

Systemic Characterization of Factors, Risks, and Actors in Humanitarian Logistics in Highly Vulnerable Areas

Giselle Robinson Jones¹; Angie Natalia Bolaños Gómez¹

Faculty Mentor: Elisa del Carmen Navarro Romero, PhD¹

¹Universidad El Bosque, Colombia, grobinson@unbosque.edu.co, abolanosg@unbosque.edu.co, ednavarro@unbosque.edu.co

Abstract— Humanitarian response in highly vulnerable territories operates under structural constraints that limit logistics effectiveness and increase systemic risk. Despite the relevance of this problem, important gaps remain in approaches capable of integrating actors, territorial constraints, operational risks, and feedback dynamics within a single analytical framework. This study develops a systemic characterization of the territorial factors, operational risks, and actors that influence humanitarian logistics performance, and proposes a system dynamics model to explain operational patterns under uncertainty. A mixed-method approach was applied, combining documentary and territorial analysis based on institutional reports and official statistics with causal loop and stock and flow modeling. Results show that inter institutional coordination, information traceability, and last mile governance are key determinants of logistics performance, while territorial dispersion, limited road accessibility, and climate seasonality increase response times and operational costs. The proposed model identifies leverage points including shared minimum data standards, prepositioning strategies, seasonal routing, and logistics hubs and micro hubs. These findings provide a replicable analytical approach and a technical basis for prioritizing interventions and developing digital decision support tools in highly constrained humanitarian environments.

Keywords— Humanitarian logistics; system dynamics; risk management; territorial logistics friction; inter-institutional coordination.

Caracterización de los Factores, Riesgos y Actores en la Logística Humanitaria en Zonas de Alta Vulnerabilidad

Giselle Robinson Jones¹; Angie Natalia Bolaños Gómez¹

Faculty Mentor: Elisa del Carmen Navarro Romero, PhD¹

¹Universidad El Bosque, Colombia, grobinson@unbosque.edu.co, abolanosg@unbosque.edu.co, elisa.navarro@unimilitar.edu.co

Resumen— La respuesta humanitaria en territorios altamente vulnerables opera bajo restricciones estructurales que limitan la efectividad de las operaciones logísticas y aumentan el riesgo sistémico. A pesar de la relevancia del problema, persisten vacíos en enfoques que integren actores, restricciones territoriales, riesgos operativos y dinámicas de retroalimentación dentro de un mismo marco analítico. Este estudio desarrolla una caracterización sistémica de los factores territoriales, riesgos operativos y actores que influyen en el desempeño de la logística humanitaria, y propone un modelo de dinámica de sistemas para explicar patrones operativos bajo condiciones de incertidumbre. Se aplicó un enfoque metodológico mixto que combina análisis documental y territorial, con base en informes institucionales y estadísticas oficiales, y modelado mediante diagramas causales y de niveles y flujos. Los resultados muestran que la coordinación interinstitucional, la trazabilidad de la información y la gobernanza de la última milla son determinantes clave del desempeño logístico, mientras que la dispersión territorial, la limitada accesibilidad vial y la estacionalidad climática incrementan los tiempos de respuesta y los costos operativos. El modelo propuesto identifica puntos de apalancamiento como estándares mínimos de datos compartidos, estrategias de preposicionamiento, ruteo estacional y el uso de hubs y micro-hubs logísticos. Estos hallazgos aportan un enfoque analítico replicable y una base técnica para priorizar intervenciones y desarrollar herramientas digitales de apoyo a la toma de decisiones en entornos humanitarios altamente restrictivos.

Palabras clave— Logística humanitaria; dinámica de sistemas; gestión del riesgo; fricción logística territorial; coordinación interinstitucional.

I. INTRODUCCIÓN

La logística humanitaria en territorios altamente vulnerables opera bajo condiciones de alta incertidumbre, restricciones de infraestructura y dispersión territorial, factores que incrementan los tiempos de respuesta y dificultan la equidad en la entrega. Aunque la literatura reconoce la importancia de la coordinación, la accesibilidad y la capacidad operativa, persisten vacíos en enfoques que integren simultáneamente actores, restricciones territoriales, riesgos operativos y dinámicas de retroalimentación dentro de un mismo marco analítico. En respuesta a esta brecha, este artículo caracteriza los factores, riesgos y actores que inciden en el desempeño de la logística humanitaria, propone un Índice Compuesto de Fricción Logística Territorial (IFLT) para sintetizar

condiciones socioeconómicas y de accesibilidad que incrementan la complejidad operativa, y formula un modelo sistémico que representa la interacción entre vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad logística, identificando puntos de apalancamiento útiles para la planificación, la priorización operativa y la toma de decisiones. El análisis se aplica a un territorio altamente vulnerable del Caribe colombiano.

II. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

La logística humanitaria se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo eficiente de bienes, información y servicios desde los puntos de origen hasta las poblaciones afectadas por crisis o desastres, con el objetivo de aliviar el sufrimiento humano. A diferencia de las cadenas de suministro comerciales, estas operaciones se desarrollan en entornos altamente inciertos, con infraestructura limitada, presión temporal y múltiples actores institucionales involucrados. En este contexto, la coordinación interinstitucional, la disponibilidad de información y la capacidad logística son factores determinantes para garantizar la eficiencia y cobertura de la asistencia humanitaria [1], [2].

Diversos estudios han señalado que el desempeño de las cadenas logísticas humanitarias depende en gran medida de la planificación estratégica de recursos, la ubicación de instalaciones y la gestión de inventarios. En particular, la localización de centros de distribución y el preposicionamiento de suministros permiten reducir los tiempos de respuesta y mejorar la cobertura en situaciones de emergencia [3]–[5]. Sin embargo, las operaciones humanitarias también enfrentan desafíos adicionales como la convergencia masiva de donaciones y recursos en zonas de desastre, lo cual puede generar congestión logística y dificultades de coordinación entre actores humanitarios [6].

Además de los aspectos operativos, el desempeño de la logística humanitaria está fuertemente influenciado por las condiciones estructurales del territorio. Factores como la pobreza, la desigualdad, la accesibilidad vial y la dispersión poblacional pueden incrementar significativamente la complejidad de las

operaciones logísticas y la exposición al riesgo sistémico. En este sentido, la literatura sobre resiliencia en cadenas de suministro destaca que las interrupciones logísticas pueden propagarse a lo largo de la red cuando existen altos niveles de interdependencia entre actores y limitaciones estructurales en la infraestructura o en los sistemas de información [7]–[9]. Estudios sobre vulnerabilidad territorial resaltan la importancia de considerar las condiciones socioeconómicas y de accesibilidad para comprender la capacidad de respuesta de las comunidades frente a eventos adversos [10].

Para analizar estas interacciones complejas entre vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad logística, diversos estudios han aplicado enfoques basados en dinámica de sistemas. Este enfoque permite representar relaciones causales, retroalimentaciones y retrasos temporales que influyen en el comportamiento de sistemas complejos. Los modelos de dinámica de sistemas, introducidos por Forrester y posteriormente desarrollados por Sterman, utilizan diagramas causales y de niveles-flujos para analizar cómo las interacciones entre variables pueden generar dinámicas de saturación o adaptación en sistemas organizacionales y socioeconómicos [11], [12].

En este estudio, este enfoque se complementa con la construcción de un Índice de Fricción Logística Territorial (IFLT), el cual integra variables socioeconómicas y de accesibilidad territorial con el fin de capturar las restricciones estructurales que condicionan el desempeño de la logística humanitaria. La construcción de indicadores compuestos permite sintetizar información multidimensional y facilitar la comparación entre territorios, siguiendo metodologías ampliamente utilizadas para el análisis de vulnerabilidad y desarrollo territorial [13], [14].

III. METODOLOGÍA

Este estudio emplea un enfoque metodológico mixto que integra análisis cualitativo institucional, evaluación territorial de riesgos y modelado sistémico. Este enfoque permite comprender la interacción entre actores, factores territoriales y dinámicas operativas que influyen en el desempeño de la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad.

A. Fase 1 – Análisis institucional

Se realizó un análisis cualitativo basado en teoría fundamentada (Grounded Theory) con el fin de identificar actores clave, roles institucionales, mecanismos de coordinación y brechas operativas en la logística humanitaria regional. La teoría fundamentada permite generar categorías analíticas a partir del análisis sistemático de información documental y evidencia empírica, facilitando la identificación de patrones y relaciones entre actores dentro de sistemas organizacionales complejos. Durante esta fase se codificaron categorías relacionadas con gobernanza institucional, flujo de información y capacidad operativa dentro de la red humanitaria regional [15].

B. Fase 2 – Evaluación territorial de riesgos

Posteriormente se realizó un análisis territorial de riesgos mediante la evaluación de variables críticas que condicionan el desempeño de las operaciones logísticas humanitarias. Entre estas variables se incluyeron infraestructura vial, exposición a amenazas naturales, accesibilidad de última milla y concentración de población vulnerable. A partir de estas variables se construyó una matriz de factores críticos ponderados que permitió identificar restricciones estructurales del territorio que influyen en los tiempos de respuesta y en la cobertura de las intervenciones humanitarias. Este enfoque se fundamenta en metodologías de análisis de vulnerabilidad territorial y evaluación de riesgos ampliamente utilizadas en estudios de resiliencia y planificación logística [10].

C. Fase 3 – Modelado sistémico

Con base en los resultados obtenidos en las fases anteriores, se desarrolló un modelo conceptual basado en dinámica de sistemas que representa las relaciones causales entre variables críticas del sistema logístico humanitario. Este enfoque permite analizar cómo la interacción entre vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad logística genera dinámicas de retroalimentación que afectan el desempeño del sistema. El modelo se construyó utilizando diagramas causales y diagramas de niveles-flujos, siguiendo los principios metodológicos propuestos por Forrester y desarrollados posteriormente por Sterman para el análisis de sistemas complejos [11], [12].

IV. RESULTADOS

A. Actores y coordinación humanitaria

La red involucra entidades nacionales (SNGRD/UNGRD), organismos internacionales (OCHA, PMA, Cruz Roja), autoridades territoriales (gobernación, alcaldías) y autoridades tradicionales Wayúu con influencia directa en acceso y legitimidad local. Se identifican asimetrías de capacidades, fragmentación informativa y cuellos de trazabilidad que impactan la última milla (roles difusos, solapes y retrasos) [1], [2].

La estructura general de la red se resume en la Fig. 1, que presenta la configuración sistémica de la red logística humanitaria que opera en zonas de alta vulnerabilidad del Caribe colombiano. La estructura evidencia un esquema de gobernanza multinivel conformado por entidades nacionales del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD/UNGRD), organismos internacionales (OCHA, PMA, Cruz Roja), autoridades territoriales (gobernación y alcaldías), proveedores, operadores logísticos y autoridades tradicionales Wayúu, estas últimas con un papel determinante en la legitimidad social, el acceso territorial y la aceptación comunitaria.

La red funciona a través de dos flujos interdependientes: el flujo físico de suministros humanitarios (aprovisionamiento,

recepción, almacenamiento, transporte y distribución en la última milla) y el flujo de información (órdenes, reportes, coordinación y comunicación interinstitucional). El análisis revela asimetrías de capacidades entre actores, fragmentación de sistemas de información y limitada interoperabilidad, lo que genera brechas de trazabilidad a lo largo de la cadena. Estas debilidades estructurales incrementan la incertidumbre operativa y amplifican la exposición al riesgo sistémico [4]–[6].

Se identifican cuellos de botella críticos en la gestión de almacenamiento, la programación del transporte y la distribución en la última milla. Retrasos, procesos duplicados, desajustes en inventarios y fallas de coordinación emergen como factores recurrentes que afectan la eficiencia y la oportunidad de la respuesta humanitaria. La última milla constituye el nodo de mayor vulnerabilidad del sistema, donde confluyen restricciones logísticas, barreras geográficas, limitaciones de infraestructura y factores socioculturales propios del territorio. En esta etapa, los riesgos operativos pueden escalar hacia riesgos sociales, afectando la confianza comunitaria y la efectividad de la intervención [16].

Desde una perspectiva sistémica, la cadena logística humanitaria en La Guajira debe comprenderse no únicamente como una secuencia de procesos operativos, sino como una red socio-técnica cuya calidad de coordinación determina la propagación o mitigación del riesgo entre nodos. Esta caracterización permite identificar vulnerabilidades estructurales y fundamentar estrategias de gestión integrada del riesgo en contextos de alta fragilidad territorial.

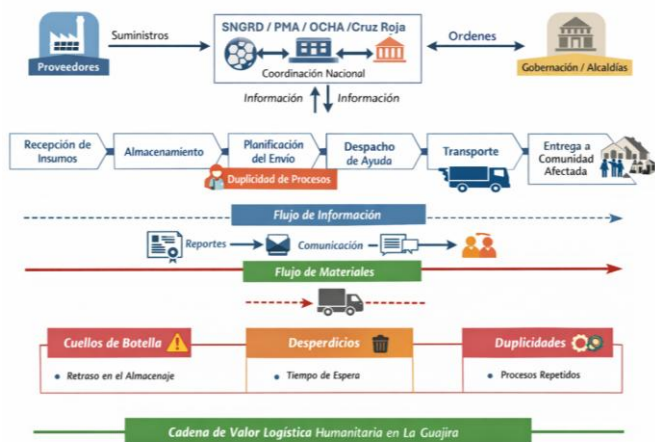


Fig. 1. Representación general de la cadena logística humanitaria en un entorno territorial de alta vulnerabilidad

Con base en la configuración sistémica identificada, se construyó una matriz de propagación del riesgo (Tabla I) que permite analizar no solo la ocurrencia de eventos disruptivos, sino también los mecanismos mediante los cuales estos se transmiten entre nodos de la red logística humanitaria. A diferencia de un enfoque lineal, esta matriz evidencia la naturaleza interdependiente del sistema, donde un evento

inicial, como una falla en la coordinación estratégica o en la calidad de la información, puede amplificarse progresivamente hasta impactar la última milla y afectar la legitimidad territorial de la intervención. Esta aproximación permite comprender la logística humanitaria en La Guajira como un sistema complejo adaptativo, altamente sensible a fallas de coordinación e interoperabilidad.

TABLA I
Matriz De Propagación Sistémica Del Riesgo En La Logística Humanitaria De La Guajira

Nodo del Sistema	Factor Estructural	Evento de Riesgo (Trigger)	Mecanismo de Propagación	Nivel de Impacto	Efecto Sistémico
Coordinación estratégica (SNGRD/U NGRD – Organismos internacionales)	Asimetría de capacidades y centralización decisional	Retraso en definición de prioridades o asignación de recursos	Información tardía hacia nodos operativos	Alto	Desfase entre oferta y necesidad territorial
Planeación de la demanda	Información fragmentada y baja calidad de datos locales	Subestimación o sobreestimación de requerimientos	Distorsión en órdenes de compra e inventarios	Alto	Desabastecimiento o sobrestock
Gestión de inventarios	Falta de trazabilidad en tiempo real	Pérdida o duplicidad de registros	Desalineación entre inventario físico y reportado	Medio –Alto	Ineficiencia y desperdicio de recursos
Transporte y distribución	Infraestructura vial limitada y dispersión geográfica	Interrupción de rutas o retrasos prolongados	Aumento del tiempo de ciclo logístico	Alto	Riesgo de deterioro de suministros críticos
Coordinación territorial	Roles difusos entre alcaldías y operadores	Solapamiento de entregas	Distribuciones repetidas o zonas desatendidas	Medio	Inequidad en cobertura
Interacción comunitaria (Autoridades Wayúu)	Barreras culturales y lingüísticas	Rechazo o baja participación comunitaria	Interrupción del proceso de entrega	Alto	Pérdida de legitimidad y confianza
Sistema completo	Fragmentación informativa	Falta de visibilidad integral	Efecto cascada entre nodos	Muy alto	Amplificación del riesgo sistémico

B. Factores y riesgos territoriales

Se documentan restricciones estructurales: (i) vulnerabilidad social (pobreza, inseguridad alimentaria); (ii) accesibilidad vial limitada (dependencia de vías secundarias/terciarias, estacionalidad climática); (iii)

dispersión poblacional y distancias largas; (iv) capacidad operativa desigual entre niveles nacional y local. Estos factores elevan tiempos y costos, producen desabastecimientos y reducen cobertura efectiva en comunidades aisladas.

Como se observa en la Tabla II, la matriz comparativa de desempeño logístico-social evidencia brechas estructurales entre el promedio nacional, la Región Caribe y el departamento de La Guajira. Estas diferencias configuran un entorno de alta fricción logística, donde la vulnerabilidad social y las limitaciones de accesibilidad territorial incrementan la exposición al riesgo sistémico.

TABLA II.
 Matriz de desempeño logístico-social en zonas de alta vulnerabilidad del Caribe colombiano

Indicador	Colombia (Nacional)	Región Caribe	La Guajira
Pobreza monetaria (%)	(31.8 %)	(49.4 %)	(65.3 %)
Vulnerabilidad alimentaria (%)	(25.5 %)	0.30	0.15
Desigualdad (Gini)	0.551	No disponible por región	Estimado alto
Accesibilidad vial (escala 0–1)	0.60	0.50	0.45

Con el fin de operacionalizar las restricciones estructurales que condicionan el desempeño de la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad, se propone el Índice Compuesto de Fricción Logística Territorial (IFLT). Este índice no pretende medir la eficiencia logística en sí misma, sino capturar el nivel de fricción estructural del entorno en el cual opera la red humanitaria. Se entiende por fricción logística el conjunto de condiciones socioeconómicas e infraestructurales que incrementan la complejidad operativa, elevan la incertidumbre y amplifican la exposición al riesgo sistémico en la cadena de suministro humanitaria.

Conceptualmente, el IFLT integra dimensiones sociales e infraestructurales que influyen directamente en la demanda potencial de asistencia, la accesibilidad territorial y la capacidad de respuesta operativa. En particular, se consideran cuatro variables estructurales: pobreza monetaria, vulnerabilidad alimentaria, desigualdad (coeficiente de Gini) y accesibilidad vial. Mientras que las tres primeras incrementan la presión sobre el sistema logístico al elevar la demanda y la desigualdad en el acceso, la accesibilidad vial actúa como un modulador operativo cuya limitación incrementa tiempos de ciclo, costos y restricciones de cobertura en la última milla. De este modo, el índice refleja la interacción entre vulnerabilidad social y capacidad territorial de conectividad.

Metodológicamente, el IFLT se construye como un promedio ponderado de las variables normalizadas en escala 0–1, incorporando la inversión del indicador de accesibilidad para garantizar coherencia direccional en la interpretación del

índice. Valores cercanos a 1 representan mayores niveles de fricción estructural y, por tanto, mayores desafíos para la logística humanitaria. Esta aproximación permite comparar territorios bajo un marco analítico homogéneo y ofrece una herramienta cuantitativa para integrar condicionantes exógenos dentro del modelo sistémico de propagación del riesgo propuesto en este estudio.

$$IFLT = \frac{P + VA + G + (1 - A)}{4} \tag{1}$$

TABLA III.
 Cálculo del Índice Compuesto de Fricción Logística Territorial (IFLT)

Territorio	Pobreza (P)	Vulnerabilidad alimentaria (VA)	Desigualdad (Gini) (G)	Accesibilidad vial (A)	Accesibilidad invertida (1-A)	IFLT
Colombia	0.318	0.255	0.551	0.60	0.40	0.38
Región Caribe	0.494	0.30	0.55*	0.50	0.50	0.46
La Guajira	0.653	0.15	0.60*	0.45	0.55	0.49

Los resultados evidencian un incremento progresivo del Índice de Fricción Logística Territorial desde el nivel nacional hacia la Región Caribe y el departamento de La Guajira. Este gradiente refleja que las condiciones estructurales de vulnerabilidad social, desigualdad y accesibilidad territorial generan un entorno de mayor complejidad operativa para la logística humanitaria. En particular, La Guajira presenta el valor más alto del índice, lo que sugiere mayores niveles de fricción estructural que pueden traducirse en mayores tiempos de ciclo logístico, incremento de costos operativos y mayores dificultades para garantizar cobertura efectiva en comunidades dispersas.

C. Modelo sistémico (dinámica de sistemas)

Los resultados del Índice de Fricción Logística Territorial (IFLT) evidencian que el departamento de La Guajira presenta mayores niveles de complejidad estructural para la operación de la logística humanitaria en comparación con el promedio nacional y regional. Sin embargo, más allá de una caracterización estática del contexto territorial, resulta necesario comprender cómo estas condiciones estructurales interactúan dinámicamente con la capacidad operativa del sistema humanitario. En particular, altos niveles de vulnerabilidad social y limitaciones de accesibilidad territorial no solo incrementan la demanda potencial de asistencia, sino que también generan presiones operativas que pueden saturar progresivamente la red logística.

Para analizar estas interacciones se propone un modelo conceptual basado en dinámica de sistemas, el cual permite representar los mecanismos de retroalimentación que conectan vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad

logística. Este enfoque facilita la comprensión de cómo determinadas condiciones estructurales pueden activar procesos de amplificación del riesgo dentro del sistema humanitario.

La dinámica de escalada del riesgo se representa en la Fig. 2, la cual integra vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad logística, y formaliza un bucle reforzador entre estas variables: mayor vulnerabilidad → mayor demanda → mayor saturación y tiempos de respuesta → profundización de la vulnerabilidad. Se propone un diagrama niveles-flujos donde la capacidad es un stock afectado por inversión/logro (entradas) y desgaste/limitaciones (salidas), y la demanda evoluciona con choques y condiciones socioeconómicas. El modelo identifica palancas: coordinación multinivel, preposicionamiento e información mínima compartida para ruteo y priorización, además de hubs/micro-hubs y rutas estacionales.

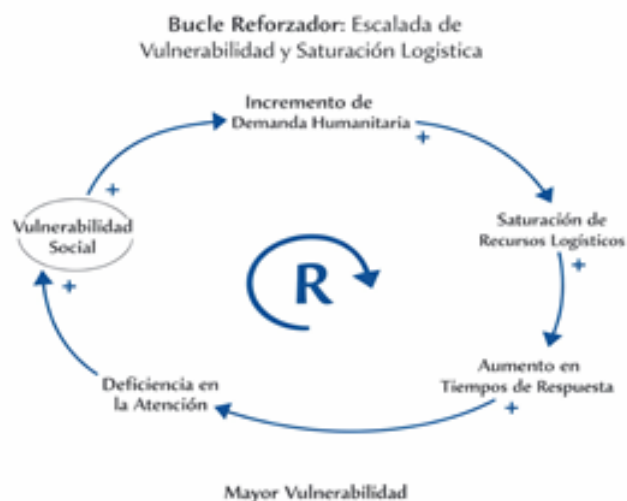


Fig. 2. Bucle reforzador de escalada de vulnerabilidad y saturación logística en el sistema humanitario

El modelo integra vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad logística, y formaliza un bucle reforzador en el cual mayores niveles de vulnerabilidad incrementan la demanda de asistencia, lo que a su vez eleva la saturación del sistema logístico y prolonga los tiempos de respuesta. Esta dinámica puede generar una profundización de las condiciones iniciales de vulnerabilidad, configurando un ciclo de retroalimentación positiva dentro del sistema humanitario. Con base en la lógica de dinámica de sistemas propuesta por Forrester (1961) y desarrollada posteriormente por Sterman (2000), se plantea un diagrama de niveles y flujos en el cual la capacidad logística se modela como un **stock**, influenciado por procesos de inversión y fortalecimiento institucional (entradas), así como por desgaste operativo, limitaciones infraestructurales y presión de la demanda (salidas). De manera paralela, la demanda humanitaria

evoluciona en función de choques externos y condiciones socioeconómicas estructurales.

El modelo permite identificar diversas palancas de intervención sistémica, entre ellas el fortalecimiento de la coordinación multinivel entre actores humanitarios, el preposicionamiento estratégico de suministros, la implementación de esquemas mínimos de información compartida para ruteo y priorización logística, y el desarrollo de hubs y micro-hubs de distribución adaptados a condiciones territoriales y rutas estacionales. Estas estrategias buscan reducir la saturación operativa y mejorar la capacidad adaptativa del sistema logístico frente a contextos de alta vulnerabilidad.

Con el fin de representar formalmente la dinámica del sistema logístico humanitario en contextos de alta vulnerabilidad, se propone un diagrama de **niveles y flujos** basado en los principios de la dinámica de sistemas. Este enfoque permite modelar la interacción entre variables estructurales y operativas que condicionan el desempeño de la logística humanitaria. En particular, la capacidad logística se conceptualiza como un *stock* que evoluciona en el tiempo en función de procesos de fortalecimiento institucional, inversión y coordinación interinstitucional (entradas), así como de desgaste operativo, limitaciones infraestructurales y presión creciente de la demanda (salidas). Paralelamente, la demanda humanitaria se ve influenciada por condiciones socioeconómicas estructurales, eventos disruptivos y cambios en los niveles de vulnerabilidad territorial.

Este enfoque permite analizar cómo la interacción entre capacidad logística y demanda humanitaria puede generar dinámicas de saturación o adaptación dentro del sistema. El diagrama facilita la identificación de variables críticas y puntos de intervención que influyen en la evolución del sistema logístico humanitario en territorios de alta fragilidad.

La formalización en niveles y flujos de la interacción entre capacidad logística y demanda humanitaria se muestra en la Fig. 3, que representa la estructura dinámica del sistema logístico humanitario en contextos de alta vulnerabilidad. En este modelo, la capacidad logística se conceptualiza como un nivel o *stock* que refleja la disponibilidad de recursos operativos del sistema, incluyendo inventarios, infraestructura logística, capacidad de transporte y recursos institucionales disponibles para la atención humanitaria. Este nivel evoluciona en el tiempo en función de flujos de entrada asociados al fortalecimiento institucional, la movilización de recursos y los procesos de coordinación interinstitucional, así como de flujos de salida relacionados con el desgaste operativo, la saturación del sistema y las limitaciones estructurales del territorio.

De manera complementaria, la demanda humanitaria se modela como otro nivel del sistema, influenciado por factores socioeconómicos estructurales como la pobreza, la inseguridad alimentaria y la exposición a choques externos. El aumento de

la demanda incrementa la presión sobre la capacidad logística disponible, afectando la eficiencia de los procesos de distribución y la cobertura efectiva de las intervenciones humanitarias. Esta interacción genera una dinámica de ajuste continuo entre la disponibilidad de recursos y las necesidades de asistencia de la población vulnerable.

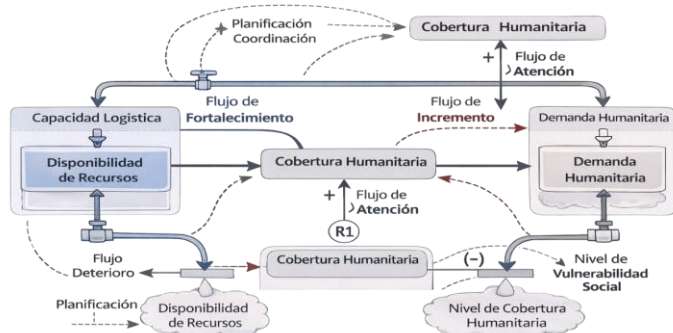


Fig. 3. Estructura de niveles y flujos del sistema logístico humanitario

La interacción entre estos niveles determina el nivel de cobertura humanitaria, entendido como la proporción de población vulnerable que logra ser efectivamente atendida por el sistema logístico. Cuando la demanda crece más rápido que la capacidad logística, el sistema experimenta procesos de saturación que se traducen en mayores tiempos de respuesta, retrasos en la distribución y reducción de la cobertura efectiva en comunidades dispersas. Estas dinámicas permiten identificar puntos críticos de intervención para mejorar la resiliencia del sistema humanitario.

La integración de factores territoriales, demanda humanitaria y capacidad logística dentro de una estructura sistémica se sintetiza en la Fig. 4, que presenta el modelo sistémico integrado de la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad y resume las interacciones entre factores territoriales, vulnerabilidad social, demanda humanitaria, capacidad logística y desempeño operativo del sistema. El modelo parte de la premisa de que la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad es el resultado de la interacción entre condiciones estructurales del territorio y las capacidades institucionales disponibles para responder a las necesidades de asistencia.

En el modelo, los factores territoriales (accesibilidad, infraestructura y condiciones de clima y seguridad) influyen directamente en los niveles de vulnerabilidad social y en las restricciones operativas del sistema logístico. A su vez, mayores niveles de vulnerabilidad incrementan la demanda humanitaria, lo que genera una mayor presión sobre los recursos logísticos disponibles y sobre la capacidad institucional para responder de manera oportuna.

La capacidad logística, representada por los subsistemas de infraestructura, transporte y almacenamiento, determina el nivel de desempeño del sistema humanitario en términos de

cobertura, tiempos de respuesta y calidad de atención. Cuando la demanda humanitaria supera la capacidad operativa disponible, se generan procesos de saturación que reducen el desempeño logístico y limitan la cobertura efectiva de la asistencia humanitaria en comunidades dispersas o de difícil acceso.

El modelo también evidencia la existencia de mecanismos de retroalimentación dentro del sistema. En particular, se identifica un bucle reforzador en el cual mayores niveles de vulnerabilidad incrementan la demanda humanitaria y la presión sobre los recursos logísticos, lo que puede deteriorar el desempeño operativo del sistema y, en consecuencia, profundizar las condiciones de vulnerabilidad en el territorio.

Desde esta perspectiva, el modelo permite identificar palancas estratégicas de intervención, entre ellas el fortalecimiento de la coordinación multinivel entre actores humanitarios, el preposicionamiento estratégico de suministros, el desarrollo de hubs logísticos regionales y la mejora de los sistemas de información para la priorización y ruteo de la ayuda humanitaria. Estas intervenciones pueden contribuir a reducir la fricción logística territorial y mejorar la capacidad adaptativa del sistema humanitario frente a contextos de alta vulnerabilidad.

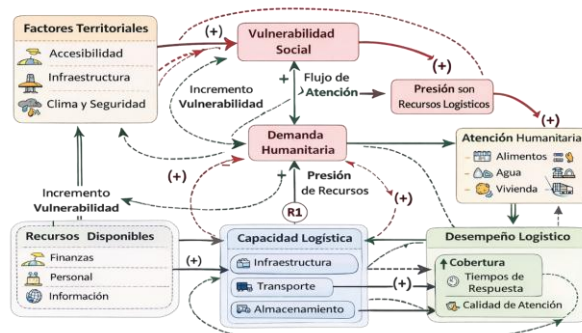


Fig. 4. Modelo sistémico integrado de la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad

V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirman que el desempeño de la logística humanitaria en contextos de alta vulnerabilidad no depende exclusivamente de la optimización operativa de procesos como el ruteo o el almacenamiento, sino de la interacción entre factores institucionales, territoriales y de gobernanza. En el caso de La Guajira, las limitaciones de accesibilidad territorial, combinadas con altos niveles de vulnerabilidad social, generan un entorno de alta fricción logística que condiciona la eficiencia del sistema humanitario. Este hallazgo coincide con la literatura sobre logística humanitaria, que señala que el desempeño de las cadenas de

suministro en contextos de emergencia está fuertemente influenciado por condiciones estructurales del territorio y por la capacidad de coordinación entre actores [1]-[17].

El análisis sistémico desarrollado en este estudio evidencia que la vulnerabilidad territorial y la capacidad logística interactúan mediante mecanismos de retroalimentación que pueden amplificar la presión sobre el sistema humanitario. En particular, el modelo propuesto muestra que mayores niveles de vulnerabilidad social incrementan la demanda humanitaria, lo que genera una mayor presión sobre los recursos logísticos disponibles y puede conducir a procesos de saturación operativa. Esta dinámica refuerza la necesidad de adoptar enfoques sistémicos en la planificación logística humanitaria, tal como sugieren estudios recientes sobre resiliencia y gestión del riesgo en cadenas de suministro complejas [8], [9].

A partir de estos resultados, se identifican diversas palancas estratégicas de intervención para mejorar el desempeño del sistema logístico humanitario en territorios con condiciones similares a las de La Guajira. En primer lugar, resulta fundamental establecer un estándar mínimo de datos compartidos entre las organizaciones participantes en la respuesta humanitaria, incluyendo información básica sobre qué recursos se distribuyen, quién los entrega, dónde se ubican los beneficiarios y cuándo se realizan las intervenciones. La disponibilidad de información interoperable permite mejorar la trazabilidad de la ayuda y facilitar procesos de priorización y coordinación entre actores.

En segundo lugar, el análisis sugiere la importancia del preposicionamiento estratégico de suministros y la implementación de hubs o micro-hubs logísticos en áreas críticas del territorio. Esta estrategia puede reducir los tiempos de respuesta y mejorar la cobertura en comunidades dispersas o de difícil acceso, particularmente en regiones con limitaciones de infraestructura vial. En tercer lugar, la planificación logística debe incorporar rutas estacionales y flotas adaptadas a las condiciones del terreno, considerando factores como variaciones climáticas, estado de las vías y accesibilidad a comunidades rurales o indígenas.

Finalmente, los resultados resaltan la importancia de fortalecer los mecanismos de coordinación multinivel, incorporando de manera efectiva a las autoridades territoriales y a las autoridades tradicionales Wayúu en los procesos de planificación y distribución de la asistencia humanitaria. La participación de actores comunitarios no solo contribuye a mejorar la legitimidad de las intervenciones, sino que también facilita el acceso a comunidades remotas y mejora la cobertura efectiva de la ayuda.

En conjunto, el modelo sistémico propuesto ofrece un marco analítico que permite comprender las interacciones entre vulnerabilidad social, demanda humanitaria y capacidad

logística, así como identificar puntos críticos de intervención dentro del sistema. Este enfoque proporciona una base conceptual para el desarrollo de herramientas digitales de apoyo a la decisión y simulación de escenarios, orientadas a mejorar la planificación y coordinación de las operaciones logísticas humanitarias en contextos de alta vulnerabilidad territorial.

VI. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como objetivo caracterizar de manera sistémica los factores, riesgos y actores que influyen en la logística humanitaria en zonas de alta vulnerabilidad del Caribe colombiano, con énfasis en el caso del departamento de La Guajira. Los resultados muestran que el desempeño de la logística humanitaria en estos contextos no depende únicamente de la eficiencia de las operaciones logísticas tradicionales, sino de la interacción entre condiciones estructurales del territorio, niveles de vulnerabilidad social y capacidades institucionales del sistema humanitario.

En particular, el análisis evidenció que las limitaciones de accesibilidad territorial, la dispersión poblacional y los altos niveles de pobreza y vulnerabilidad alimentaria generan un entorno de alta fricción logística, que incrementa la complejidad operativa y la exposición al riesgo sistémico en las operaciones de asistencia humanitaria. La construcción del Índice de Fricción Logística Territorial (IFLT) permitió cuantificar estas condiciones estructurales y mostrar un gradiente creciente de complejidad desde el nivel nacional hacia el departamento de La Guajira, evidenciando la necesidad de estrategias logísticas diferenciadas para territorios con altos niveles de vulnerabilidad.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio propone un modelo sistémico integrado de la logística humanitaria, basado en principios de dinámica de sistemas, que permite representar las interacciones entre vulnerabilidad social, demanda humanitaria, capacidad logística y desempeño operativo del sistema. Este modelo identifica mecanismos de retroalimentación que pueden amplificar la presión sobre los recursos logísticos cuando la demanda humanitaria supera la capacidad institucional disponible, generando procesos de saturación que afectan la cobertura y la oportunidad de la asistencia.

Los resultados también permiten identificar palancas estratégicas para fortalecer la resiliencia del sistema logístico humanitario en contextos de alta vulnerabilidad territorial. Entre ellas se destacan la implementación de estándares mínimos de información compartida entre actores humanitarios, el preposicionamiento estratégico de suministros mediante hubs y micro-hubs logísticos, el diseño de rutas estacionales adaptadas a las condiciones del territorio y el fortalecimiento de mecanismos de coordinación multinivel con participación de autoridades territoriales y comunidades locales, incluyendo las autoridades tradicionales Wayúu.

Finalmente, este estudio aporta un marco analítico que puede servir como base para el desarrollo de herramientas digitales de apoyo a la decisión, simulación de escenarios logísticos y diseño de estrategias de gestión del riesgo en operaciones humanitarias. Futuras investigaciones podrían profundizar en la validación empírica del modelo mediante simulaciones dinámicas o estudios comparativos en otros territorios vulnerables, con el fin de fortalecer la aplicabilidad del enfoque sistémico en la planificación y gestión de la logística humanitaria.

AGRADECIMIENTOS /RECONOCIMIENTO

Se agradece al Grupo de Investigación GINTECPRO y a la Universidad El Bosque por su apoyo académico y metodológico en el marco del macroproyecto “Optimizar el proceso de la logística humanitaria mediante un sistema digital”.

REFERENCIAS

- [1] L. N. Van Wassenhove, “Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 5, pp. 475–489, 2006.
- [2] J. M. Day, S. A. Melnyk, P. D. Larson, E. W. Davis, and D. C. Whybark, “Humanitarian and disaster relief supply chains: A matter of life and death,” *J. Supply Chain Manag.*, vol. 48, no. 2, pp. 21–36, 2012.
- [3] B. Balci and B. M. Beamon, “Facility location in humanitarian relief,” *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 11, no. 2, pp. 101–121, 2008.
- [4] C. G. Rawls and M. A. Turnquist, “Pre-positioning of emergency supplies for disaster response,” *Transp. Res. Part B*, vol. 44, no. 4, pp. 521–534, 2010.
- [5] A. M. Campbell and P. C. Jones, “Prepositioning supplies in preparation for disasters,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 209, no. 2, pp. 156–165, 2011.
- [6] N. Holguín-Veras, M. Jaller, and T. Wachtendorf, “Material convergence: An important and understudied disaster phenomenon,” *Nat. Hazards Rev.*, vol. 15, no. 3, Art. no. 06014001, 2014.
- [7] C. W. Craighead, J. Blackhurst, M. J. Rungtusanatham, and R. B. Handfield, “The severity of supply chain disruptions: Design characteristics and mitigation capabilities,” *Decision Sciences*, vol. 38, no. 1, pp. 131–156, 2007.
- [8] T. J. Pettit, J. Fiksel, and K. L. Croxton, “Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework,” *J. Bus. Logist.*, vol. 31, no. 1, pp. 1–21, 2010.
- [9] D. Ivanov, “Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability perspectives,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 10, pp. 2904–2915, 2020.
- [10] S. L. Cutter, B. J. Boruff, and W. L. Shirley, “Social vulnerability to environmental hazards,” *Social Science Quarterly*, vol. 84, no. 2, pp. 242–261, 2003.
- [11] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1961.
- [12] J. D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.
- [13] OECD, *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris, France: OECD Publishing, 2008.
- [14] M. Nardo, M. Saisana, A. Saltelli, and S. Tarantola, *Handbook on Constructing Composite Indicators*. European Commission, 2005.
- [15] B. G. Glaser and A. L. Strauss, *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago, IL, USA: Aldine Publishing, 1967.
- [16] Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA), *Plan de respuesta humanitaria Colombia 2024*, 2024.
- [17] 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, 2007.
- [18] S. I. Daza-Daza, G. M. Fernández-Márquez, and D. Ruiz-Muñoz, “El recurso agua en las comunidades indígenas Wayuu: problemáticas y perspectivas. Parte 1,” *Información Tecnológica*, vol. 29, no. 6, pp. 13–24, 2018.
- [19] B. M. Beamon and B. Balci, “Performance measurement in humanitarian relief chains,” *Int. J. Public Sector Manag.*, vol. 21, no. 1, pp. 4–25, 2008.
- [20] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), *Informe de gestión 2024*, 2025.
- [21] J. C. López-Vargas and D. M. Cárdenas-Aguirre, “Desempeño de la logística humanitaria en etapas previas al desastre,” *Rev. Investig. Desarro. Innov.*, vol. 7, no. 2, pp. 167–178, 2017, doi: 10.19053/20278306.v7.n2.2017.6094.
- [22] D. I. Acuña Medina, D. R. Acuña Torres, and C. M. Romero Zúñiga, “Capacidad institucional del municipio de Maicao para la gestión del riesgo,” *Rev. Colomb. Cienc. Soc.*, vol. 14, no. 1, pp. 205–237, 2023.