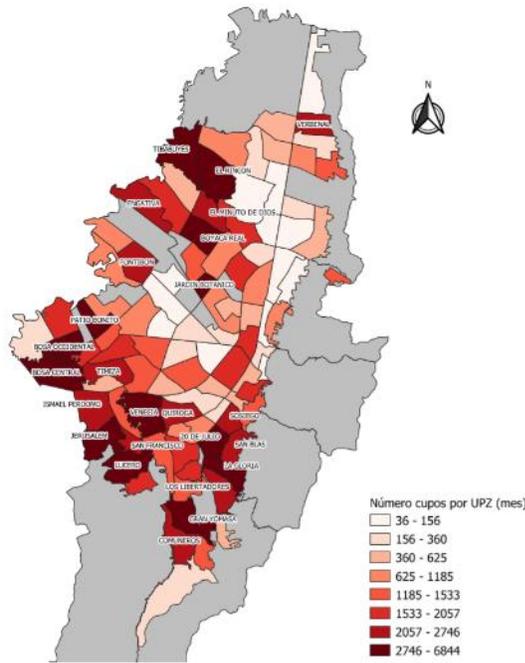


Fig. 4. Número máximo de cupos por UPZ en Bogotá.

Estas figuras reflejan una concentración importante de los beneficiarios del programa de Bienestarina en el sur de la ciudad, encontrándose allí la mayor cantidad de PEPs de la capital y, a su vez, 8 de las 13 UPZ con el mayor número de cupos, las cuales son Bosa Occidental, Bosa Central, Jerusalem, Venecia, Lucero, 20 de Julio, La Gloria, Gran Yomasa. Esta red de asistencia social llegó a atender mensualmente en 2015 a 139.856 beneficiarios del programa de Bienestarina en Bogotá, con un promedio de cupos de 212 beneficiarios por PEP.

Las cifras anteriores reflejan la importante capacidad de carga que maneja la SC-SAP propuesta en esta investigación, su destacable dispersión y cobertura geográfica y la alta integración con la comunidad beneficiaria lograda por medio del esquema de distribución localizada de cada PEP. Es así como confluyen en la red de asistencia social evaluada las positivas características tanto de las estructuras ACEs (capacidad de gestionar grandes volúmenes de suministros) como de las CANs (distribución local), resaltadas en [34].

Se tomaron como referencia los datos de 2015 debido a que, según la consulta de la información pública del ICBF, en este año se generó el mayor nivel de producción y distribución dentro del periodo 2013-2018.

V. DETERMINACIÓN DE ESCENARIO DE RIESGO – TERREMOTO EN BOGOTÁ.

Los terremotos son uno de los más devastadores tipos de desastres naturales [2] y, ante ellos, Colombia no es un territorio ajeno al riesgo [4]. Bogotá, por su parte, se encuentra en una zona de amenaza intermedia [5] y ha sido creciente el número de sismos del país que han tenido repercusiones en la capital [6].

Por ello, se tomó éste como el tipo de desastre natural para el cual evaluar el potencial apoyo de la SC-SAP de Bienestarina en la respuesta.

En el trabajo [49] se presenta la evaluación de posibles afectaciones a las edificaciones, líneas vitales y a la población ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la ciudad de Bogotá. Dicha evaluación se efectuó sobre 4 escenarios de amenaza, definidos a partir de los sismos probables (magnitud, distancia a la ciudad e intensidad sísmica).

En [50] se determinó el nivel de riesgo total ( $R_T$ ) por localidad y UPZ en Bogotá, para cada uno de los 4 escenarios de riesgo analizados en [49]. Este nivel de riesgo se estableció como función de indicadores de riesgo físico y del factor de agravamiento (sujeto, a su vez, a indicadores de fragilidad social y falta de resiliencia).

Para la presente investigación se tomaron los resultados del nivel de riesgo físico por UPZ para el escenario *4-Diseño Especial*, el cual considera un sismo generado por una fuente cercana con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter, a una distancia y profundidad de 15 Km.

VI. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO AL QUE ESTÁ EXPUESTA LA INFRAESTRUCTURA DE LA SC-SAP.

A través del software *QGis*® se sobrepuso la información de riesgo por UPZ a la capa de PEPs de la capital colombiana, con lo que cada punto de entrega adquirió la información de nivel de riesgo físico de su respectiva UPZ. Este resultado se muestra en la Fig. 5.

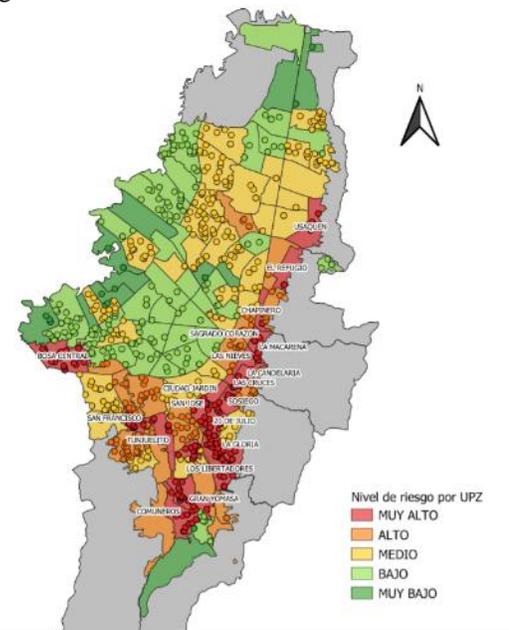


Fig. 5. Distribución por UPZ de los PEPs de Bogotá, con el respectivo nivel de riesgo físico al que se encuentran expuestos.

Esta figura evidencia un considerable porcentaje de PEPs ubicados en zonas con nivel de riesgo Muy alto o Alto (39,2%);

el 36,0% de puntos se encuentran en zonas de riesgo Medio y el restante 24,8% se localiza en zonas de riesgo Bajo o Muy Bajo.

Para el caso de estudio se asumió que:

- Aquellos PEPs que se encuentran en Zonas de riesgo físico Alto y Muy Alto, resultan afectados gravemente, razón por la cual su capacidad de almacenamiento y, por tanto, de distribución se reduce a 0 Kg/mes. Además de “abandonar” su papel como distribuidores, se convierten ahora en unidades de demanda, en tanto se asume que sus beneficiarios, localizados en zonas cercanas al PEP, resultan ser población impactada por el sismo y, por tanto, requieren kits de ayuda humanitaria para subsistir.
- Se asume que los PEPs localizados en las zonas de riesgo medio, bajo o muy bajo permanecen sin afectaciones mayores sobre su capacidad de almacenamiento/distribución habitual.
- La infraestructura remanente de esta SC-SAP apoya la distribución de ayuda humanitaria, encargándose de atender a la población beneficiaria habitual del programa de Bienestarina y, con ello, disminuyendo la población que ha de ser atendida por las estructuras tradicionales de atención a desastres (Ej. Cruz Roja, Defensa Civil, etc.).

A modo de análisis cruzado, se presentan simultáneamente en la Fig. 6 las UPZs con mayor capacidad y con mayor riesgo. Aquellas cuyo nombre aparece en el mapa tienen atributos de alta capacidad y alto riesgo. La Candelaria, 20 de Julio, La Gloria, Los Libertadores, Gran Yomasa, Comuneros, San Francisco y Bosa Central tienen un indicador de riesgo físico “muy alto”; La Sabana, Venecia y Lucero tienen nivel de riesgo “alto”. Esta información es de gran importancia, debido a que bajo este escenario de riesgo estos puntos que son relevantes para la distribución tradicional de Bienestarina a los beneficiarios finales, perderían su capacidad y demandarían atención, como se mencionó en los puntos previos.

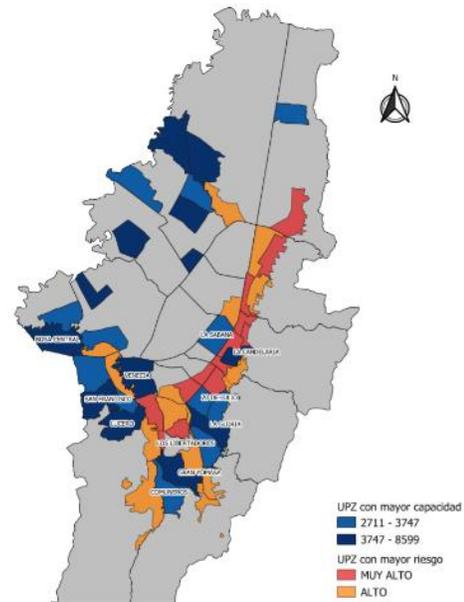


Fig. 6. UPZs con mayor capacidad, junto a UPZs con mayor riesgo.

## VII. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO

Se modelaron dos potenciales mecanismos de atención, que representan dos estrategias posibles de apoyo.

### 1) Primer respondiente

Este mecanismo de respuesta se basa en que los PEPs aún activos disponen de sus capacidades para distribuir kits de ayuda humanitaria a los PEPs afectados. Estos últimos, a su vez, se encargan de la “distribución de última milla” a las Unidades Ejecutoras y/o a los beneficiarios habituales del programa de Bienestarina que resultan afectados por el sismo. Este esquema puede ser visto como la conjunción entre las estructuras CAN y ACE planteadas en [34], debido a que se basa en la importante experticia y capacidad logística de la SC-SAP, así como en las fuertes relaciones previamente establecidas con la población afectada, el amplio conocimiento de las condiciones locales, la confianza entre quien presta y recibe la ayuda y, en general, en la destacable conectividad social (alto número de PEPs, alta cobertura).

El modelo matemático aquí presentado tiene enfoque táctico, por lo cual asigna los PEPs afectados que han de ser atendidos por cada PEP habilitado; la distribución final estaría soportada en la habitual experticia de los encargados de cada PEP para coordinar la distribución de ayuda humanitaria a las Unidades Ejecutoras y la capacidad de éstas, a su vez, para convocar y suministrar la ayuda a sus beneficiarios finales, sin desconocer la variabilidad propia de las condiciones y desafíos generados por el desastre. Este mecanismo de atención se expone gráficamente en la Fig. 7, en la que se evidencia que los PEPs habilitados (cuadrados), situados en zonas no afectadas por el desastre (zona amarilla), envían suministros a los PEPs afectados (círculos en zona roja o naranja), los cuales, a su vez, distribuyen las ayudas a sus unidades ejecutoras tradicionales (triángulos) o directamente a sus beneficiarios (estrellas). Una vez estén ubicadas las ayudas en las Unidades ejecutoras,

cuando así aplica, los beneficiarios pueden acudir allí para recibirlos.

Es importante resaltar que esta asignación de PEP no afectado a PEP afectado también es aplicable bajo la situación en que las vías de acceso vehicular a las zonas altamente impactadas por el terremoto hayan quedado inhabilitadas, en tanto los PEPs no afectados podrían servir como puntos de distribución localizada, a los cuales la población afectada llegaría a recibir ayuda, según la misma asignación de atención, evitando con ello colapso en un mismo punto por la inmanejable afluencia de demandantes. Esta situación se representa gráficamente en la Fig. 8.

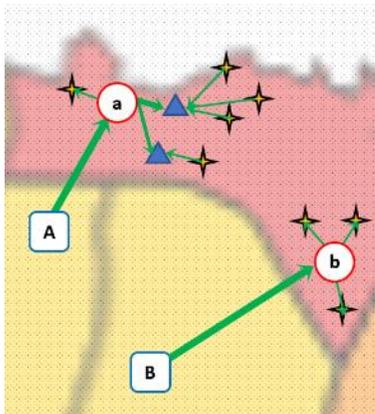


Fig. 7. Esquema atención Primer respondiente (a).

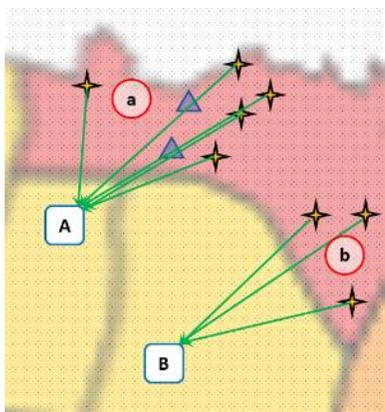


Fig. 8. Esquema atención Primer respondiente (b).

Los índices, variables y parámetros del modelo matemático utilizado para modelar el mecanismo de atención como primer respondiente se presentan en la Tabla I, siendo comparables a los empleados en un modelo tradicional de distribución.

TABLA I  
ÍNDICES, PARÁMETROS Y VARIABLES – PRIMER RESPONDIENTE

| Conjuntos de referencia |   |
|-------------------------|---|
| $i$                     | Índice que identifica al Punto de Entrega Primario –PEP que suministra kits de ayuda. $i=1,2,3,\dots,m$ |
| $i'$                    | Índice que identifica al PEP que recibe kits de ayuda. $i'=1,2,3,\dots,n$                               |
| Parámetros              |   |
| $Dist_{i,i'}$           | Distancia desde el PEP $i$ , hasta el PEP $i'$  |
| $D_{i'}$                | Demanda del PEP $i'$  |
| $C_i$                   | Capacidad del PEP $i$   |

| $M$                   | Big M. Valor considerablemente alto para penalizar la Demanda Insatisfecha.         |
|-----------------------|---|
| Variables de decisión |   |
| $X_{i,i'}$            | Cantidad de kits de ayuda humanitaria enviados desde el PEP $i$ , hasta el PEP $i'$ |
| $DI_{i'}$             | Demanda insatisfecha del PEP $i'$   |

Las ecuaciones empleadas en este modelo son:

$$Min F = \sum_{i=1}^m \sum_{i'=1}^n (X_{i,i'} * Dist_{i,i'}) + \left[ M * \sum_{i'=1}^n DI_{i'} \right] \tag{1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i'=1}^n X_{i,i'} \leq C_i, \forall i \tag{2}$$

$$(\sum_{i=1}^m X_{i,i'}) + DI_{i'} = D_{i'}, \forall i' \tag{3}$$

$$X_{i,i'}, DI_{i'} \geq 0 \tag{4}$$

La función objetivo mostrada en (1), busca minimizar, simultáneamente, la distancia ponderada de la distribución y la demanda insatisfecha; por su parte, en (2) se muestra la restricción de la capacidad para cada PEP habilitado y (3) presenta la ecuación de equilibrio de la demanda, para cada PEP afectado.

La restricción de no negatividad de las variables de decisión es mostrada en (4).

## 2) Ubicación de Bodega(s)

Otra de las estrategias comúnmente utilizadas para la distribución de ayudas en eventos de desastres es la “centralización” inicial de suministros en sitios específicos para desde allí, luego de procesos de clasificación de los bienes recibidos, distribuirlos a un siguiente eslabón, desde el cual se coordina la distribución final a las comunidades cercanas. La acción de la Cruz Roja Dominicana para la atención del desastre de Puerto Príncipe - Haití, descrita en [34] es un ejemplo de este esquema de apoyo.

En atención a esta estrategia, se presenta el modelamiento matemático que ubica un número de bodegas determinadas dentro de las zonas seguras de Bogotá, identificadas éstas como aquellas en las que el nivel de riesgo físico es bajo o muy bajo para el sismo del escenario 4, planteado en la literatura.

En la Fig. 9 se refleja el esquema propuesto, en el que desde la(s) bodega(s) instaladas(s) (ícono de cruz) se transportarán kits de ayuda hacia los PEPs no afectados (cuadrados) y, como se mencionó anteriormente, desde estos puntos se enviarán los suministros a los coordinadores de los PEPs afectados (círculos) para la posterior distribución de última milla a sus unidades ejecutoras (triángulos) o beneficiarios finales (estrellas).

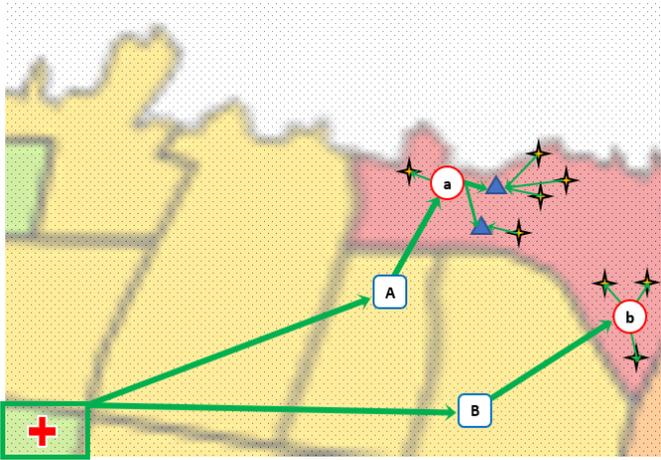


Fig. 9. Esquema atención Ubicación de Bodegas.

Por lo anterior, la(s) bodega(s) ha(n) de ubicarse en puntos cercanos a los PEPs no afectados con mayor capacidad de distribución.

Los índices, variables y parámetros del modelo matemático utilizado para modelar este mecanismo de atención se presentan en la Tabla II.

TABLA II

ÍNDICES, PARÁMETROS Y VARIABLES – LOCALIZACIÓN DE BODEGAS

| Conjuntos de referencia |  |
|-------------------------|--|
| $i$                     | Índice que identifica la Bodega a instalar. $i=1,2,3,\dots,m$  |
| $j$                     | Índice que identifica al Punto de Entrega Primario –PEP que entregará kits de ayuda. $j=1,2,3,\dots,n$   |
| $k$                     | Índice que identifica la zona segura parametrizada en la ciudad de Bogotá. $k=1,2,3,\dots,o$   |
| $l$                     | Índice que identifica al Punto de Entrega Primario –PEP que requiere kits de ayuda. $l=1,2,3,\dots,p$  |
| Parámetros              |  |
| $A_j$                   | Abscisa del PEP no afectado $j$  |
| $O_j$                   | Ordenada del PEP no afectado $j$   |
| $Cap_j$                 | Capacidad del PEP no afectado $j$  |
| $Dem_l$                 | Demanda del PEP afectado $l$   |
| $Dist_{j,l}$            | Distancia desde el PEP no afectado $j$ hasta el PEP afectado $l$   |
| $LX_k$                  | Límite inferior en Abscisas de la zona segura $k$  |
| $UX_k$                  | Límite superior en Abscisas de la zona segura $k$  |
| $LY_k$                  | Límite inferior en Ordenadas de la zona segura $k$   |
| $UY_k$                  | Límite superior en Ordenadas de la zona segura $k$   |
| $\#MF$                  | Número máximo de flujos de entrada que permiten los PEPs afectados. Si este parámetro asume valor de 1, el modelo sería de Demanda indivisible, debido a que cada PEP afectado podrá ser atendido, como máximo, por un PEP habilitado. |
| $M$                     | Big M. Valor considerablemente alto.   |
| Variables de decisión   |  |
| $x_i$                   | Abscisa de la coordenada en la que se localizará la Bodega $i$   |
| $y_i$                   | Ordenada de la coordenada en la que se localizará la Bodega $i$  |
| $dx_{ij}^{(+)}$         | Distancia si la abscisa del PEP no afectado $j$ se encuentra a la derecha de la abscisa de la Bodega $i$   |
| $dx_{ij}^{(-)}$         | Distancia si la abscisa del PEP no afectado $j$ se encuentra a la izquierda de la abscisa de la Bodega $i$   |
| $dy_{ij}^{(+)}$         | Distancia si la ordenada del PEP no afectado $j$ se encuentra por encima de la ordenada de la Bodega $i$   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| $dy_{ij}^{(-)}$ | Distancia si la ordenada del PEP no afectado $j$ se encuentra por debajo de la ordenada de la Bodega $i$   |
| $\varphi_{ik}$  | Variable binaria que al tomar valor de 1 desactiva la zona $k$ para ubicar la Bodega $i$ . Si toma el valor de 0 indica que dentro de la zona $k$ se ubicará la Bodega $i$ |
| $\lambda_{ij}$  | Variable binaria que toma valor de 0 si la Bodega $i$ es la más cercana al PEP no afectado $j$ y 1 si no lo es.  |
| $dmin_j$        | Distancia desde el PEP no afectado $j$ hasta la Bodega más cercana.  |
| $W_{ij}$        | Número de kits enviados desde la Bodega $i$ hacia el PEP no afectado $j$ .   |
| $Z_{jl}$        | Número de kits enviados desde el PEP no afectado $j$ hacia el PEP afectado $l$ .   |
| $\beta_{ij}$    | Variable binaria que asume el valor de 1 si existe relación entre la Bodega $i$ y el PEP no afectado $j$ . De lo contrario, asume valor de 0.                              |
| $\delta_{jl}$   | Variable binaria que asume el valor de 1 si existe relación entre el PEP no afectado $j$ y PEP afectado $l$ . De lo contrario, asume valor de 0.                           |
| $DI_l$          | Demanda insatisfecha del PEP afectado $l$  |

Las ecuaciones empleadas en este modelo son:

$$Min F = \sum_{j=1}^n dmin_j + \left[ M * \sum_{l=1}^p DI_l \right] + \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^p (Dist_{j,l} * Z_{jl}) \quad (5)$$

Sujeto a:

$$dx_{ij}^{(+)} - dx_{ij}^{(-)} + x_i = A_j, \forall i \wedge \forall j \quad (6)$$

$$dy_{ij}^{(+)} - dy_{ij}^{(-)} + y_i = O_j, \forall i \wedge \forall j \quad (7)$$

$$-M\varphi_{ik} + Lx_k \leq x_i \leq Ux_k + M\varphi_{ik}, \forall k \wedge \forall i \quad (8)$$

$$-M\varphi_{ik} + Ly_k \leq y_i \leq Uy_k + M\varphi_{ik}, \forall k \wedge \forall i \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^l \varphi_{ik} = l - 1, \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m \varphi_{ik} \geq m - 1, \forall k \quad (11)$$

$$\{Cap_j * (dx_{ij}^{(+)} + dx_{ij}^{(-)} + dy_{ij}^{(+)} + dy_{ij}^{(-)})\} \leq \{dmin_j + M(\lambda_{ij})\} \quad (12)$$

$\forall i \wedge \forall j$

$$\sum_{i=1}^m \beta_{ij} = 1, \forall j \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{ij} = (m - \sum_{i=1}^m \beta_{ij}), \forall j \quad (14)$$

$$W_{ij} \leq \beta_{ij} * Cap_j, \forall i \wedge \forall j \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^m W_{ij} \leq Cap_j, \forall j \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \delta_{jl} \leq \#MF, \forall l \quad (17)$$

$$\sum_{l=1}^p Z_{jl} \leq \sum_{i=1}^m W_{ij}, \forall j \quad (18)$$

$$Z_{jl} \leq (Cap_j * \delta_{jl}), \forall j \wedge \forall l \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n Z_{jl} + DI_l = Dem_l, \forall l \quad (20)$$

$$dx_{ij}^{(+)}, dx_{ij}^{(-)}, dy_{ij}^{(+)}, dy_{ij}^{(-)}, dmin_j, W_{ij}, Z_{jl}, DI_l \geq 0, \forall i \wedge \forall j \wedge \forall l \quad (21)$$

$$\varphi_{ik} \in \{0,1\}, \forall i \wedge \forall k \quad (22)$$

$$\lambda_{ij}, \beta_{ij} \in \{0,1\}, \forall i \wedge \forall j \quad (23)$$

$$\delta_{jl} \in \{0,1\}, \forall j \wedge \forall l \quad (24)$$

La función objetivo se muestra en (5), la cual busca minimizar simultáneamente a) la sumatoria de las distancias ponderadas mínimas<sup>2</sup> para cada uno de los PEPs habilitados; b) la demanda insatisfecha y c) la sumatoria de las distancias ponderadas para la distribución de kits desde los PEPs no afectados  $j$  hacia los PEPs que requieren ayuda  $l$ .

Para la localización de la Bodega  $i$ , calculando su coordenada en el eje  $x$  y en el eje  $y$ , son usadas (6) y (7) respectivamente.

Para garantizar que al seleccionarse la región  $k$  para localizar una Bodega  $i$  y ésta se ubique dentro de la respectiva zona delimitada se usan (8) y (9), ya que activan los límites inferiores y superiores en  $x$  y  $y$ , respectivamente, de la región factible.

Para que cada Bodega  $i$  se instale en una y sólo una de las regiones factibles se emplea (10), puesto que desactiva las zonas en las cuales no se ubicará la Bodega. Por su parte, con (11) se consigue que en cada zona segura se instale como máximo una Bodega.

Para determinar el comportamiento de los flujos entre la(s) Bodega(s) instalada(s) y los PEPs no afectados que atiende(n) se emplean (12), (13) y (14). Con ellas se obtiene la menor distancia ponderada entre la(s) Bodega(s) y los PEP no afectados, asegurando así que cada PEP será atendido exclusivamente por la Bodega más cercana. La selección de la Bodega más cercana se garantiza por la variable  $\lambda_{ij}$ , ya que (14) establece que para cada PEP  $j$  la sumatoria de  $\lambda_{ij}$  debe ser igual a  $m - \sum_{i=1}^m \beta_{ij}$ ; Teniendo en cuenta que por (13) este último término se iguala a 1, significa que en  $m - 1$  restricciones derivadas de (12) para cada PEP  $j$  se activará el valor de la Gran M, con lo que se logra que el valor  $dmin_j$  sea el mínimo del conjunto de ecuaciones para cada PEP no afectado.

En (15) se garantiza que la variable  $\beta_{ij}$  asuma valor=1 si existe flujo entre la Bodega  $i$  y el PEP  $j$ . Con (16) se asegura que un PEP  $j$  no reciba mayores suministros de los que puede manejar. En (17) se establece la restricción de flujos de entrada para cada PEP afectado  $l$ , es decir si se acepta ser atendido por más de 1 PEP  $j$  o si, por el contrario, se maneja demanda indivisible ( $\#MF = 1$ ).

<sup>2</sup> En este sentido, la distancia ponderada hace referencia a la distancia entre Bodega y PEP, multiplicada por la capacidad del PEP; con esto se garantiza que decisión de localización de las Bodegas considere acercarse a los PEPs con mayor capacidad, pues

El equilibrio de entradas y salidas del PEP  $j$  es representado en (18). Con (19) se asegura que la variable  $\delta_{jl}$  asuma valor = 1 si se envían suministros desde el PEP  $j$  al PEP  $l$ . En (20) se presenta la ecuación de equilibrio de la demanda, para cada PEP afectado  $l$ .

La no negatividad de las variables correspondientes es mostrada en (21); finalmente, la naturaleza binaria de las variables  $\varphi_{ik}$ ,  $\lambda_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  y  $\delta_{jl}$  se muestran en (22) a (24).

## VIII. RESULTADOS

A partir de las fases metodológicas descritas en la sección III se obtuvieron los valores para los parámetros de entrada de los modelos matemáticos planteados en el capítulo VII.

Para la información de las capacidades de los PEPs no afectados se tomaron los valores resultantes del análisis de capacidad de la red, con lo cual se generaron escenarios con Capacidad de *Flujo Máximo* y Capacidad *Encuesta*.

El escenario de Flujo Máximo se obtuvo con base en la carga máxima mensual manejada por cada PEP, lo que generó una capacidad potencial para distribuir 1.922 toneladas/año (aumento del 75,3% frente a la distribución real de 2015). Por su parte, la Capacidad Encuesta se basa en los resultados de un muestreo efectuado en 2018 a 70 PEPs de la capital, elegidos aleatoriamente, con la cual se evaluó su capacidad real. Esta encuesta permitió entrever que la suma de la capacidad de almacenamiento de todos los PEPs sería del orden de 5.862,8 toneladas/año (aumento del 434,9% frente a la distribución real de 2015).

Para la atención de los afectados se establecieron también diferentes escenarios de demanda: a) 5 Kg de suministro por persona, según los datos manejados por The U.S. Army Corps of Engineers (provisión de 4kg de agua y 1 Kg de comida instantánea), información mencionada en [9], b) 7,5 Kg de agua y 2,100 kcal por persona [51], representadas en cerca de 0,6 Kg (cálculos basados en kcal/gr de las raciones diarias sugeridas en [52]), y c) kits de ayuda alimentaria de 12,5 kg, correspondiente a un mercado con una composición para 1 semana, para un núcleo familiar estándar no superior a 5 integrantes [52].

### A. Primer respondiente

#### 1) Flujo Máximo

En la tabla III se muestran los indicadores principales de apoyo de la SC-SAP de Bienestarina en la respuesta ante un terremoto en Bogotá de la magnitud descrita en apartados previos. Se discrimina, para 3 diferentes parámetros de demanda (condicionados por el tamaño del kit), el número de PEPs afectados que fueron atendidos total o parcialmente, así como la cantidad de kits de asistencia

estos serán, a su vez, los que mayor cobertura de la demanda de damnificados podrán asumir.

humanitaria suministrados (con su equivalente en Kg) y la demanda insatisfecha a causa de límites en la capacidad de la red (kits faltantes).

TABLA III  
INDICADORES DE APOYO BIENESTARINA EN ATENCIÓN A DESASTRE –  
CAPACIDAD DE FLUJO MÁXIMO

| Peso kit     | PEP          | # PEPs     | Kits recibidos | Kits faltantes | % atención   | Atención (en Kg) |
|--------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|
| (a)          | Atendidos    | 111        | 20.662         | 3.504          | 85,5%        | 103.310          |
|              | Totalmente   | 90         | 18.696         | -              | 100,0%       | 93.480           |
|              | Parcialmente | 21         | 1.966          | 3.504          | 35,9%        | 9.830            |
|              | No atendidos | 146        | -              | 31.708         | 0,0%         | -                |
| <b>Total</b> |              | <b>257</b> | <b>20.662</b>  | <b>35.212</b>  | <b>37,0%</b> | <b>103.310</b>   |
| (b)          | Atendidos    | 81         | 12.690         | 4.316          | 74,6%        | 102.789          |
|              | Totalmente   | 55         | 10.701         | -              | 100,0%       | 86.678           |
|              | Parcialmente | 26         | 1.989          | 4.316          | 31,5%        | 16.111           |
|              | No atendidos | 176        | -              | 38.868         | 0,0%         | -                |
| <b>Total</b> |              | <b>257</b> | <b>12.690</b>  | <b>43.184</b>  | <b>22,7%</b> | <b>102.789</b>   |
| (c)          | Atendidos    | 65         | 8.140          | 6.531          | 55,5%        | 101.750          |
|              | Totalmente   | 31         | 6.485          | -              | 100,0%       | 81.063           |
|              | Parcialmente | 34         | 1.655          | 6.531          | 20,2%        | 20.688           |
|              | No atendidos | 192        | -              | 41.203         | 0,0%         | -                |
| <b>Total</b> |              | <b>257</b> | <b>8.140</b>   | <b>47.734</b>  | <b>14,6%</b> | <b>101.750</b>   |

(a) 5 Kg, (b) 8,1 Kg, (c) 12,5 kg.

Los resultados anteriores reflejan que la SC-SAP de Bienestarina podría apoyar, de considerable manera, la atención de la población afectada luego de un terremoto en la capital. Se resalta por ejemplo que, para enviar un primer kit de apoyo vital, con 4 kg de agua y 1 kg de comida instantánea, esta SC-SAP podría atender el 37% de los usuarios habituales del programa de Bienestarina, cifra importante, en tanto alivia la carga de los sistemas tradicionales de atención.

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| <b>Kits 5 Kg</b> | <b>Kits 8,1 Kg</b> |
|------------------|--------------------|

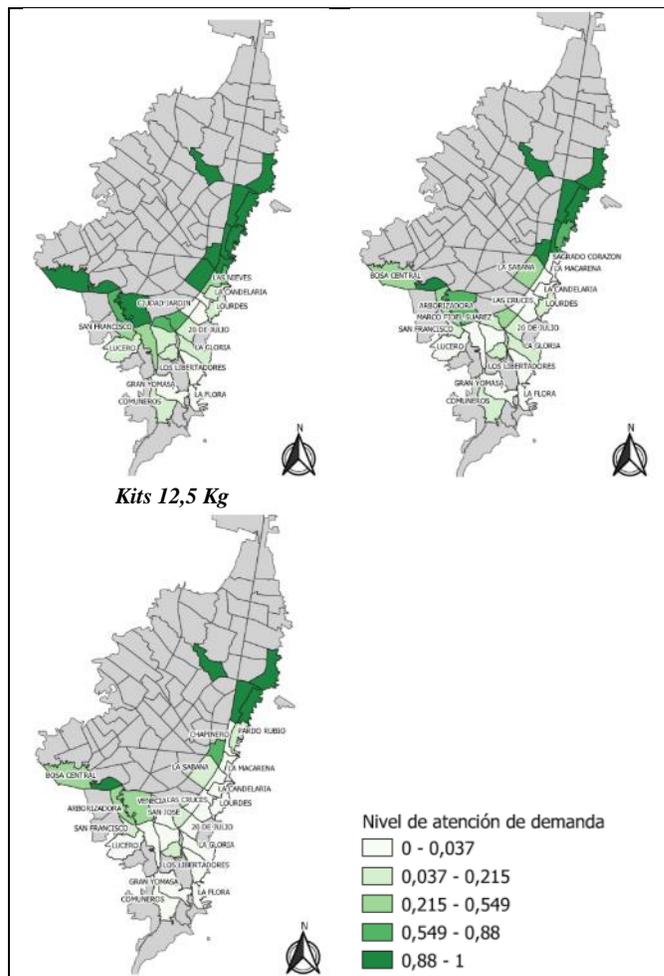


Fig. 10. Atención de demanda por UPZ. Esquema de respuesta Primer respondiente, bajo capacidad *Flujo Máximo*.

En complemento del análisis de cifras, se muestra la distribución geográfica de los PEPs de Bogotá, a un nivel superior de UPZ. La Fig. 10 refleja que a mayor nivel de demanda (aumento en la composición del kit de ayuda), la cobertura de la población necesitada disminuye. Se etiquetan las UPZ para las cuales no se alcanza el nivel de cobertura del 55%.

Algunas UPZ de la zona céntrica, así como la mayoría de UPZs afectadas en la región suroriental se ven claramente desprotegidas, debido a las mayores distancias que se recorrerían para su atención. Se propone que las regiones desatendidas por esta SC-SAP sean cubiertas por los esquemas tradicionales de respuesta a desastres.

2) *Capacidad Encuesta*

La tabla IV muestra los indicadores principales de apoyo de la SC-SAP de Bienestarina, en la misma estructura de la tabla III, bajo un parámetro de mayor capacidad.

TABLA IV

INDICADORES DE APOYO BIENESTARINA EN ATENCIÓN A DESASTRE – CAPACIDAD ENCUESTA

| Peso kit     | PEP          | # PEPs        | Kits recibidos | Kits faltantes | % atención     | Atención (en Kg) |
|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| (a)          | Atendidos    | 257           | 55.874         | -              | 100,0%         | 279.370          |
|              | Totalmente   | 257           | 55.874         | -              | 100,0%         | 279.370          |
|              | Parcialmente | -             | -              | -              | 0,0%           | -                |
|              | No atendidos | -             | -              | -              | 0,0%           | -                |
| <b>Total</b> | <b>257</b>   | <b>55.874</b> | <b>-</b>       | <b>100,0%</b>  | <b>279.370</b> |                  |
| (b)          | Atendidos    | 193           | 39.069         | 2.326          | 94,4%          | 316.459          |
|              | Totalmente   | 177           | 37.360         | -              | 100,0%         | 302.616          |
|              | Parcialmente | 16            | 1.709          | 2.326          | 42,4%          | 13.843           |
|              | No atendidos | 64            | -              | 14.479         | 0,0%           | -                |
| <b>Total</b> | <b>257</b>   | <b>39.069</b> | <b>16.805</b>  | <b>69,9%</b>   | <b>316.459</b> |                  |
| (c)          | Atendidos    | 130           | 25.230         | 2.511          | 90,9%          | 315.375          |
|              | Totalmente   | 110           | 23.184         | -              | 100,0%         | 289.800          |
|              | Parcialmente | 20            | 2.046          | 2.511          | 44,9%          | 25.575           |
|              | No atendidos | 127           | -              | 28.133         | 0,0%           | -                |
| <b>Total</b> | <b>257</b>   | <b>25.230</b> | <b>30.644</b>  | <b>45,2%</b>   | <b>315.375</b> |                  |

(a) 5 Kg, (b) 8,1 Kg, (c) 12,5 kg.

Frente a los resultados obtenidos con la Capacidad de Flujo Máximo, se obtiene un aumento en la atención de 63, 47,2 y 30,6 puntos porcentuales para la demanda de 5 Kg, 8,1 Kg y 12,5 Kg, respectivamente. Este incremento indica que robustecer las actuales capacidades de los PEPs puede repercutir positivamente en la respuesta a un eventual desastre. Las cifras dan cuenta que, para la capital colombiana, la SC-SAP de Bienestarina puede ser un indispensable apoyo en la atención de un terremoto de la magnitud descrita. Se resalta que esta podría atender a todos los PEPs afectados, suministrando el kit básico de respuesta en las primeras horas.

En complemento, los resultados gráficos de la Fig. 11 reflejan indicadores mucho más favorables que en el primer escenario de capacidad. En comparación con los resultados anteriores, la capacidad adicional resultante del estudio efectuado sobre las capacidades reales de los PEPs, proveen resultados más alentadores, llegando a la atención absoluta de la demanda, ante los requerimientos de kits de 5Kg y, en general, a mejores panoramas de atención también para la entrega de kits de 8,1 y 12,5 Kg.

El análisis gráfico permite entrever la priorización que se otorga a las UPZ afectadas, siendo aquellas ubicadas en el sector suroriental las que sufren desabastecimiento en primera instancia, ante límites de capacidad de la SC-SAP. Finalmente, algunas UPZ céntricas también resultan afectadas en la medida en que la capacidad se convierte en una restricción predominante.

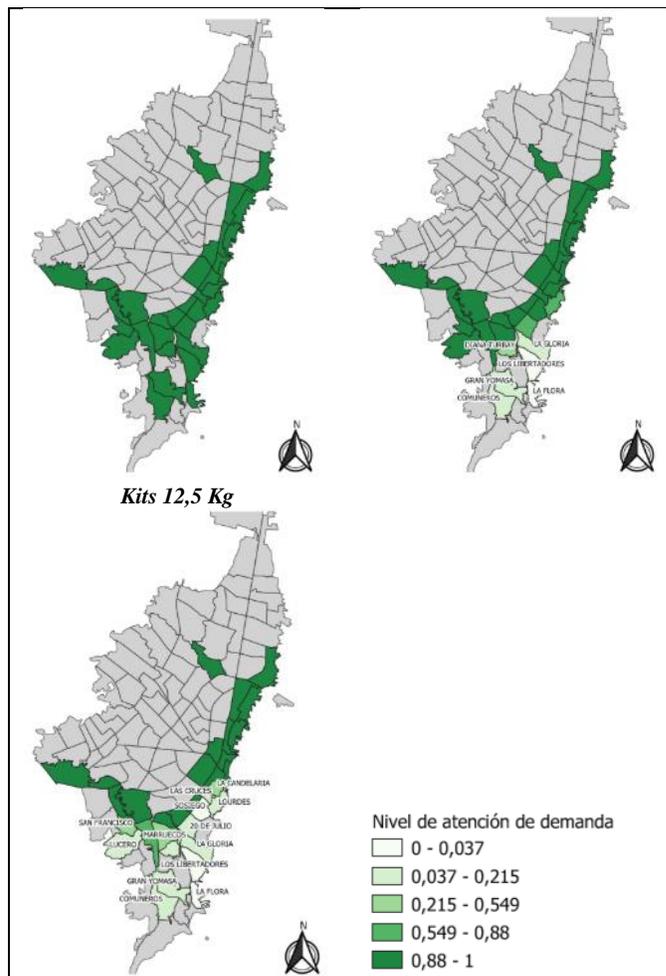


Fig. 11. Atención de demanda por UPZ. Esquema de respuesta Primer respondiente, bajo Capacidad Encuesta.

B. Ubicación de Bodega(s)

En este esquema de atención, como se mencionó previamente, se establecerá la localización de 1 o 2 bodegas desde las cuales se llevarán los suministros a los PEPs habilitados y, desde allí, se distribuirán a los PEPs afectados.

Esta estrategia de distribución no aumenta la capacidad del sistema, como se mostrará más adelante, sin embargo se estima que con las bodegas propuestas se efectúen procesos que permitan regular la convergencia de materiales, problemática que suele impactar negativamente los resultados de atención, como se expresa en [46], [35] y [9]. Así mismo, esta(s) bodega(s) pueden ser empleadas, bajo análisis más detallados de alianzas público-privadas de cooperación, como instalaciones de pre-posicionamiento de stock crítico para una más efectiva respuesta a los desastres.

La Fig.12 muestra, enmarcadas en áreas rectangulares, las 5 zonas seguras propuestas, dentro de las cuales se ubicará(n) la(s) bodega(s); El bajo riesgo de las zonas de la ciudad fue el criterio para proponer allí el establecimiento de las cinco regiones factibles.

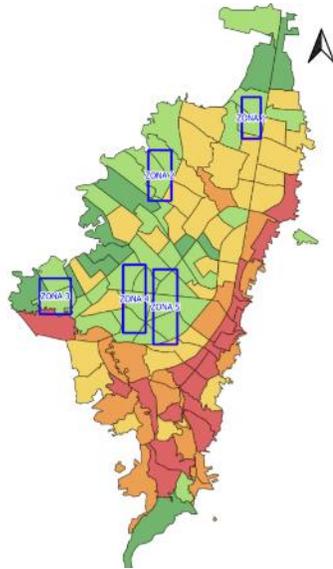


Fig. 12. Ubicación Zonas seguras.

Con relación a la ecuación (17) planteada para el modelo de Ubicación de Bodegas, ésta se parametrizó con valor de #MF=1 para evaluar el caso de demanda indivisible. Con ello se analizó no sólo el efecto de la localización de Bodegas, sino el impacto que generaría el hecho de restringir la recepción de cada PEP afectado a máximo un PEP habilitado.

Esta estrategia supone una especie de compromiso del PEP habilitado, en tanto estaría encargado en su totalidad de un PEP afectado, bajo una figura que podría relacionarse con el apadrinamiento. A entendimiento de los autores, dicho esquema puede ser de gran beneficio dado que, al definir estas asignaciones durante la fase de preparación, se abre un panorama amplio de posibilidades para fortalecer la relación entre encargados de los PEPs, quienes podrían establecer estrategias específicas de atención ante posibles eventos de desastre, considerando las características propias de la población de ambos puntos.

1) 1 bodega

Un aspecto de especial relevancia se muestra en la Fig.13, en la que se evidencia la localización propuesta de 1 Bodega, en la Zona 5. El punto atiende, según lo esperado, a una ubicación centralizada, en busca de minimizar las distancias hacia los PEPs habilitados y, a su vez, a los PEPs afectados. Se destaca que, en las 4 ejecuciones del modelo sin importar el parámetro de capacidad o demanda empleado, fue absolutamente coincidente el punto seleccionado para la propuesta de localización. La dirección del punto (Cra. 68d #19) se encuentra en la Zona Industrial de la capital, área en que se encuentran numerosos espacios destinados al almacenamiento.

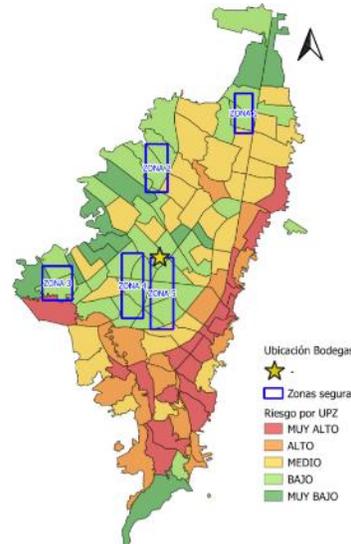


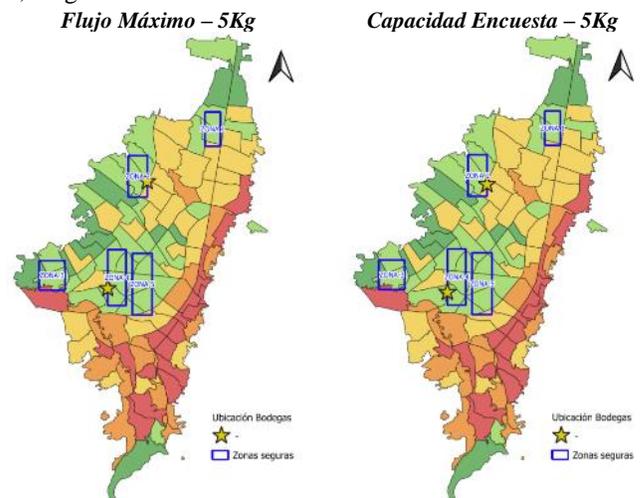
Fig. 13. Ubicación dentro de Zonas Seguras – 1 Bodega.

2) 2 bodegas

En la Fig. 14 se muestra la localización propuesta de 2 Bodegas para cada combinación de parámetros de Capacidad y Demanda. Como factor común, se emplean las Zonas 2 y 4 para la instalación de los espacios para el pre-posicionamiento o cross-docking. Esto refleja la consistencia con el interés de atender, a través de las 2 Bodegas, la zona sur y norte, de manera diferencial.

Un punto para destacar es que la ubicación de la Bodega en las dos zonas coincide con instalaciones de importantes empresas con experticia logística, con las cuales se podría buscar un acuerdo enmarcado en las sugerencias ampliamente abordadas en la literatura sobre las alianzas entre el sector humanitario y el sector privado.

Por otra parte, con el fin de evaluar el impacto del esquema de demanda indivisible, se muestra en la Fig.15 la atención por UPZ, para dos parametrizaciones representativas del modelo con dos Bodegas: Flujo máximo-5Kg y Capacidad Encuesta-12,5 Kg.



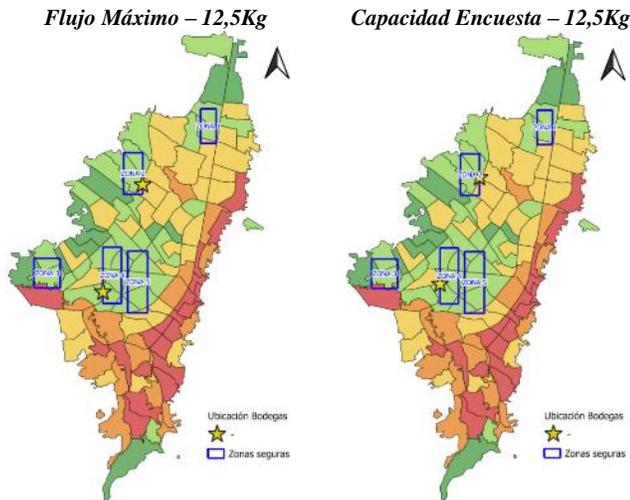


Fig. 14. Ubicación dentro de Zonas Seguras – 2 Bodegas.

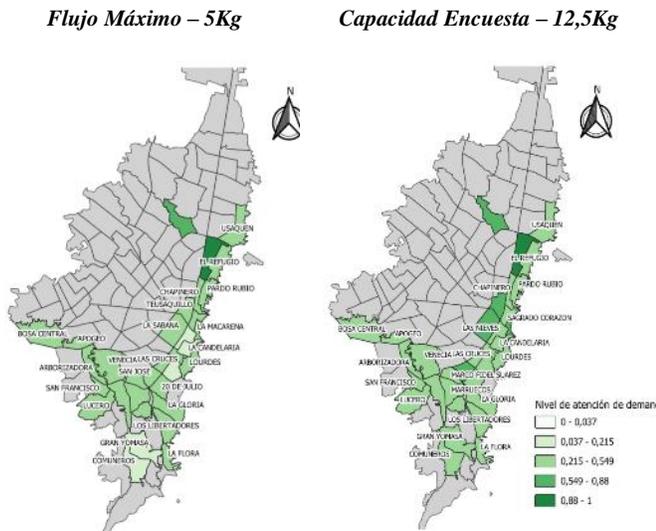


Fig. 15. Atención de Demanda – Demanda indivisible.

Al comparar la primera gráfica de esta figura con la Fig. 10, así como la segunda gráfica con la Fig. 11, se hace evidente un hecho que, a criterio de los autores, sería positivo en el cumplimiento de los criterios de equidad que gobiernan la logística humanitaria. Contrario a los resultados del esquema de atención de Primer respondiente, en que se dejaba de lado a los PEPs de las zonas más apartadas (que a su vez coinciden con las de mayores afectaciones), el criterio de demanda indivisible impide que un PEP sea atendido por múltiples PEPs habilitados, lo que implica entonces que no se concentren todos los esfuerzos exclusivamente en las áreas más próximas, sino que se promueva la atención de los puntos distantes sin el desequilibrio evidente en la sección anterior.

IX. CONCLUSIONES

La presente investigación, a través del cumplimiento de la metodología planteada en el apartado correspondiente, permitió identificar el apoyo que puede brindar la cadena de suministro

de Bienestarina para atender a la población ante un terremoto de diferentes magnitudes en la ciudad de Bogotá. Grosso modo, los resultados reflejan que integrar esta SC-SAP a los planes de respuesta a desastres es una estrategia efectiva para mejorar la atención.

En primera medida se caracterizó la cadena de suministro de Bienestarina en Bogotá, reconociendo la alta importancia que tiene esta ciudad sobre el total de la carga distribuida por el programa a nivel nacional. Se determinó, a través del análisis de datos primarios y de información de encuestas, que existe un potencial mayor en la capacidad de almacenamiento de cada punto, el cual puede, como reflejan los resultados, incrementar el aporte de esta SC-SAP en atención a desastres.

Una revisión de la literatura relacionada con los escenarios de riesgo de terremotos en la capital colombiana permitió determinar el escenario de riesgo a ser evaluado (Diseño Especial), efectuando luego un análisis cruzado para determinar la pérdida potencial de capacidades de los PEPs de la SC-SAP y, a su vez, las demandas de asistencia humanitaria, con base en las características reportadas por estudios técnicos robustos sobre este escenario. Este análisis permitió reconocer que algunas UPZ de alta capacidad se verían claramente impactadas por este terremoto de alta magnitud; algunos ejemplos de ello son 20 de Julio, La Gloria, Gran Yomasa y Bosa Central.

Con las múltiples ejecuciones de los modelos matemáticos propuestos (variando atributos de capacidad y demanda), se encontró que, de manera generalizada, esta SC-SAP puede convertirse en un apoyo importante a las estrategias ya establecidas para la atención de desastres. En el escenario más desafiante (mayores demandas, menor capacidad) la cadena de suministro de Bienestarina podría llegar a atender el 14,6% de la población afectada que se encuentre vinculada a los habituales programas de asistencia social; por su parte, un escenario más favorable (*Capacidad Encuesta*), da cuenta que la cadena de Bienestarina podría suplir el 100% de la demanda del kit básico de asistencia humanitaria de la población vinculada a este programa del gobierno, cifra bastante relevante que refleja el positivo impacto de integrar esta SC-SAP a los esquemas de atención a desastres en la capital colombiana.

Además de las cifras globales, cada ejecución de los modelos generó información detallada sobre el número de kits que enviaría cada PEP habilitado al (a los) PEP(s) afectado(s) que le serían asignados; para presentar esta información de manera clara, se emplearon gráficos consolidados por UPZ los cuales, a su vez, permitieron identificar las UPZ con mayor nivel de desabastecimiento, siendo evidente la desprotección a las zonas más distantes (suroriente y algunas UPZ del centro). Frente a ello, teniendo en cuenta que Bienestarina actuaría como un apoyo a la red de atención de desastre, se propone que dichas UPZ sean cubiertas por los demás organismos pertenecientes al Sistema de Prevención y Atención a Desastres.

Finalmente, frente a los resultados del modelo de

localización de Bodegas, se destaca que las ubicaciones propuestas coinciden con zonas que se determinan factibles, debido a que se encuentran o bien en la Zona industrial (espacio común de almacenamiento), o bien en amplios espacios pertenecientes a importantes compañías privadas, con las cuales se propone establecer acuerdos de cooperación, basados en los preceptos que la literatura menciona en este sentido.

## REFERENCIAS

- [1] L. N. Van Wassenhove, "Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear," *J. Oper. Res. Soc.*, 2006, DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602125.
- [2] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), "Annual Disaster Statistical Review 2018," *Emerg. Events Database*, p. EM-DAT The International Disaster Database, 2019.
- [3] D. Guha-Sapir, P. Hoyois, R. Below, and A. Vanderveken, "Annual Disaster Statistical Review 2015: The numbers and trends." 2016, DOI: 10.13140/RG.2.2.10378.88001.
- [4] IDIGER, "Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico," 2019. .
- [5] Alcaldía de Bogotá - IDIGER, "Caracterización General de Escenarios de Riesgo sísmico," 2019.
- [6] Servicio geológico colombiano, "Sismos en Colombia." .
- [7] D. A. N. de E.- DANE, "Proyecciones de población," 2020. .
- [8] G. Kovács and K. M. Spens, "Humanitarian logistics in disaster relief operations," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 37, no. 2, pp. 99–114, Mar. 2007, DOI: 10.1108/09600030710734820.
- [9] J. Holguín-Veras, M. Jaller, L. N. Van Wassenhove, N. Pérez, and T. Wachtendorf, "On the unique features of post-disaster humanitarian logistics," *J. Oper. Manag.*, vol. 30, no. 7–8, pp. 494–506, Nov. 2012, DOI: 10.1016/j.jom.2012.08.003.
- [10] B. Balcik, B. M. Beamon, C. C. Krejci, K. M. Muramatsu, and M. Ramirez, "Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 126, no. 1, pp. 22–34, 2010, DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.09.008.
- [11] B. Balcik, B. M. Beamon, and K. Smilowitz, "Last Mile Distribution in Humanitarian Relief," *J. Intell. Transp. Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 51–63, 2008, DOI: 10.1080/15472450802023329.
- [12] F. Maon, A. Lindgreen, and J. Vanhamme, "Developing supply chains in disaster relief operations through cross-sector socially oriented collaborations: A theoretical model," *Supply Chain Manag.*, 2009, DOI: 10.1108/13598540910942019.
- [13] G. T. Stewart, R. Kolluru, and M. Smith, "Leveraging public-private partnerships to improve community resilience in times of disaster," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, 2009, DOI: 10.1108/09600030910973724.
- [14] I. Falagara Sigala and T. Wakolbinger, "Outsourcing of humanitarian logistics to commercial logistics service providers: An empirical investigation," *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 9, no. 1, pp. 47–69, 2019, DOI: 10.1108/JHLSCM-12-2017-0073.
- [15] P. Taylor, R. Boute, R. Van Dierdonck, and A. Vereecke, "Emergency relief logistics: an evaluation of military, non-military and composite response models," *October*, no. May 2012, pp. 37–41, 2011, DOI: 10.1080/13675567.2011.636347.
- [16] G. Heaslip, A. M. Sharif, and A. Althonayan, "Employing a systems-based perspective to the identification of inter-relationships within humanitarian logistics," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 139, no. 2, pp. 377–392, 2012, DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.05.022.
- [17] F. V. Shahidi, C. Ramraj, O. Sod-Erdene, V. Hildebrand, and A. Siddiqi, "The impact of social assistance programs on population health: A systematic review of research in high-income countries," *BMC Public Health*, vol. 19, no. 1, pp. 1–11, 2019, DOI: 10.1186/s12889-018-6337-1.
- [18] I. C. de B. F. ICBF, "PLAN INDICATIVO INSTITUCIONAL ICBF 2015-2018," 2015.
- [19] ICBF, "Cartilla Bienestarina," *Inst. Colomb. bienestar Fam.*, vol. 2, p. 121, 2014.
- [20] DNP, "Importancia estratégica de los alimentos de alto valor nutricional que serán entregados por el ICBF en las vigencias 2016-2019." Bogotá D.C, p. 52, 2015.
- [21] DNP, "Conpes 3443 Contratación del operador para la producción y distribución del componente nutricional (Bienestarina) en el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF." Bogotá D.C., p. 7, Sep. 2006.
- [22] S. V. Ukkusuri and W. F. Yushimito, "Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem," *Transp. Res. Rec.*, no. 2089, pp. 18–25, 2008, DOI: 10.3141/2089-03.
- [23] J. A. Paul and L. MacDonald, "Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters," *Eur. J. Oper. Res.*, 2016, DOI: 10.1016/j.ejor.2015.10.028.
- [24] H. Jae-Dong, J. Ki-Young, and F. Keli, "Emergency relief supply chain design and trade-off analysis," *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 162–187, Jan. 2015, DOI: 10.1108/JHLSCM-05-2014-0019.
- [25] A. G. Chapman and J. E. Mitchell, "A fair division approach to humanitarian logistics inspired by conditional value-at-risk," *Ann. Oper. Res.*, vol. 262, no. 1, pp. 133–151, 2018, DOI: 10.1007/s10479-016-2322-1.
- [26] M. W. Horner, E. E. Ozguven, J. M. Marcelin, and A. Kocatepe, "Special needs hurricane shelters and the ageing population: development of a methodology and a case study application," *Disasters*, vol. 42, no. 1, pp. 169–186, Jan. 2018, DOI: 10.1111/disa.12233.
- [27] W. Ni, J. Shu, and M. Song, "Location and Emergency Inventory Pre-Positioning for Disaster Response Operations: Min-Max Robust Model and a Case Study of Yushu Earthquake," *Prod. Oper. Manag.*, vol. 27, Sep. 2017, DOI: 10.1111/poms.12789.
- [28] D. Kalenatic, C. A. L. Bello, L. J. González, and F. J. R. Velasco, "Dynamic location model of intermediate nodes within safety zones in focused logistics context," *Rev. Fac. Ing.*, no. 59, pp. 133–144, 2011.
- [29] M. Sabbaghtorkan, R. Batta, and Q. He, "Prepositioning of assets and supplies in disaster operations management: Review and research gap identification," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 284, no. 1, pp. 1–19, 2020, DOI: 10.1016/j.ejor.2019.06.029.
- [30] L. B. Rawlings, "A new approach to social assistance: Latin America's experience with conditional cash transfer programmes," *Int. Soc. Secur. Rev.*, vol. 58, no. 2–3, pp. 133–161, 2005, DOI: 10.1111/j.1468-246X.2005.00220.x.
- [31] M. Niño-Zarazúa, "Welfare and Redistributive Effects of Social Assistance in the Global South," *Popul. Dev. Rev.*, vol. 45, no. S1, pp. 3–22, 2019, DOI: 10.1111/padr.12308.
- [32] Food and Nutrition Service, "What is The Emergency Food Assistance Program?," 2020. .
- [33] F. Rueda-velasco, W. Adarme-jaimas, A. Garzón-luna, and J. Marroquín-ávila, "Evaluation of a facility location for a food assistance supply chain. The case of Bienestarina in Colombia," *Ing. e Investig.*, vol. 39, no. 3, 2019, DOI: 10.15446/ing.investig.v39n3.77175.
- [34] J. Holguín-Veras, M. Jaller, and T. Wachtendorf, "Comparative performance of alternative humanitarian logistic structures after the Port-au-Prince earthquake: ACEs, PIES, and CANs," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 46, no. 10, pp. 1623–1640, 2012, DOI: 10.1016/j.tra.2012.08.002.
- [35] J. Holguín-Veras, E. Taniguchi, M. Jaller, F. Aros-Vera, F. Ferreira, and R. G. Thompson, "The Tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 69, pp. 86–104, Nov. 2014, DOI: 10.1016/j.tra.2014.08.003.
- [36] J. Holguín-Veras, N. Pérez, M. Jaller, L. N. Van Wassenhove, and F. Aros-Vera, "On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models," *J. Oper. Manag.*, vol. 31, no. 5, pp. 262–280, 2013, DOI: 10.1016/j.jom.2013.06.002.
- [37] J. Shao, X. Wang, C. Liang, and J. Holguín-Veras, "Research progress on deprivation costs in humanitarian logistics," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 42, no. April 2019, p. 101343, 2020, DOI: 10.1016/j.ijdrr.2019.101343.
- [38] D. Khayal, R. Pradhananga, S. Pokharel, and F. Mutlu, "A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response," *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 52, pp. 22–30, 2015, DOI: 10.1016/j.seps.2015.09.002.
- [39] B. Balcik and B. M. Beamon, "Facility location in humanitarian relief," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, 2008, DOI: 10.1080/13675560701561789.
- [40] S. Y. Roh, H. M. Jang, and C. H. Han, "Warehouse location decision

factors in humanitarian relief logistics,” *Asian J. Shipp. Logist.*, 2013, DOI: 10.1016/j.ajsl.2013.05.006.

- [41] M. Jahre, “Humanitarian supply chain strategies – a review of how actors mitigate supply chain risks,” *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 7, no. 2, pp. 82–101, 2017, DOI: 10.1108/JHLSCM-12-2016-0043.
- [42] M. Kamalahmadi and M. M. Parast, “A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research,” *Int. J. Prod. Econ.*, 2016, DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.10.023.
- [43] M. Jahre, J. Kembro, T. Rezvanian, O. Ergun, S. J. Håpnes, and P. Berling, “Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR,” *J. Oper. Manag.*, vol. 45, pp. 57–72, Jul. 2016, DOI: 10.1016/J.JOM.2016.05.009.
- [44] R. G. Richey, “The supply chain crisis and disaster pyramid, A theoretical framework for understanding preparedness and recovery,” *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 2009, DOI: 10.1108/09600030910996288.
- [45] J. Bealt, J. C. Fernández Barrera, and S. A. Mansouri, “Collaborative relationships between logistics service providers and humanitarian organizations during disaster relief operations,” *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 6, no. 2, pp. 118–144, Aug. 2016, DOI: 10.1108/JHLSCM-02-2015-0008.
- [46] J. Holguín-Veras, M. Jaller, F. Aros-Vera, J. Amaya, T. Encarnación, and T. Wachtendorf, “Disaster Response Logistics: Chief Findings of Fieldwork Research,” in *Advances in Managing.*, 2016, pp. 33-57 DOI: 10.1007/978-3-319-24418-1\_3.
- [47] C. Siemen, R. Rocha, R. van den Berg, B. Hellinrath, and J. De Albuquerque, *Collaboration among Humanitarian Relief Organizations and Volunteer Technical Communities: Identifying Research Opportunities and Challenges through a Systematic Literature Review*. 2017.
- [48] M. Wiens, F. Schätter, C. Zobel, and F. Schultmann, “Collaborative Emergency Supply Chains for Essential Goods and Services,” in *Urban Book Series*, 2018, pp. 145–168, DOI: 10.1007/978-3-319-68606-6\_10.
- [49] Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, “Actualización y sistematización de los escenarios de daño por terremoto para Bogotá,” p. 406, 2010.
- [50] F. Fondo de prevención y atención de emergencias, “Evaluación holística del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá,” p. 88, 2011.
- [51] The Sphere, *The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, vol. 1. 2018.
- [52] UNGRD, *Estandarización de Ayuda Humanitaria de Colombia*. 2013.
- [53] C. Cámara de Comercio de Bogotá, “UNIDADES DE PLANIFICACIÓN ZONAL / DEFINICIÓN.”.



**Feizar J. Rueda-Velasco** Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones, Universidad Nacional de Colombia; Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniero Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Profesor Asistente e Investigador Grupo de Investigación ARCOSES, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador, Grupo de Investigación Sociedad, Economía y Productividad "SEPRO", Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0109-9204>



**César A. López-Bello**- Profesor Asociado Facultad de Ingeniería e Investigador Grupo de Investigación ARCOSES de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero Industrial y Especialista en Ingeniería de Producción ambos títulos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Magister en Ingeniería

Industrial de la Universidad de los Andes y Doctor en Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7123-0469>



**Gabriel D. Parada-Caro**. En 2014 recibió el grado de Ingeniería Industrial y en el año 2020 el grado como Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Se desempeña en el área de presupuesto, en la administración de los sistemas de información presupuestal y, en el entorno de investigación, trabaja en la línea de logística y modelamiento

matemático.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7149-5691>



**Angélica Garzón-Luna**. En 2014 recibió el grado de Ingeniería Industrial y en el año 2020 el grado como Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Se desempeña en el área de tecnología, específicamente en seguridad de la información y automatización de procesos de tecnología. En el entorno de investigación, trabaja en la

línea de logística y modelamiento matemático.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5608-7799>



**Jhonatan Marroquín-Ávila**. En 2015 recibió el grado de Ingeniería Industrial y en 2020 el grado como Magíster en Ingeniería Industrial ambos títulos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Se desempeña en el área de aseguramiento de la calidad en Instituciones de Educación Superior, en la acreditación en alta calidad y a la creación de programas académicos; además es docente catedrático de investigación de operaciones y, en el entorno de investigación, trabaja en la línea de logística y modelamiento matemático.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8077-605X>