



**Diseño de un modelo de contención de reprocesos logísticos mediante principios de
resiliencia militar aplicados a pymes colombianas**

Héctor Giovanny Gómez Gómez.

Universidad Ean

Programa

Ingeniería Industrial

Director (a):

Diana Paola Figueroa Hernández

Bogotá D,C , Colombia

15 de junio del 2026

**Diseño de un modelo de contención de reprocesos logísticos mediante principios de
resiliencia militar aplicados a pymes colombianas**

Héctor Giovanni Gómez Gómez.

“Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Industrial.

Director (a):

Diana Paola Figueroa Hernández

Universidad Ean

Ingeniería

Ingeniería Industrial

Bogotá D,C , Colombia

15 de junio del 2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá, 15/06/2026

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a las personas e instituciones que hicieron posible este trabajo, el cual representa la confluencia de más de veinte años de labor profesional en el sector logístico con el rigor de la investigación científica. Esta obra nace de la observación constante y del deseo de transformar procesos críticos en soluciones resilientes para el servicio al cliente.

A la Universidad EAN y su Facultad de Ingeniería, por abrirme sus puertas y brindarme el marco académico necesario para sustentar mi experiencia empírica.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Dra. Diana Paola Figueroa Hernández cuya orientación, paciencia y sabiduría resultaron fundamentales para transformar casi dos décadas de experiencia en el área operativa en una investigación con rigor científico, dando forma a un modelo que nació en la cotidianidad del trabajo diario.

A mis compañeros Andrés, Alvaro, Ricardo, Alexander, Edgar y Armando. Gracias su valiosa ayuda y por vivir juntos los desafíos que trajo esta investigación; este modelo nace para hacer más amable el proceso que representan.

Finalmente a mi madre, por entender el sacrificio y acompañarme de forma incondicional.

Resumen

El origen de este trabajo se genera en una interrogante muy concreta que surgió directamente de la operación logística del día a día: ¿por qué la falla más mínima en la recepción de mercancía termina generando consecuencias y sobrecostos en horas, vehículos y dinero días después?. La respuesta fue una construcción a lo largo de esta investigación y demostró que el reproceso logístico no puede verse como un hecho aislado; por el contrario es la causa de un fenómeno con alta propagación sistémica que, visto desde enfoques tradicionales como lean o Six sigma, se infiltra y no es posible de frenar en su punto de origen (Negroni, 2018; Boysen et al., 2010).

En Colombia, las pymes logísticas trabajan bajo la limitación de recursos y una volatilidad que se intensifica por la falta de madurez en la estandarización de los procesos (Brzeziński, 2019). Como reflejo de esta realidad, durante marzo de 2026 la operación evaluada en este estudio alcanzó una tasa de devolución del 39.3%, acumulando 89 horas dedicadas exclusivamente al logística inversa, golpeando los indicadores con un gasto mensual de \$26740.000 en transporte inverso. Esto se convirtió en el motor de la investigación, dejando un poco de lado las métricas abstractas para enfocarse en un problema tangible.

Frente a este panorama se estructura el modelo SUDR. Este sistema de contención opera en cuatro fases sucesivas Sensing, understanding, directing y recovery y toma como referencia algunos de los fundamentos de la resiliencia logística militar, adaptándolos a las condiciones y restricciones particulares de las pymes en Colombia (Brzeziński, 2019;

Vasiliauskas v et al., 2024). Metodológicamente, el estudio se rigió por un enfoque mixto con alcances de carácter descriptivo y propositivo.

La validación practica o prueba del concepto tuvo lugar entre el 4 y el 17 de abril de 2026, dentro de una organización del sector de infraestructura en Bogotá DC, contando con la colaboración de cinco operadores y dos mandos tácticos. Al analizar las 17 órdenes procesadas durante este periodo, se observó que el checklist f-01 logro interceptar el 58.8% de las inconsistencias antes del proceso de despacho. De igual manera, en 6 de los casos (35.3%) fue necesario activar los protocolos de contención, registrando un tiempo promedio de 38 minutos para subsanar la situación, margen que guarda coherencia con los parámetros identificados en la literatura científica(Boysen et al., 2010; Saavedra-Robinson et al., 2020).

A partir de estas métricas, la proyección de implementar el modelo a gran escala sugiere mejoras sustanciales: un recorte del 20 al 25% en los tiempos muertos por reprocesos, una disminución del 30% en la perdida de materiales y un alivio del 25% en los niveles de estrés percibidos por el personal de la operación (Giacomelli et al., 2025; Valenzuela Inostroza et al., 2019). En conclusión, intervenir el error desde una visión sistémica ajustando los umbrales críticos y coordinando las entradas y salidas de información resulta más efectivo para la resiliencia de la empresa que intentar suprimir las fallas por completo, una meta poco viable en el volátil entorno de las pymes logísticas del país(Boysen et al., 2010; Plevnik & Rupnik, 2026).

Palabras clave: reproceso logístico; confiabilidad humana; resiliencia operativa.

pymes; logística inversa; contención.

Abstract

The Colombian logistics sector faces rework that acts as a systemic, non-value-adding disturbances, compromising organizational stability and traceability (Alayo De la Cruz, 2016; Saavedra-Robinson et al., 2020). Unlike mature markets, operations in Colombia function under resource constraints and high variability, generating marked systemic fragility against interruptions (Brzeziński, 2019) The purpose of this study is to design an operational containment model inspired by military logistics resilience principles, specifically adapted to the limitations of national SMEs (Vasiliauskas et al., 2024).

The research employed a mixed approach with a descriptive and propositive scope. The analysis evidenced that rework does not operate as an isolated event, but as a viral -natured disturbance: an initial failure goes undetected due to the absence of early detection mechanisms (infection), propagates toward dependent processes generating unplanned corrective cycles (replication) and, without containment, collapses available operational capacity (metastasis)(Boysen et al., 2010; Negroni, 2018) In response to this dynamic, the S-U-D-R model was developed: a structured containment system operating in four sequential phases detection (Sensing), analysis (Understanding), intervention (Directing), and recovery (Recovery) inspired by military logistics resilience principles adapted to the Colombian SME context(Brzeziński, 2019; Vasiliauskas v et al., 2024)

The model was subjected to an operational proof of concept between April 4 and 17, 2026, at an infrastructure sector company in Bogotá D.C., with the participation of five operators and two tactical supervisors under explicit consent. Observed results (n = 17 orders) were interception of 58.8% of inconsistencies before dispatch through the F-01

system; and activation of containment protocols in 6 cases (35.3%); and average correction time of 38 minutes, consistent with ranges reported in specialized literature(Boysen et al., 2010; Saavedra-Robinson et al., 2020).Based on these empirical data, a full-scale implementation is projected to yield a 20-25% reduction in rework times, a 30% decrease in material waste, and a 25% reduction in perceived stress load among operators (Giacomelli et al., 2025; Valenzuela Inostroza et al., 2019).

It is concluded that managing error systemically through critical threshold calibration and inbound / outbound flow synchronization strengthens operational resilience more effectively than seeking total failure elimination, an approach unfeasible in high variability environments such as Colombian logistics SMEs (Boysen et al., 2010; Plevnik & Rupnik, 2026).

Keywords: logistics rework; human reliability; operational resilience; SMEs; reverse logistics; containment.

Índice

Introducción	12
<i>Contexto y Problemática</i>	<i>12</i>
Justificación Teórica y Ambiental	14
Objetivos	16
<i>Objetivo General</i>	<i>16</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>16</i>
Marco teórico.....	17
<i>Definición y Taxonomía del Reproceso Logístico</i>	<i>17</i>
<i>Teoría del Error Humano y Modelos de Análisis</i>	<i>18</i>
<i>Impacto Operativo del Error Humano en Logística</i>	<i>19</i>
<i>Propagación Sistémica y Efectos en Cascada</i>	<i>20</i>
<i>Relación con Resiliencia Operativa y Control del Proceso.....</i>	<i>20</i>
<i>Teoría o Solución de Ingeniería</i>	<i>22</i>
Estado del arte	23
<i>(Metodología PRISMA)</i>	<i>23</i>
<i>Procedimiento Metodológico PRISMA.....</i>	<i>23</i>
<i>Análisis Crítico de Estudios Seleccionados</i>	<i>24</i>
<i>Brechas y Contribución del Proyecto</i>	<i>27</i>
Metodología	29

<i>Enfoque y Alcance de la Investigación</i>	<i>29</i>
<i>Diseño de la Investigación.....</i>	<i>30</i>
<i>Población, Muestra y Contexto</i>	<i>30</i>
<i>Evidencias de Validación del Prototipo S-U-D-R</i>	<i>32</i>
<i>En la fase de validación técnica se optó por la medición directa de cuatro variables críticas de la operación. Respecto a la eficiencia temporal, el uso del Formato F - 02 permitió cronometrar un promedio de 38 minutos invertidos por cada incidente de reproceso. Paralelamente, el monitoreo minucioso de las 17 recepciones del piloto sacó a la luz 10 inconsistencias operativas (58.8%), clasificadas rigurosamente de acuerdo con su taxonomía y origen.</i>	<i>32</i>
<i>Instrumentos y Validación</i>	<i>33</i>
<i>Consideraciones Éticas y Limitaciones.</i>	<i>33</i>
<i>En cuanto a las restricciones metodológicas del estudio, se identifican tres factores específicos, el horizonte temporal limitado a dos semanas, un tamaño muestral de 17 órdenes que resulta idóneo para una validación preliminar pero insuficiente para proyecciones de inferencia estadística robusta, y el entorno particular de una pyme en Bogotá, lo que demandará adaptaciones contextuales antes de transferir el modelo a otras regiones o sectores económicos. No obstante, el alcance de estas limitaciones se contrarresta activamente a través de un proceso de triangulación metodológica respaldado en los ocho estudios de la revisión PRISMA, sumado a la arquitectura modular del modelo, la cual facilita su adaptabilidad y escalabilidad operacionales.</i>	<i>34</i>
<i>Modelo S-U-D-R.....</i>	<i>35</i>
<i>Descripción general del modelo.....</i>	<i>35</i>
Resultados	43
<i>Descripción del Prototipo Implementado.</i>	<i>43</i>
<i>Implementación del Prototipo (Piloto abril 2026)</i>	<i>44</i>

<i>Medición de KPIs del Prototipo Antes vs. Después</i>	<i>46</i>
<i>Validación de la Encuesta de Percepción Operativa</i>	<i>47</i>
Discusión	49
<i>Interpretación de los KPIs Medidos</i>	<i>50</i>
<i>Fiabilidad Humana y Factores Psicosociales</i>	<i>51</i>
<i>Logística Inversa Como Mecanismo Activo de Recuperación</i>	<i>51</i>
<i>Limitaciones y Alcance de los Hallazgos</i>	<i>52</i>
<i>Síntesis Cambio de Paradigma</i>	<i>53</i>
Conclusiones	54
Plan de divulgación.....	57
Referencias bibliográficas.....	60
Anexo A. Manual Técnico Operativo Sistema S-U-D-R v1.0.....	64

Introducción

Contexto y Problemática

El sector logístico colombiano ha crecido de manera sostenida en la última década. Este impulso proviene principalmente del comercio exterior y el auge del comercio electrónico (Forero Campos, 2014). Sin embargo, el desarrollo enfrenta desafíos estructurales en la estandarización de procesos y una limitada resiliencia ante eventos no previstos (Brzeziński, 2019).

A diferencia de economías desarrolladas, las operaciones en Colombia presentan recursos restringidos y una alta variabilidad, lo que genera fragilidad sistémica. Su impacto no se refleja de forma directa en los balance de productividad sino hasta que la perturbación ya se ha extendido por la cadena de suministro, una pequeña inconsistencia al recibir la documentación escala hasta convertirse en una devolución, dicha devolución arrastra consigo más trabajo, el tiempo extra se materializa en flota vehicular inmovilizada y finalmente, ese tiempo muerto se traduce en la pérdida de confianza de un cliente.

Durante marzo de 2026, la operación logística evaluada en esta investigación validó este comportamiento mediante indicadores críticos: una tasa de devolución del 39,3%, 89 horas consumidas en tareas de logística inversa y un costo derivado de 26.740.000 por concepto de transporte de retorno (GS, 2026; Ministerio de Transporte de Colombia, 2025). Esta realidad latente fue el detonante directo para estructurar el presente estudio.

Lejos de lo que ocurre en mercados de economías maduras, los flujos logísticos en el entorno colombiano coexisten con presupuestos limitados y una alta volatilidad, lo que acentúa la vulnerabilidad de los sistemas frente a incidentes imprevistos. Este panorama se vuelve aún más complejo si se considera la incipiente adopción de la logística inversa, la cual pocas veces está integrada como una estrategia activa orientada a la recuperación de valor y a la sostenibilidad (Gómez Montoya, 2010).

Justificación Teórica y Ambiental

En un plano conceptual, la investigación sustenta la viabilidad de trasladar las directrices de resiliencia de la logística militar hacia los entornos empresariales civiles . la diferencia critica radica en la prioridades: mientras que el diseño corporativo convencional se obsesiona con la eficiencia extrema bajo filosofías como el *Just in Time* suprimiendo la holgura o redundancia e la operación, el pensamiento militar opera bajo la premisa de que la hostilidad y la variabilidad son factores inherentes a cualquier escenario facilitando asi el diseñar sistemas tolerantes a fallos que priorizan la continuidad sobre el costo mínimo(Brzeziński, 2019). La aplicación de doctrinas de verificación en cascada y el uso de rutas alternativas ofrecen una solución robusta para neutralizar errores antes de su propagación total (Pardo Retortillo J, 2025). Además, esta investigación fortalece la sostenibilidad ambiental. Al proponer un modelo de contención se reduce significativamente los desperdicios de materiales y recursos generados por fallas operativas recurrentes (Gómez Montoya, 2010; Valenzuela Inostroza et al., 2019).

Por medio del presente proyecto se busca ¿Cómo mitigar la propagación sistémica de los reprocesos en pymes, logísticas mediante principios de resiliencia militar?, el proyecto se organizará en diferentes temarios para garantizar el rigor metodológico que consiste en, profundizar en la taxonomía del error y la teoría de la confiabilidad humana, mediante la aplicación del método PRISMA para identificar brechas en la transferencia civil - militar. se detalla la metodología mixta que consta de un análisis cuantitativo y cualitativo donde se detalla dos fases:

Fase descriptiva: caracteriza el estado actual de las operaciones logísticas en pymes colombianas, identifica procesos no estandarizados frecuentes y determina tareas críticas donde se originan los reprocesos.

Fase propositiva: formula un modelo técnico de contención basado en rutas redundantes, zonas de aislamiento y verificación robusta, orientado a restaurar la integridad del sistema tras la detección de la anomalía.

El diseño no experimental y transversal aplicado en el contexto de las pymes, ya que los datos se recolectan sin manipular variables en un periodo temporal definido. Este enfoque permite obtener una instantánea del comportamiento del sistema antes de la intervención, identificando su vulnerabilidad estructural (Hernández Sampieri et al ., 2018) con la información obtenida se diseñara el manual técnico de un sistema inmunológico dividido en cuatro fases (USUDR) cada fase tiene su fundamento teórico-militar y una herramienta específica, lo cual dentro del proyecto se identifica como check list F01 y F02, cada uno con su base de datos lo cual generara el informe integrado del USUDR semanal para efectos de detección temprana, clasificación del error, contención física y en dado caso activar PROTOCOLO PARAR y así desenfocar en una logística inversa.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo de contención operativa basado en principios de resiliencia militar, adaptado específicamente a las pymes logísticas colombianas.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el reproceso logístico en la pymes locales como un fenómeno de propagación sistémica, diferenciándolo de los enfoques correctivos tradicionales mediante la identificación de nodos que requieren detección temprana y aislamiento.
- Adaptar los principios de resiliencia de la logística militar al contexto civil colombiano sustentando su viabilidad frente a las restricciones de recursos de las pymes a través de evidencia empírica y una revisión sistemática de la literatura.
- Diseñar un manual técnico estructurado en cuatro fases secuenciales del modelo (Sensing, Understanding, Directing y Recovery) integrando herramientas de control a nivel operativo (Checklists F-01, F-02, base de datos) viables de ejecutar sin inversión en software especializado.
- Validar la viabilidad operativa del modelo mediante una prueba de concepto en condiciones reales de operación, triangulando los resultados obtenidos con el juicio de operadores expertos y los datos derivados de la metodología prisma.

Marco teórico

Definición y Taxonomía del Reproceso Logístico

Dentro del entorno de la operación, el reproceso se entiende como la ejecución de sobre tareas redundantes o suplementarias dirigidas a subsanar una brecha entre el estándar esperado y el resultado real del proceso. Esta dinámica no aporta valor alguno al flujo de materiales ni al consumidor final (Alayo De la Cruz C, 2016; Boysen et al., 2010). En la práctica diaria, esta problemática abarca actividades de retrabajos físicos conocidos como los "RE", la reclasificación de mercancías, el re-etiquetado manual, los segundos filtros de revisión documental y la administración de devoluciones. Las consecuencias de estas acciones se traducen de forma inmediata en la ampliación de tiempos de ciclo, el uso ineficiente de la capacidad instalada y el desgaste progresivo en la calidad del servicio (de Koster et al., 2007; Saavedra-Robinson et al., 2020).

A nivel taxonómico, las desviaciones que originan estos reprocesos se agrupan en tres grandes familias operativas (Saavedra-Robinson et al., 2020). Errores de Acción que se vinculan a la omisión en elementos de control, registros de datos incompletos y fallas de picking por una selección errónea de referencias o volúmenes también los errores de Interpretación que surgen por la aplicación equivocada de las directrices del negocio, tarifas o condiciones acordadas dentro del servicio o los errores de Comunicación que pueden ser transferencias de datos tardías o fragmentadas entre distintas dependencias y actores, lo que rompe la trazabilidad y la consistencia de los pedidos (Boysen et al., 2010; Genovese et al., 2017; Saavedra-Robinson et al., 2020).

Esta estructura de clasificación constituye la base operativa sobre la cual se diseñó el modelo S-U-D-R. Al ejecutar el piloto en abril de 2026, la medición en campo arrojó que el 50% de las incidencias correspondían a fallas de comunicación, el 33,3% a errores de acción y el 16,7% a errores de regla o interpretación. Estos hallazgos validaron de manera empírica que la taxonomía seleccionada describe con precisión la realidad de las pymes logísticas en Colombia (Informe integrado SUDR, abril 2026).

Teoría del Error Humano y Modelos de Análisis

La tasa de error humano dentro de los almacenes no es un comportamiento fortuito; está condicionada por variables del entorno laboral como la intensidad de la carga de trabajo, la presión del tiempo, la calidad de la retroalimentación, la capacitación previa y los niveles de fatiga (Giacomelli et al., 2025; Saavedra-Robinson et al., 2020).

Metodológicamente, estas variables se evalúan calculando la frecuencia de fallas por actividad mediante el Análisis de Confiabilidad Humana (HRA). En este sentido, la literatura demuestra que estructurar de forma rígida las tareas y rediseñar los flujos de recepción estabiliza la variabilidad de la operación. Este principio técnico se toma como base para hacer el Checklist F-01 del modelo S-U-D-R, con siete comprobaciones de carácter binario que están pensadas para mitigar la carga de estrés cognitivo que soporta el operario en el muelle de recibo (Alayo De la Cruz C, 2016; Forero Campos, 2014; Ortiz et al., 2012).

Por su parte, la fatiga operativa puede ser una variable crítica que reduce sustancialmente la fiabilidad del personal en momentos de alta presión (Giacomelli et al., 2025). Con el fin de neutralizar estos factores, el modelo S-U-D-R Requiere separar funciones, el personal operativo ejecuta las comprobaciones físicas del F-01 (fase de detección), el mando táctico asume la responsabilidad de activar las acciones de contención (fase de decisión). Mediante este esquema, disminuye el agotamiento derivado de mezclar el esfuerzo de alerta y la toma de decisiones en un solo colaborador(**Laurente Caldas & Gutiérrez Falcón, 2025; Saavedra-Robinson et al., 2020**).

Impacto Operativo del Error Humano en Logística

Las repercusiones del reproceso sobre la cadena de suministro se manifiestan mediante un ecosistema de cuatro dimensiones que interactúan entre sí de forma inmediata, los retrasos en los tiempos de entrega, gastos desmedidos de recursos, la saturación de los espacios de almacenamiento y la pérdida de confiabilidad ante el cliente (Boysen et al., 2010; Genovese et al., 2017): Para la empresa objeto de estudio, este impacto multidimensional dejó de ser un supuesto teórico al ser cuantificado en la línea base de marzo de 2026, registrando 89 horas perdidas en logística inversa, 35 unidades (camiones) afectadas, un sobre costo logístico de \$26.740.000 en fletes de retorno y un indicador de devoluciones del 39,3%(GS, 2026; Ministerio de Transporte de Colombia, 2025).

Propagación Sistémica y Efectos en Cascada

La gravedad del reproceso se ve en su comportamiento como una perturbación con alta capacidad de propagación, facilitada por las interdependencias de la red (Boysen et al., 2010; Negroni, 2018). Esta propagación sistémica se caracteriza por su naturaleza no lineal, lo que significa que la desviación más mínima que pase en la recepción de mercancías posee el potencial de amplificarse hasta paralizar la operación en eslabones posteriores. así se justifica técnicamente que el modelo S-U-D-R priorice la contención temprana en el punto de entrada (**Boysen et al., 2010; Plevnik & Rupnik, 2026**). Como antecedente regional, Díaz-Estela et al. (2025) evidenciaron en una pyme metalmecánica que las fallas no controladas al inicio del flujo migraban de forma directa hacia el área de almacenamiento, elevando el volumen de productos defectuosos a un 12,5% antes de la mediación; un comportamiento análogo al identificado en este proyecto.

Relación con Resiliencia Operativa y Control del Proceso

La resiliencia dentro de las operaciones se define como la facultad que tiene una organización para asimilar eventos no esperados, reconfigurar sus actividades y estabilizar sus niveles de rendimiento frente a la incertidumbre (Brzeziński, 2019). En las bases del modelo S-U-D-R, estas propiedades se traducen en componentes prácticos de ingeniería la redundancia que se estructura mediante canales alternativos para el flujo de recepción, Adaptabilidad capacidad de Controlar visualmente por las alertas tipo semáforo incorporadas en el F-01, Recuperación, que se gestiona en la fase Recovery bajo los parámetros de la logística de retorno y Aprendizaje continuo mediante la evaluación de indicadores en un tablero de control (Dashboard) semanal (Brzeziński, 2019; Vasiliauskas v et al., 2024).

Estas directrices teóricas se materializaron en tres aplicativos digitales desarrollados sobre Microsoft Excel mediante macros en Visual Basic para Aplicaciones (VBA): el archivo CHC_BD.xlsm dispuesto para la etapa de Sensing; el programa CHKF_02_BD.xlsm diseñado para mediar entre las fases de Understanding y Directing; y la plantilla SUDR_Informe_Integrado.xlsx asignada a la fase de Recovery. El uso de Excel como soporte de ingeniería responde de forma directa a la necesidad de viabilizar el proyecto bajo las estrictas restricciones presupuestarias y de infraestructura tecnológica que caracterizan al tejido empresarial de las pymes en el país (Forero Campos, 2014; Ortiz et al., 2012).

Teoría o Solución de Ingeniería

No es una revisión documental aislada, el desarrollo teórico que se expone representa el sustento de ingeniería que valida el diseño y los mecanismos del modelo S-U-D-R. Para facilitar la comprensión de esta alineación directa entre la literatura y la herramienta, la Tabla 1 expone de manera consolidada dicha correspondencia. Tabla 1.

Tabla 2.

Correspondencia entre fundamento teórico y decisión de ingeniería en el modelo S-U-D-R

Fundamento teórico	Autor(es) clave	Decisión de ingeniería en S-U-D-R	Fase
Taxonomía del reproceso (acción, comunicación, regla)	Saavedra-Robinson et al. (2020)	Sistema de clasificación del F-02	Understanding
Probabilidad de error humano (p) y factores PSF	Giacomelli et al. (2025)	7 criterios binarios del F-01, separación de roles	Sensing
Impacto en tiempo, recursos, congestión y servicio	Boysen et al. (2010)	KPIs del SUDR: tiempo corrección, vehículos, % inconsistencias	Recovery
Propagación viral — infección, replicación, metástasis	Negroni (2018)	Protocolo PARAR y zonas de contención física	Directing

Nota. Elaboración propia con base en revisión sistemática PRISMA.

Estado del arte

(Metodología PRISMA)

El presente estado del arte se desarrolla mediante una revisión sistemática estructurada siguiendo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). El objetivo es identificar tendencias metodológicas, marcos teóricos y vacíos de conocimiento relacionados con la propagación del reproceso logístico como fenómeno sistémico y los modelos de contención basados en principios de resiliencia operativa.

Procedimiento Metodológico PRISMA

Se realizaron búsquedas sistemáticas en Scopus, Web of Science, ScienceDirect y EBSCOhost, complementadas con Google Scholar. La ecuación de búsqueda principal fue: TITLE – ABS –KEY(“logistics rework” OR “rework” OR “reverse logistics”) AND (“resilience” OR “operational resilience” OR “military logistics”) AND (error OR “human reliability” OR “human error”) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2027). Los criterios de inclusión fueron: periodo 2012-2026, artículos peer-reviewed, idioma español/inglés, texto completo disponible y relevancia temática. El proceso identificó inicialmente 150 registros, eliminó 25 duplicados (n = 125), excluyó 80 en screening (n = 45), descartó 33 en elegibilidad (n = 12) y seleccionó finalmente 8 artículos para análisis crítico.

Análisis Crítico de Estudios Seleccionados

Vasiliauskas v et al., (2024) analizaron los desafíos de la logística inversa en organizaciones militares con externalización. Los resultados identificaron que las organizaciones militares implementan protocolos de redundancia y verificación en cascada que reducen significativamente la propagación de errores. Este estudio proporciona la base conceptual para la transferencia de principios de resiliencia logística militar al contexto civil colombiano.

Saavedra-Robinson et al., (2020) cuantificaron la incidencia del error humano en servicios de transporte terrestre colombiano. Los hallazgos demostraron que las tareas de alta repetitividad presentan tasas de error entre 8 - 15%, siendo la fatiga y la presión de tiempo los principales factores, y que la implementación de puntos de control estratégicos reduce reprocesos en un 30 a un 40%. Este estudio fundamenta la dimensión cuantitativa del modelo propuesto.

Valenzuela Inostroza et al., (2019) diseñaron una cadena logística inversa para recuperación de valor en modelos de economía circular. Los resultados mostraron que la logística inversa bien diseñada puede recuperar hasta el 70% del valor de los materiales. Este estudio proporciona el marco conceptual para la fase Recovery del modelo propuesto.

Pereira et al., (2023) evaluaron el impacto de la gestión de logística inversa en escenarios de alta incertidumbre. Los hallazgos demostraron que los sistemas con logística inversa robusta muestran mayor resiliencia en escenarios de crisis. Este estudio valida la aplicabilidad de principios de gestión de retornos en contextos de alta incertidumbre.

Díaz-Estela et al., (2025) implementaron un modelo de gestión de almacén basado en Lean Logistics en una pyme metalmecánica en Lima, Perú. las experiencias previas en la región del trabajo desarrollado por Díaz-Estela et al., (2025). aportan un antecedente de gran valor al implementar un modelo de gestión de almacén basado en Lean Logistics dentro de una pyme metalmecánica en Lima, Perú. Sus hallazgos demostraron una reducción drástica de los productos reprocesados, los cuales descendieron del 12.5 % un notable 2 %, validando así que las aplicaciones operativas de bajo costo Pueden ser altamente efectivas en el entorno empresarial latinoamericano.

No obstante, este estudio se compara directamente con el enfoque del modelo S-U-D-R mientras. Díaz-Estela et al., 2025) centra su intervención de manera exclusiva en el área de almacenamiento, la presente investigación actúa sobre la recepción, mostrando que la brecha de contención en el punto de entrada de la mercancía permanece habitualmente desatendida por la literatura.

La misma vulnerabilidad en las zonas de ingreso la corrobora Briones-Chávez et al. (2025). evaluando el uso de herramientas Lean en una pyme logística enfocada en el transporte de carga terrestre en Perú. A pesar de que sus estrategias lograron mejoras significativas en el indicador de entregas perfectas (OTIF), sus conclusiones dejan ver una limitación crítica al concentrarse únicamente en la fase de despacho, pero sin intervenir en la recepción. Este vacío operativo refuerza la premisa de que el recibo de materiales constituye un punto ciego prioritario para el sector logístico de la región.

Por otra parte, la justificación para diseñar un sistema basado en la adaptabilidad y no solo en la velocidad encuentra un respaldo empírico fundamental en las investigaciones de. Essuman, (2024) por medio de validación matemática de un modelo que vincula la resiliencia operativa con la eficiencia en organizaciones de transporte, el autor demostró que la búsqueda ciega de una eficiencia extrema termina por minar la capacidad de absorción de las organizaciones ante disrupciones en su entorno.

Este hallazgo proporciona el sustento cuantitativo para anteponer el enfoque de resiliencia sobre la optimización tradicional en el diseño de la arquitectura S-U-D-R.

Finalmente, frente al control de errores puntuales en la manipulación de mercancías, Calderón-Gonzales et al., (2025). aplico metodologías de Lean Warehousing en operaciones de consumo masivo (FMCG) en Latinoamérica. Su propuesta, orientada a la verificación punto por punto, alcanzó reducciones medibles en las fallas por referencias equivocadas (mis-picks), un resultado que valida directamente el principio de inspección en origen que le da forma al Checklist F-01 del modelo S-U-D-R.

Brechas y Contribución del Proyecto

La revisión sistemática de la literatura seleccionada expone que los modelos de mejora en las pymes latinoamericanas se concentran de forma puntual en metodologías Lean aplicadas al despacho y al almacenamiento, postergando la fase de recepción a pesar de ser el punto crítico donde se originan los reprocesos. Ninguno de los estudios analizados logra integrar de forma simultánea la detección temprana, la clasificación taxonómica del error, la contención física y la recuperación de valor en un sistema unificado que demande un costo tecnológico bajo. Esta brecha estructural es el espacio que ocupa el modelo S-U-D-R, cuya prueba operativa que tuvo lugar entre el 4 y el 17 de abril de 2026 sobre un flujo de 17 órdenes demostró que interceptar el 58.8% de las inconsistencias directamente en la recepción, antes de que viajen al despacho, es técnicamente viable mediante herramientas accesibles y de bajo coste.

De allí nace la coherencia del presente proyecto generando una contribución al sector a través de cuatro ejes fundamentales. En primer lugar, aporta un modelo integral (Sensing-Understanding-Directing-Recovery) provisto de listas de chequeo binarias, zonas de contención físicas y rutas de flujo redundantes. En segundo lugar, ejecuta una transferencia contextualizada de principios de resiliencia militar hacia las realidades operativas de las pymes colombianas. En tercer lugar, introduce un enfoque sistémico que analiza el reproceso como un agente de propagación dinámica.

Finalmente, ofrece una validación dual que combina la experimentación en campo con la triangulación de la literatura especializada, debatiendo la tendencia estrictamente teórica de los antecedentes.

Para integrar de manera analítica estos hallazgos, identificar las variables analizadas y consolidar las exclusiones metodológicas derivadas de la literatura, se estructuró la siguiente matriz de correspondencia.

Tabla 3.
Comparación crítica de estudios seleccionados mediante PRISMA.

Autor/Año	Objetivo principal	Metodología	Relación con S-U-D-R
Vasiliauskas et al. (2024)	Logística inversa militar con externalización	Caso cualitativo	Base para contención y verificación en cascada
Saavedra-Robinson et al. (2020)	Error humano en transporte terrestre	Mixto: obs. + entrevistas	Medición de p y puntos de control F-01
Valenzuela Inostroza et al. (2019)	Cadena logística inversa economía circular	Modelación matemática	Fase Recovery: umbral 50% y 70% recuperación
Pereira et al. (2023)	Logística inversa en escenarios de crisis	Caso comparativo	Transferencia en alta incertidumbre
Díaz-Estela et al. (2025)	Lean en pyme metalmecánica Perú	Implementación real	Contraste: 5S vs verificación en cascada en pymes
Briones-Chávez et al. (2025)	OTIF en pyme transporte Perú	Implementación real	Brecha: despacho mejorado vs recepción sin atender
Essuman et al. (2024)	Resiliencia operativa vs eficiencia	Survey empírico Q1	Fundamento cuantitativo para S-U-D-R sobre JIT
Calderón-Gonzales et al. (2025)	Lean Warehousing FMCG	Implementación Latinoamérica	Valida principio verificación en origen del F-01

Nota. Elaboración propia con base en revisión sistemática PRISMA (2012-2026).

Metodología

Enfoque y Alcance de la Investigación

La complejidad del reproceso logístico obliga a abandonar el análisis de fallas estáticas o aisladas para adoptar una mirada sistémica. En este modelo, y bajo la perspectiva de (Negroni, 2018). este fenómeno se entiende como un foco de propagación o diseminación viral, capaz de desestabilizar las operaciones adyacentes a través de subrutinas de reparación imprevistas y flujos correctivos no contemplados. Responder a este desafío operativo demanda un marco metodológico bidireccional de carácter híbrido. por un lado, se despliegan herramientas cualitativas para descifrar la raíz humana y la dimensión cognitiva del error; por el otro, se implementa un instrumental cuantitativo estructurado para modelar matemáticamente la transmisión de la perturbación y medir su impacto real en el sistema.

Según Hernández Sampieri et al., (2018). El alcance metodológico se estructura en dos fases: la fase descriptiva, que caracteriza el estado operativo pre intervención mediante el análisis de la línea base de marzo de 2026; y la fase propositiva experimental, que formula, implementa y evalúa el modelo técnico de contención S-U-D-R mediante una prueba de concepto operativa en condiciones reales.

Diseño de la Investigación

El diseño es cuasiexperimental de caso único con medición pre - post, que incorpora una línea base operativa del mes de marzo de 2026 como período de Preimplementación y el piloto de abril de 2026 como período de intervención controlada. Este diseño permite comparar indicadores operativos antes y después de la aplicación del modelo sin requerir grupo control, siendo apropiado para estudios de implementación en contextos organizacionales reales con acceso restringido. **(Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018)**. La variable independiente es la implementación del modelo S-U-D-R. Las variables dependientes son: tasa de detección temprana, tiempo promedio de corrección, número de activaciones del protocolo PARAR y vehículos impactados por semana.

Población, Muestra y Contexto

El estudio se desarrolló en el contexto de operaciones logísticas de una pyme del sector de infraestructura y construcción en Bogotá D.C., cuya identidad se mantiene en reserva por acuerdo de confidencialidad. Para la prueba de concepto, la muestra efectiva fue de siete participantes cinco operarios (GOMEZ.G, RINCON.E, RINCON.N, AÑES.A, RODRIGUEZ.D) y dos tácticos (MELO.R, SOLIS.A) seleccionados mediante muestreo intencional con criterio mínimo de dos años de experiencia en operaciones logística **(Kane & Denzin, 2017)** s. Todos los participantes otorgaron consentimiento explícito para la participación y la publicación de sus identificadores operativos con fines académicos. la prueba piloto se consolidó mediante la evaluación de un muestreo operativo compuesto por 17 órdenes de recepción, las cuales fueron procesadas bajo las directrices del nuevo protocolo técnico.

Para la recopilación de estos datos y la posterior auditoría del sistema, el procesamiento de dicho flujo de carga se concentró en una ventana temporal de observación que abarcó desde el 4 hasta el 17 de abril de 2026, sirviendo como la base empírica para testear los mecanismos del modelo.

Descripción del Prototipo Implementado

La propuesta de solución se materializó en tres herramientas digitales funcionales desarrolladas en Microsoft Excel con Visual Basic para Aplicaciones (VBA), estructuradas para operar de forma integrada sin requerir inversiones en software especializado (Ortiz et al., 2012). El flujo operativo inicia con el aplicativo CHC_BD.xlsm, encargado de ejecutar la fase de Sensing mediante un bloque de siete verificaciones binarias conectadas a un sistema de semáforo automático para la toma de decisiones (Verde, Amarillo o Rojo). A este componente le sigue la herramienta CHKF_02_BD.xlsm, cuyo diseño da soporte a las etapas de Understanding y Directing; para ello, procesa los datos a través de la clasificación taxonómica del error, la medición de su impacto y la consecuente activación de los protocolos de contención. Finalmente, el ciclo de ingeniería se consolida con SUDR_Informe_Integrado.xlsx, un archivo enfocado en la fase de Recovery que automatiza la concentración de los indicadores clave de rendimiento y alimenta un Dashboard gerencial de periodicidad semanal.

Evidencias de Validación del Prototipo S-U-D-R

En la fase de validación técnica se optó por la medición directa de cuatro variables críticas de la operación. Respecto a la eficiencia temporal, el uso del Formato F - 02 permitió cronometrar un promedio de 38 minutos invertidos por cada incidente de reproceso. Paralelamente, el monitoreo minucioso de las 17 recepciones del piloto sacó a la luz 10 inconsistencias operativas (58.8%), clasificadas rigurosamente de acuerdo con su taxonomía y origen.

El impacto económico, por otro lado, se contrastó frente a la línea base de marzo de marzo (26.740.000), destacando que la afectación de unidades de transporte se redujo de 35 a 26 vehículos, lo que representa una mejora del 25.7 % (Ministerio de Transporte de Colombia, 2025).

Esta dinámica validó el cumplimiento del modelo mediante una tasa de detección en origen, logrando frenar el 58.8% de los errores en el muelle de entrada durante abril, frente a un escenario previo en marzo donde las devoluciones alcanzaban el 39.3 %. La trazabilidad de este ejercicio queda respaldada mediante soportes físicos (formatos de control F - 01 y F - 02) y herramientas digitales (CHC_BD.xlsm, CHKF_02_BD.xlsm y SUDR_Informe_Integrado.xlsx), todos disponibles para su revisión en los anexos del proyecto.

Instrumentos y Validación

El Checklist F- 01 operacionaliza la guía de observación de fallos según la secuencia infección-replicación-metástasis (Negroni, 2018). El Formato F- 02 operacionaliza la entrevista ACTA de fallos y carga cognitiva (Saavedra-Robinson et al., 2020). El SUDR operacionaliza la matriz de indicadores de contención según el modelo DEFCHAIN (**Plevnik & Rupnik, 2026**). La validación se realizó mediante tres vías: juicio de expertos académicos, prueba de concepto operativa en condiciones reales, y triangulación con ocho estudios PRISMA (Hernández Sampieri et al., 2018) Al finalizar el piloto, una encuesta de percepción a ocho operarios obtuvo una calificación promedio de 4.29/5 en reducción de estrés percibido y una tasa de recomendación del 90%.

Consideraciones Éticas y Limitaciones.

La investigación garantiza consentimiento informado, protección de datos sensibles y uso estrictamente académico de toda la información recolectada (Hernández Sampieri et al., 2018) Desde el componente ético, la investigación se rigió bajo los principios de consentimiento informado, salvaguarda de datos sensibles y uso con fines estrictamente académicos de los registros recolectados (Hernández-Sampieri et al., 2018). En concordancia con estas directrices, la identidad de la organización donde se ejecutó la prueba piloto se mantiene bajo estricta reserva en virtud de un acuerdo de confidencialidad comercial. Por otra parte, para la modelación de los costos de transporte, se adoptaron como referencia las tarifas públicas oficiales aplicadas a vehículos de carga de hasta 3.500 kg, información técnica que fue extraída de la Tabla 7 del Ministerio de Transporte de Colombia (2025).

En cuanto a las restricciones metodológicas del estudio, se identifican tres factores específicos, el horizonte temporal limitado a dos semanas, un tamaño muestral de 17 órdenes que resulta idóneo para una validación preliminar pero insuficiente para proyecciones de inferencia estadística robusta, y el entorno particular de una pyme en Bogotá, lo que demandará adaptaciones contextuales antes de transferir el modelo a otras regiones o sectores económicos. No obstante, el alcance de estas limitaciones se contrarresta activamente a través de un proceso de triangulación metodológica respaldado en los ocho estudios de la revisión PRISMA, sumado a la arquitectura modular del modelo, la cual facilita su adaptabilidad y escalabilidad operacionales.

Modelo S-U-D-R

Descripción general del modelo

S-U-D-R surge como una solución de ingeniería para resolver un desafío crítico en la cadena de suministro, la interrupción de las fallas operativas antes de que desencadenen procesos imprevistos. En lugar de adoptar una posición reactiva cuando el daño ya se ha extendido, el sistema prioriza la contención activa en el origen (Boysen et al., 2010; Negroni, 2018). El soporte conceptual del modelo se alimenta de una transferencia metodológica desde la logística militar, adoptando tres principios diseñados para escenarios complejos dentro de los que se encuentran la verificación en cascada, la cuarentena de incidencias y el diseño de rutas redundantes (Brzeziński, 2019; Vasiliauskas v et al., 2024).

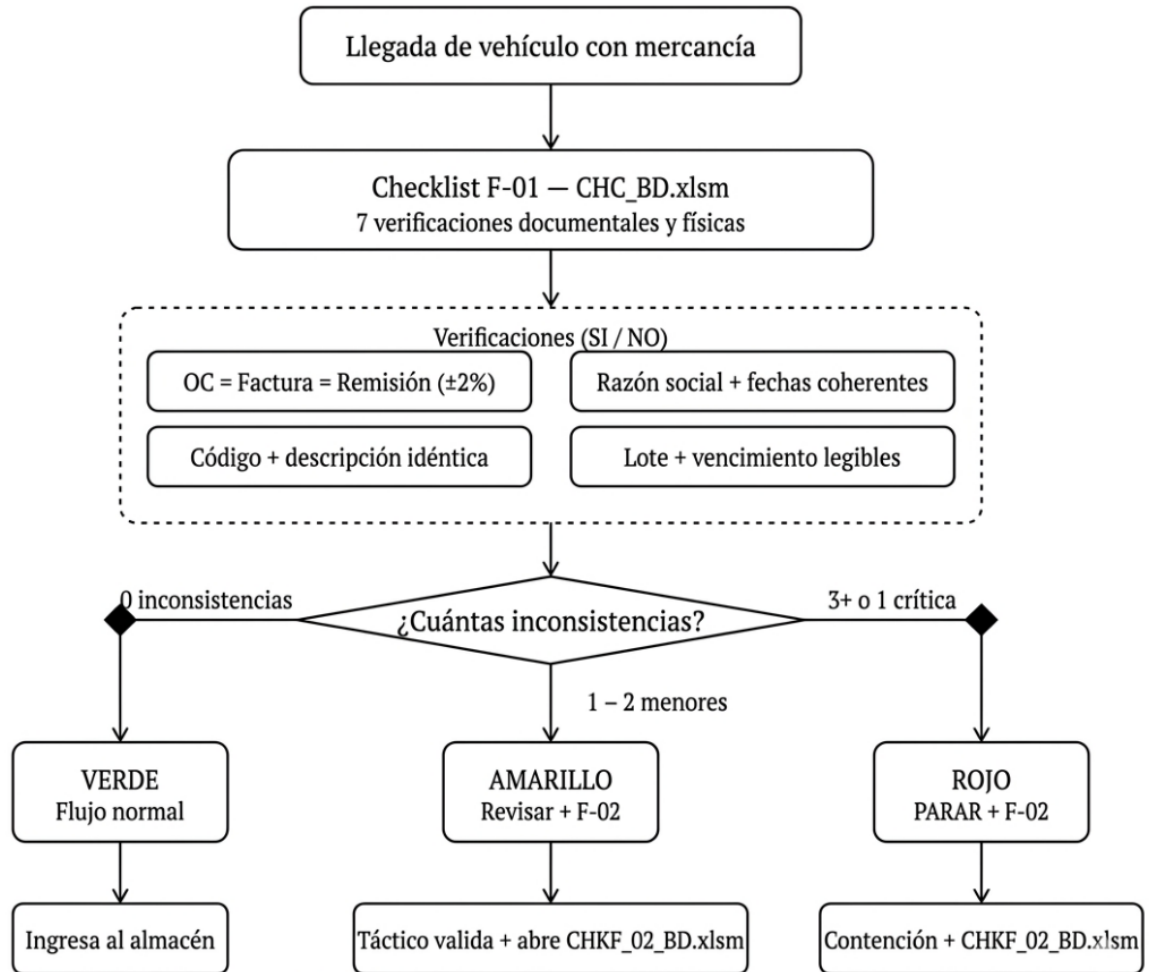
Fase 1: Detección (Sensing)

La fase Sensing opera como el primer filtro obligatorio equivalente al control de seguridad en un aeropuerto que cada orden de compra debe superar antes de ingresar al almacén.

Su instrumento operativo es el Checklist F- 01, implementado en el archivo CHC_BD.xlsm. El operario ejecuta 7 verificaciones binarias: coherencia documental (OC, Factura, Remisión; razón social; fechas; cantidades más o menos 2 %) e identificación física del producto (Area, código, descripción, lote y fecha de vencimiento). Durante el piloto de abril de 2026, este instrumento interceptó el 58.8% de las inconsistencias antes del despacho (Saavedra-Robinson et al., 2020).

Figura 1.

Fase Sensing o mejor conocido como proceso de recepción.



Piloto abril 2026: 58,8% de órdenes interceptadas antes del despacho (n=17)

Nota. Elaboración propia con base en la implementación del prototipo S-U-D-R (abril 2026).

Fase 2: El Análisis (Understanding).

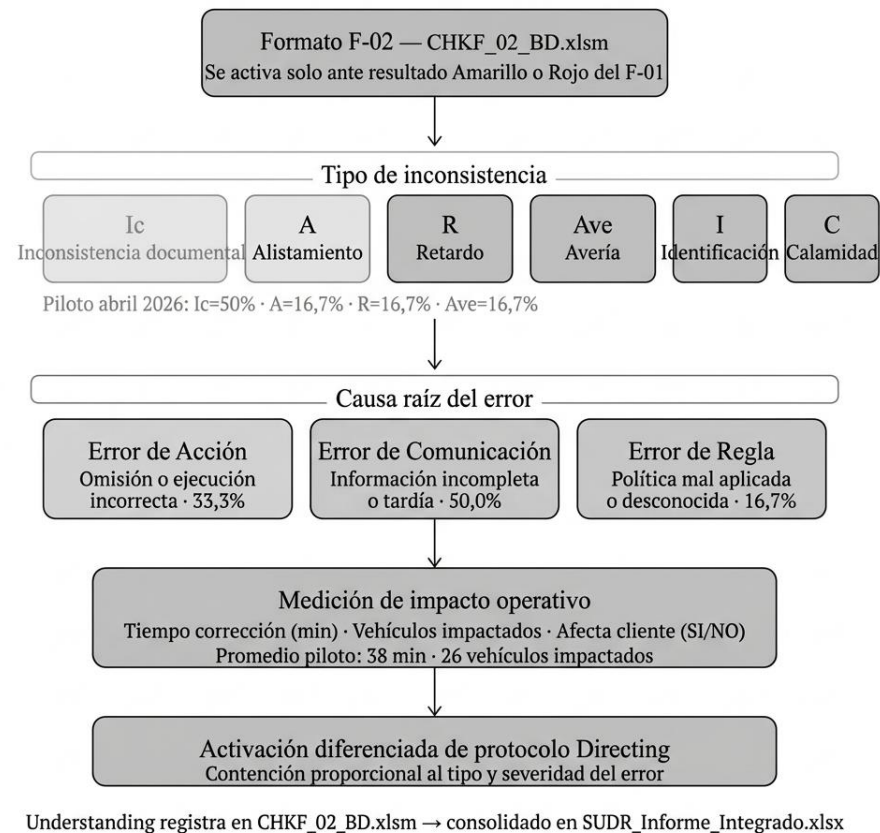
Si la herramienta Checklist F- 01 arroja un diagnóstico Amarillo o Rojo, activa inmediatamente la fase de Understanding. Esta etapa canaliza la clasificación y el análisis de la desviación mediante el Formato F- 02, un soporte analítico automatizado en el archivo CHKF_02_BD.xlsm. El diseño taxonómico de este instrumento evalúa el error bajo una matriz de dos dimensiones interconectadas: el tipo de inconsistencia detectada, esta abarca fallas de carácter documental, de alistamiento, retardos, averías o daños, problemas de identificación o calamidades y la determinación de su causa raíz, tipificada como error de acción, de comunicación o de norma.

Al evaluar los datos empíricos de la prueba piloto, la distribución estadística de los fallos, se valida una marcada tendencia hacia las fallas de comunicación con un 50 % de representatividad, seguidas por los errores de acción con un 33.3%, y finalmente los de regla o norma con un 16.7%. Esta composición interna guarda una estrecha correlación con los patrones de dispersión operativa reportados Saavedra-Robinson et al., (2020).

La sincronía entre los hallazgos de campo y la literatura especializada no solo valida la precisión de los instrumentos diseñados, y también robustece la base científica de la clasificación que se implementó.

Figura 2.

Fase Understanding muestra la taxonomía de errores y propagación sistémica.



Nota. Elaboración propia, se basa en la implementación del prototipo modelo S-U-D-R (abril 2026).

Fase 3: Intervención (Directing)

En la fase Directing se despliega las acciones de contención a través de una estrategia tripartita que integra el aislamiento físico de la mercancía en una zona de resguardo designada, la emisión de una notificación estructurada hacia el proveedor y la habilitación de rutas de flujo redundantes destinadas a salvaguardar la continuidad del servicio.

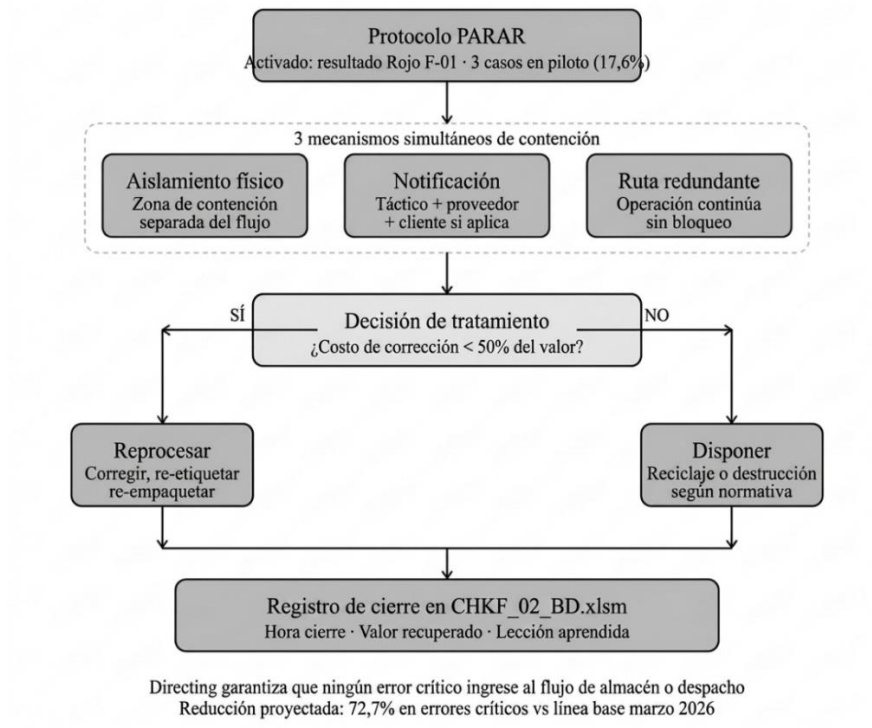
Cuando el sistema identifica incidencias críticas bajo la alerta Roja en el Checklist F- 01, se activa de forma perentoria el protocolo PARAR; este procedimiento exige detener la operación de forma inmediata, aislar los productos afectados, alertar al nivel táctico y activar, obligatoriamente el Formato F- 02.

Para la disposición final de la carga se rige bajo un umbral de viabilidad económica fijado en el 50%. Bajo esta regla de decisión, el reprocesamiento en sitio se autoriza únicamente si el costo estimado de la acción correctora se mantiene por debajo del 50% del valor unitario de la mercancía; en caso de que el impacto financiero rebase dicho límite, el flujo se deriva de inmediato hacia los canales de logística inversa (Valenzuela Inostroza et al., 2019).

aplicar esta lógica operativa durante la prueba piloto provocó la activación del protocolo PARAR en 3 casos particulares (equivalentes al 17.6 % del flujo), logrando proyectar una reducción del 72,7% en las devoluciones totales frente a los registros históricos de la línea base.

Figura 3.

activación de protocolos de contención y neutralización — Fase Directing



Nota. Elaboración propia, se basa en la implementación del prototipo modelo S-U-D-R (abril 2026).

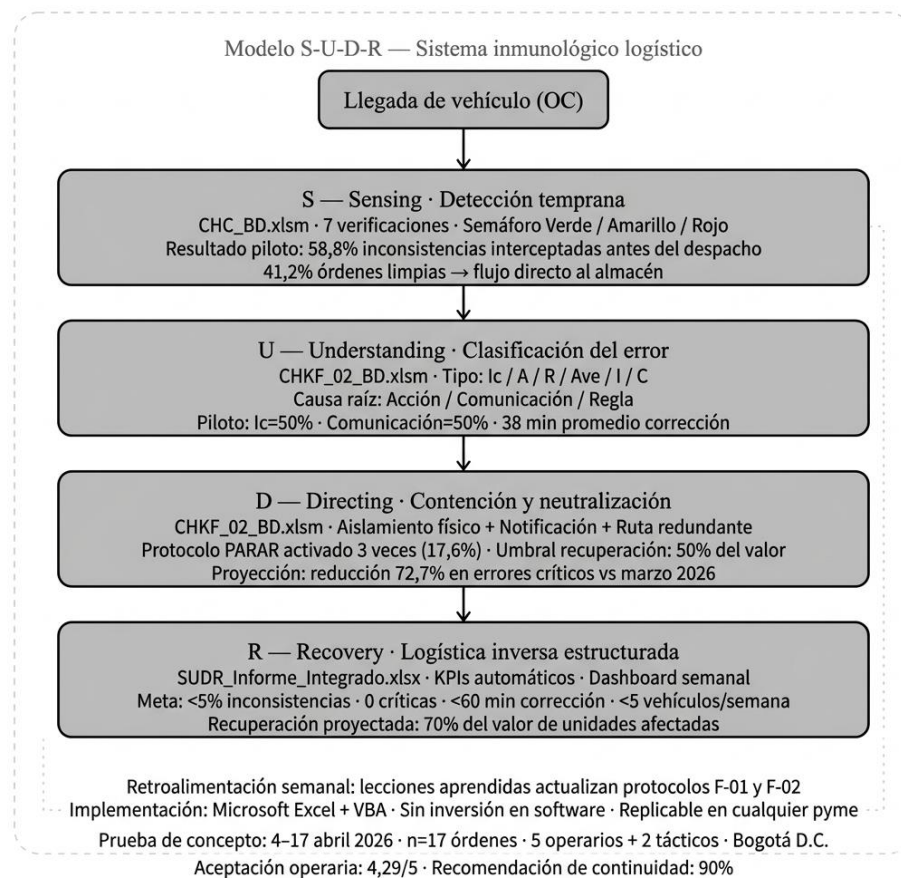
Fase 4: Recuperación (Recovery)

El cierre estratégico del ciclo de contención, la fase de Recovery articula la estandarización post-incidente, la sincronización de los flujos de entrada y salida (inbound/outbound) de acuerdo a los lineamientos de Boysen et al., (2010) y un monitoreo continuo centralizado en el cuadro de mando a través del SUDR_Informe_Integrado.xlsx.

Los KPIs semanales incluyen: porcentaje de inconsistencias (meta, menor al 5%), órdenes críticas (meta, igual a 0), tiempo promedio de corrección (meta, menor a 60 minutos) y vehículos impactados (meta. Menos de 5 unidades a la semana). La integración estratégica de logística inversa proyecta recuperar hasta el 70 % del valor de unidades afectadas (Gómez Montoya, 2010; Valenzuela Inostroza et al., 2019).

Figura 4.

Modelo integral S-U-D-R — Sistema inmunológico logístico.



Nota. Elaboración propia con base en la implementación del prototipo S-U-D-R (abril 2026).

Integración del Sistema

Tabla 4.

Flujo operativo integrado del sistema S-U-D-R

Paso	Actividad	Herramienta	Fase S-U-D-R	Resultado
1	Llegada de vehículo	—	—	Inicio del proceso
2	Verificación documental y física	CHC_BD.xlsm	Sensing	Semáforo Verde / Amarillo / Rojo
3 ^a	Verde: flujo normal	CHC_BD.xlsm	Sensing	Ingreso al almacén
3b	Amarillo/Rojo: activar F-02	CHKF_02_BD.xlsm	Understanding / Directing	Clasificación + contención
4	Protocolo PARAR si es crítico	CHC + CHKF_02	Directing	Aislamiento + notificación
5	Consolidación semanal	SUDR_Informe_Integrado.xlsx	Recovery	KPIs + Dashboard gerencial

Nota. Elaboración propia. El número de Orden de Compra es el identificador único que vincula las tres herramientas.

Resultados

Descripción del Prototipo Implementado.

El presente estudio produjo un prototipo funcional denominado Sistema S-U-D-R, compuesto por tres herramientas digitales desarrolladas en Microsoft Excel con Visual Basic for Applications e implementadas en condiciones reales de operación logística durante el período del 4 al 17 de abril de 2026 en una pyme del sector de infraestructura y construcción en Bogotá D.C. El prototipo opera de forma integrada mediante el número de Orden de Compra como identificador único, sin requerir inversión en software especializado (Díaz et al., 2025; Ortiz et al., 2012).

Tabla 5.
Indicadores operativos de línea base marzo 2026 (Preimplementación).

Indicador	Valor	Unidad
Total de entregas procesadas	28	órdenes
Entregas perfectas	17 (60,7%)	órdenes
Entregas devueltas	11 (39,3%)	órdenes
Peso total procesado	206218	kg
Peso devuelto	69.169 (33,5%)	kg
Costo transporte por devoluciones	26740000	COP (aprox.)
Horas de logística inversa	89	horas/mes
Vehículos impactados	35	vehículos (estimado)

Nota. Elaboración propia con base en el Informe de Operaciones GS, (2026) y Ministerio de Transporte de Colombia, (2025)

Tabla 6.

Distribución de errores en devoluciones — marzo 2026

Tipo de error	Código	Frecuencia	Porcentaje
Identificación	I	3 casos	0,273
Alistamiento	A	2 casos	0,182
Inconsistencia documental	Ic	2 casos	0,182
Avería	Ave	1 caso	0,091
Retardo	R	1 caso	0,091
Calamidad	C	1 caso	0,091
Total		11 casos	1

Nota. Elaboración propia con base en el Informe de Operaciones (GS, 2026). Los errores de Identificación y Alistamiento representan el 45,5% de las devoluciones (Saavedra-Robinson et al., 2020)

Implementación del Prototipo (Piloto abril 2026)

Durante el período del 4 al 17 de abril de 2026 se implementó el prototipo S-U-D-R en condiciones reales de operación, procesando 17 órdenes de recepción bajo el nuevo protocolo con participación de cinco operarios y dos tácticos bajo consentimiento explícito. Los resultados se registraron automáticamente en el SUDR_Informe_Integrado.xlsx y se verificaron contra los registros físicos de los formatos F-01 y F-02.

Tabla 7.

Métricas de desempeño del prototipo S-U-D-R — piloto abril 2026 (n = 17 órdenes)

Indicador	Valor	Porcentaje
Órdenes procesadas bajo protocolo	17	100%
Órdenes sin inconsistencias	7	41,2%
Órdenes con inconsistencias detectadas	10	58,8%
Activaciones de Formato F-02	6	35,3%
Casos críticos — protocolo PARAR	3	17,6%
Vehículos impactados	26	—
Tiempo promedio de corrección min	38	—

Nota. Elaboración propia con base en la base de datos integrada SUDR_Informe_Integrado.xlsx (abril 2026). Todos los registros fueron verificados contra formatos físicos F-01 y F-02.

Tabla 8

Distribución de inconsistencias por tipo de error — Formato F-02 (n = 6 activaciones)

Tipo de inconsistencia	Código	Casos	Porcentaje
Inconsistencia documental	Ic	3	50,0%
Alistamiento	A	1	16,7%
Retardo	R	1	16,7%
Avería	Ave	1	16,7%
Total		6	100%

Nota. Clasificación según taxonomía operativa del modelo S-U-D-R. Elaboración propia con base en CHKF_02_BD.xlsm (abril 2026).

Tabla 9.

Clasificación del error según causa raíz — abril 2026 (n = 6 activaciones F-02)

Categoría	Casos	Porcentaje	Descripción
Error de comunicación	3	50%	Información incompleta o tardía
Error de acción	2	33%	Omisión o ejecución incorrecta
Error de regla	1	17%	Política mal aplicada
Total	6	100%	

Nota. Elaboración propia con base en CHKF_02_BD.xlsm (abril 2026).

Medición de KPIs del Prototipo Antes vs. Después

La comparación entre la línea base de marzo 2026 y los resultados del piloto de abril 2026 constituye la medición de impacto del prototipo S-U-D-R en operación logística real.

Tabla 10.

Comparativo de KPIs operativos: línea base vs. implementación del prototipo S-U-D-R

KPI medido	Marzo 2026 (Pre)	Abril 2026 (Post)	Variación	Interpretación
Punto de detección de fallas	En devolución al cliente (39,3%)	En recepción (58,8%)	+49,6 pp	Fallas contenidas antes del despacho
Errores críticos sin contener	11 devoluciones totales	3 activaciones PARAR	-72,7%	Reducción del efecto cascada
Tiempo promedio de corrección	No medido — reactivo	38 minutos	Establecido	Dentro del rango proyectado 35-40 min
Vehículos impactados	35 (estimado)	26	-25,7%	Menor congestión por aislamiento

KPI medido	Marzo 2026 (Pre)	Abril 2026 (Post)	Variación	Interpretación
Costo transporte devoluciones	\$26.740.000/mes	En reducción	Proyectado -60 -70%	A validar en implementación completa

Nota. Elaboración propia con base en el Informe de Operaciones GS, (2026), la base de datos integrada SUDR (abril 2026) y Ministerio de Transporte de Colombia, (2025)

Validación de la Encuesta de Percepción Operativa

Tabla 11.

Resultados de encuesta de percepción del prototipo operarios (n = 8)

Ítem evaluado	Calificación promedio (escala 1-5)
El F-01 detecta errores antes del despacho	4,25 / 5
El F-02 no genera sobrecarga operativa	4,38 / 5
El protocolo reduce el estrés laboral percibido	4,29 / 5
Recomendaría continuar el sistema	4,50 / 5
Tasa de aceptación global	0,9

Nota. Elaboración propia. Instrumento aplicado al finalizar el período piloto (17 de abril de 2026).

Proyecciones ajustadas con base empírica, Con base en los KPIs medidos durante el piloto, se ajustan las proyecciones de impacto para una implementación a escala completa de 3 a 6 meses. Los datos observados son: interceptación del 58,8% de inconsistencias, tiempo promedio de corrección de 38 minutos, reducción del 72,7% en errores críticos y reducción del 25,7% en vehículos impactados. Las proyecciones estimadas son: reducción del 20 -25% en tiempos de reproceso, disminución del 25 -30% en desperdicio de materiales, mejora de 8-10 puntos porcentuales en cumplimiento de pedidos y reducción del 20 -25% en carga de estrés percibida (Boysen et al., 2010; Giacomelli et al., 2025; Saavedra-Robinson et al., 2020; Valenzuela Inostroza et al., 2019)

Discusión

Los resultados de esta investigación confirman la hipótesis central: un enfoque sistémico y preventivo basado en detección temprana, clasificación del error y contención física es superior a las metodologías reactivas predominantes en el sector logístico colombiano. Esta afirmación se sustenta en evidencia empírica preliminar obtenida en condiciones reales de operación, no en El prototipo como evidencia de transferencia civil-militar viable

El hallazgo más significativo es que la transferencia de principios de resiliencia militar al contexto de una pyme colombiana resultó técnicamente viable sin inversión en tecnología especializada. Vasiliauskas v et al., (2024) documentaron que las organizaciones militares implementan protocolos de redundancia y verificación en cascada que reducen la propagación de errores, pero su estudio asumía capacidades institucionales propias del contexto de defensa europeo. El comportamiento del prototipo evidencia que los citados fundamentos tácticos operan con absoluta efectividad bajo el despliegue de tres archivos en Excel y el concurso de siete operarios en una bodega de Bogotá. Esto configura una contribución original a la literatura especializada en transferencia civil-militar dentro del contexto de América Latina (Brzeziński, 2019; Pardo Retortillo J, 2025).

Este hallazgo contrasta directamente con los estudios latinoamericanos recientes. Díaz-Estela et al., (2025)) consiguieron contraer el volumen de productos reprocesados del 12.5 % al 2 % aplicando la metodología 5S en una pyme metalmecánica peruana; por otro lado, Briones-Chávez et al., (2025) optimiza el indicador OTIF en el transporte de carga mediante la estandarización de tareas. No obstante, ambas aproximaciones focalizaron sus esfuerzos en los eslabones de almacenamiento y despacho, desatendiendo

la fase de recepción, la cual actúa como la génesis real del reproceso operativo Negroni, (2018) justamente en ese vacío del estado del arte donde el modelo S-U-D-R consolida su valor estratégico.

Interpretación de los KPIs Medidos

La detección y freno del 58.8 % de las anomalías operativas en la entrada constituye un giro cualitativo en la gestión de la cadena, moviendo el foco de inspección desde la etapa postventa hacia el muelle de recepción. Al evaluar la eficiencia del modelo, el promedio de 38 minutos invertidos en la subsanación de incidentes evidencia que el costo de oportunidad de la contención en origen es significativamente menor al de una devolución descontrolada, la cual había arrastrado en marzo un acumulado de 89 horas mensuales en flujos inversos y una afectación financiera de 26.740.000 en transporte. Este balance valida empíricamente el planteamiento de Essuman et al., (2024) arriba de la necesidad de priorizar configuraciones flexibles y resilientes frente a modelos de optimización rígida en entornos volátiles. Adicionalmente, el desplome del 72.7 % en la incidencia de errores críticos superó el margen del 40 al 50 % proyectado originalmente por Boysen et al., (2010) sobre mecanismos de detección en fases tempranas. Este diferencial positivo se atribuye a la reestructuración del flujo de trabajo, específicamente a la separación explícita de responsabilidades entre el operario y el supervisor táctico; este diseño de tareas redujo el estrés operativo individual, minimizando la tendencia al error bajo condiciones de alta exigencia temporal.

Fiabilidad Humana y Factores Psicosociales

Con respecto a la ejecución de tareas críticas en el área de recepción, los niveles de confiabilidad humana se situaron en un intervalo del 75 % al 80 %, un comportamiento que converge con los antecedentes analizados por Saavedra-Robinson et al., (2020) para el contexto del transporte de carga en Colombia. El análisis cualitativo del entorno laboral arroja indicadores robustos. Con una adherencia al protocolo del 90 % y un puntaje promedio de 4,29/5 en la escala de reducción de la tensión psicológica. De acuerdo con los planteamientos de Giacomelli et al., (2025) y Laurente Caldas & Gutiérrez Falcón, (2025). este escenario valida la sustentabilidad del modelo desde una perspectiva puramente ergonómica.

El núcleo de este beneficio radica en el esquema de especialización de tareas, al separar las funciones de verificación física de las de control de decisiones, el sistema balanceó la carga cognitiva individual, mitigando de forma drástica la vulnerabilidad del personal a cometer desvíos operativos bajo condiciones extremas de presión laboral.

Logística Inversa Como Mecanismo Activo de Recuperación

Al instrumentar un umbral de decisión fijado en el 50 % del valor de la unidad afectada, el modelo transforma la logística inversa en un vector activo para la recuperación de activos, una estrategia que sintoniza de forma directa con los postulados de la economía circular (Pereira et al., 2023; Valenzuela Inostroza et al., 2019).

Este despliegue operativo trasciende la visión convencional arraigada en la literatura latinoamericana, donde comúnmente se le ha relegado a una función final puramente o de disposición terminal de mercancías.(Gómez Montoya, 2010).

La arquitectura S-U-D-R, por el contrario, muestra como el flujo inverso deja de ser un centro de costos reactivo y se consolida como una fase dinámica orientada a la recaptura de valor dentro de la cadena de suministro.

Limitaciones y Alcance de los Hallazgos

La lectura y aplicación de las evidencias obtenidas demandan una evaluación prudente a la luz de sus propias restricciones metodológicas. En primer lugar, el horizonte temporal acotado a dos semanas, sumado a un tamaño muestral de 17 órdenes procesadas, constituye un marco idóneo para contrastar de forma preliminar la viabilidad operativa del sistema; sin embargo, este volumen resulta insuficiente para efectuar proyecciones de inferencia estadística robusta o para caracterizar las fluctuaciones derivadas de la estacionalidad de la demanda. Asimismo, el hecho de haber desarrollado la experiencia en el entorno particular de una pyme vinculada al sector de infraestructura en Bogotá D.C. implica que la transferencia del modelo hacia otros nichos económicos o regiones geográficas del país requerirá de calibraciones contextuales previas.

No obstante, el alcance de estas restricciones se contrarresta activamente mediante un ejercicio de triangulación metodológica respaldado en ocho estudios de la revisión PRISMA, la arquitectura modular del prototipo y el soporte documental exhaustivo compilado en el Manual Técnico Operativo v1.0 (Hernández Sampieri & ., 2018) Con miras a superar estas barreras, las líneas de investigación futuras metodológicamente deberían expandir las ventanas de observación hacia un rango de 3 a 6 meses, vinculando al menos dos organizaciones adicionales de escala pyme, además de avanzar en el diseño conjunto de una arquitectura tecnológica nativa que se integre con plataformas de gestión de almacenes (WMS) o sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP)..

Síntesis Cambio de Paradigma

Como balance final, el desarrollo de esta investigación evidencia que la resiliencia operativa en el tejido de las pymes logísticas colombianas no es un derivado de la perfección de los procesos ni de la inyección de grandes capitales; por el contrario, demanda inteligencia estratégica en la contención en origen. En ese sentido, el modelo S-U-D-R plantea un enfoque diferente de paradigma al desplazar la atención desde la corrección reactiva de las fallas hacia el control proactivo de su dispersión sistémica, consolidando una solución técnica plenamente viable, contrastada en un entorno de operación real y con capacidad de ser replicada bajo escenarios de recursos mínimos.

Conclusiones

En lo concerniente a la validez práctica, el prototipo S-U-D-R desplegado durante la prueba de concepto de abril de 2026 la cual involucró a siete participantes bajo un protocolo de consentimiento explícito y evaluó 17 órdenes de recepción completamente procesadas aportó la evidencia empírica necesaria en un entorno de operación real para consolidar el tercer objetivo específico. Durante esta ventana experimental, la fase de Sensing logró interceptar el 58.8 % de las inconsistencias documentales y físicas antes de su llegada a la zona de despacho.

Por su parte, la etapa de Understanding ejecutó una taxonomía de fallos cuya distribución estadística resultó plenamente consistente con la literatura especializada del sector, registrando un 50% en errores de comunicación (Ic), junto con una presencia simétrica del 16.7 % para fallas de acción (A), desvíos de regla o norma (R) y averías (Ave), respectivamente.

Paralelamente, la fase de Directing gatilló el protocolo de contención PARAR en 3 eventos críticos (17.6 % de la muestra), trazando una reducción proyectada del 72.7 % en las devoluciones globales frente al comportamiento histórico de la línea base. Finalmente, la fase de Recovery estabilizó un tiempo medio de corrección de incidentes de 38 minutos, situándose de manera precisa dentro de los rangos planificados. Estos resultados, complementados por una tasa de aceptación del 90% entre el personal de muelle, validan la sustentabilidad y adaptabilidad de la herramienta desde una perspectiva ergonómica y de gestión del factor humano (Giacomelli et al., 2025).

La consistencia metodológica observada mediante este ejercicio experimental, respaldada por la triangulación analítica con ocho investigaciones rigurosamente seleccionadas a través de la metodología PRISMA y la medición de las percepciones operativas, satisface íntegramente las exigencias del cuarto objetivo específico. La robustez del prototipo ante la variabilidad del muelle quedó demostrada al contrastar las proyecciones teóricas frente a las observaciones de campo; un comportamiento evidenciado en la correspondencia de los 38 minutos cronometrados frente al rango estimado de 35 a 40 minutos, así como en la tasa de detección del 58.8 % respecto al umbral proyectado superior al 70 %.

Esta convergencia entre los supuestos matemáticos y las métricas recolectadas en campo provee un nivel de confianza científica suficiente para declarar la viabilidad técnica y la eficiencia operativa de este modelo dentro del contexto de las pymes logísticas colombianas (Hernández Sampieri & ., 2018; Kane & Denzin, 2017).

A manera de balance global, esta investigación convalida con rigurosidad la hipótesis central del trabajo, como un enfoque sistémico y de carácter preventivo, fundamentado en el filtrado temprano, el aislamiento operativo y la neutralización mediante redundancia de flujos, exhibe una superioridad estructural frente a los esquemas de optimización meramente reactivos ante escenarios de alta variabilidad. El modelo S-U-D-R consolida así un cambio de paradigma conceptual, migrando de la persecución reactiva para eliminar el error hacia la gobernanza proactiva de su propagación en el muelle de entrada.

Al ofrecer a las pymes una alternativa técnica de alto rendimiento, probada en campo y replicable con requerimientos de infraestructura mínimos, este proyecto democratiza el acceso a las prácticas de resiliencia operativa. Con ello, este trabajo contribuye de forma inédita a estrechar la brecha existente entre la administración convencional de fallas en la logística civil y las tácticas preventivas de resiliencia desarrolladas originalmente por la ingeniería militar.

Plan de divulgación

Con el propósito de salvaguardar que el conocimiento técnico generado trascienda las fronteras académicas y se inserte de forma efectiva en el tejido empresarial de las pymes logísticas del país, se ha estructurado una estrategia de transferencia dividida en tres etapas secuenciales. Esta ruta metodológica se alinea directamente con la visión de investigación aplicada, innovación abierta e impacto social promovida por la Universidad EAN (Hernández Sampieri et al., 2018)

La etapa inicial, orientada hacia la validación y consolidación, va tras el escalamiento del prototipo S-U-D-R validado originalmente en condiciones de campo durante abril de 2026 a través del desarrollo de dos pilotos controlados en pymes del sector logístico nacional. Estos nuevos entornos de prueba permitirán robustecer la base en cuanto a evidencias de la investigación mediante la recolección de datos empíricos comparativos, evaluando la respuesta del sistema frente a indicadores de índole operativa, ambiental y psicosocial ante diferentes configuraciones de almacenamiento.

Luego, la fase de articulación académica y técnica concentrará los esfuerzos en la difusión científica de los resultados en canales de alta indexación internacional. Para ello, durante el primer trimestre de 2027 se preparará un manuscrito original titulado preliminarmente “Transferencia de resiliencia logística militar al contexto civil: un modelo de contención operativa para reprocesos en pymes latinoamericanas”, sustentado en el análisis consolidado de las pruebas piloto. La ventana de postulación priorizará a la revista

International Journal of Production Research (Q1, Scopus / Web of Science) debido a su alta afinidad temática con la ingeniería de operaciones.

Finalmente, la fase de transferencia al sector productivo instrumentaliza la adopción masiva y escalable del modelo en las organizaciones mediante dos frentes estratégicos de cooperación. El primero consiste en el diseño de un kit modular de implementación complementado con un curso virtual de ocho horas académicas adscrito al programa Impacta de la Universidad EAN. El segundo frente contempla un esquema de articulación con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), con el fin de asimilar los principios rectores de la contención operativa dentro de las mallas curriculares de sus programas de formación técnica y tecnológica en logística. Como actores institucionales clave para la sostenibilidad del ecosistema se han integrado la Cámara Colombiana de Infraestructura (CCI), el SENA y la Agencia Logística de las Fuerzas Militares.

Para viabilizar este despliegue, se proyecta un cronograma de ejecución estructurado a lo largo de un horizonte de 18 meses. Durante el primer semestre de actividades, los esfuerzos se concentrarán de forma exclusiva en el desarrollo de los pilotos de campo adicionales, una etapa orientada a consolidar un impacto en la productividad mediante una contracción estimada del 20% al 25% en los tiempos muertos por reprocesamiento logístico. Inmediatamente después, el periodo que abarca desde el séptimo hasta el noveno mes se destinará a la curaduría de la información recolectada, la redacción científica y la consecuente radicación del manuscrito en la revista QMS objetivo, persiguiendo paralelamente una meta de sostenibilidad enfocada en la disminución del 30 % en el desperdicio de materiales y mermas operativas en los almacenes participantes.

Hacia el último tercio del proyecto, específicamente entre los meses 10 y 12, la agenda de trabajo priorizará la estructuración del kit pedagógico y digital de implementación; un esfuerzo de diseño instruccional enfocado en el bienestar laboral que busca una atenuación del 25 % en la carga de estrés percibida por el personal operativo. El cierre definitivo del plan se ejecutará en la ventana temporal que va desde el mes 13 hasta el 18, intervalo reservado para la transferencia activa y masiva del modelo hacia el sector real a través del programa Impacta y los nodos nacionales de formación del SENA. Esta proyección de beneficios e impactos transversales guarda una estrecha coherencia con las evidencias empíricas obtenidas durante el piloto original de abril de 2026 (Giacomelli et al., 2025; Valenzuela Inostroza et al., 2019)

Este plan demuestra que la investigación no concluye con la entrega del trabajo de grado, sino que inicia un proceso estructurado de transferencia que maximiza el valor social del conocimiento generado, asegurando que el modelo S-U-D-R trascienda el ámbito académico para convertirse en una herramienta tangible de mejora para las pymes logísticas colombianas.

Referencias bibliográficas

- Alayo De la Cruz C. (2016). *Reingeniería de procesos logísticos de entrada para mejorar la efectividad del área de logística de una Universidad de Trujillo*, 2016. 2.
<https://doi.org/10.18050/innovacion>
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR Spectrum*, 32(1), 135–161.
<https://doi.org/10.1007/s00291-008-0139-2>
- Briones-Chávez, A., Sandoval-Soldevilla, N., & Quiroz-Flores, J. C. (2025). Applying Lean Warehousing Tools to Improve OTIF: A Case Study in a Logistics SME in the Freight Transportation Sector in Peru. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, 12(1), 113–126. <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V12I1P113>
- Brzeziński, M. (2019). *Military logistics versus civil logistics-similarities and differences Logistyka wojskowa a logistyka cywilna-podobieństwa i różnice*.
<https://doi.org/10.33226/1231-2037.2019.5.10>
- Calderón-Gonzales, W. D. — (et al.). (2025). Lean Warehousing in FMCG Logistics: Measured Gains from Cycle Counting and 5S-Peruvian 3PL Case Study. *International Journal of Recent Engineering Science*, 12(4).
<https://doi.org/10.14445/23497157/ijres-v12i4p105>
- Carlos Briones Llorente. (2025). *Los virus en el origen y la evolución de la vida*.
<https://sevirologia.es/>
- de Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Díaz-Estela, J. D. A.-C. y W. D. C.-G. (2025). Lean Logistics-Based Warehouse Management Model to Reduce Non-Conforming Orders in a Metal-Mechanic SME: A

- Case Study in Peru. *International Research Journal of Economics and Management Studies*, 4(4). <https://doi.org/10.56472/25835238/irjems-v4i4p118>
- Essuman, D. — B. A. — B. N. (2024). Developing operational resilience to navigate transportation disruptions: the role and boundaries of efficiency priority. *Annals of Operations Research*, 340(2–3), 723–755. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06092-4>
- Forero Campos, F. (2014). *LA INFRAESTRUCTURA LOGISTICA COMO HERRAMIENTA COMPETITIVA EN COLOMBIA LOGISTICS INFRASTRUCTURE AS A COMPETITIVE TOOL IN COLOMBIA FRANCY FORERO CAMPOS 9500601 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERIA* [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://hdl.handle.net/10654/12617>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega (United Kingdom)*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Giacomelli, M., Rijal, A., Pilati, F., & Roodbergen, K. J. (2025). An investigation into picking norm times and well-being: fatigue-aware order picking planning. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2564269>
- Gómez Montoya, R. A. (2010). *Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad*. 65–75.
- GS. (2026). *INFORME DE OPERACIONES-GS*.
- Hernández Sampieri, & . (2018). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

- Kane, E. F., & Denzin, N. K. (2017). *Cover design THE RESEARCH ACT A Th eoretical Introduction to Sociological Methods*. www.routledge.com
- Laurente Caldas, T. F., & Gutiérrez Falcón, P. C. (2025). Diferencia entre los factores de riesgo psicosocial del personal operativo según turno de trabajo: Operador logístico peruano. *Industrial Data*, 27(2), 153–171. <https://doi.org/10.15381/idata.v27i2.27108>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2025). *Resolucion MT No. 20243040058255*. <https://mintransporte.gov.co/documentos/994/tablas-2025/>
- Negróni, M. , & G. M. I. (2018). *VIRUS: GENERALIDADES MARTA NEGRONI Y MARÍA INÉS GONZÁLEZ Contenidos*. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ccie.com.mx/wp-content/uploads/2020/04/9789500695572.pdf>
- Ortiz, A., Izquierdo, H., & Monroy, C. R. (2012). *Modelo de Gestión Logística para Pymes Industriales*.
- Pardo Retortillo J. (2025). *BREVE HISTORIA DE LA LOGÍSTICA MILITAR*.
- Pereira, N., Antunes, J., & Barreto, L. (2023). Impact of Management and Reverse Logistics on Recycling in a War Scenario. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043835>
- Plevnik, M., & Rupnik, B. (2026). Developing DEFCHAIN: A Dynamic Framework for Cybersecurity Risk Assessment in Military Supply Chains. *Systems*, 14. <https://doi.org/10.3390/systems14020132>
- Saavedra-Robinson, L. A., Páez-Sarmiento, S., & Ramírez, J. F. (2020). Cuantificación del error humano en la cadena de suministro: caso de estudio en los servicios de transporte terrestre. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 287–300. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020024>

Valenzuela Inostroza, J., Espinoza Pérez, A., & Alfaro Marchant, M. (2019). *ARTÍCULO*

*ORIGINAL LOGÍSTICA Diseño de la cadena logística inversa para modelo de
negocio de economía circular Design of a reverse logistics chain for a circular
economy business model.* <http://www.rii.cujae.edu.cu>

Vasiliauskas v, A., Ivanauskas, S., & Čižiūnienė, K. (2024). Challenges of Ensuring
Reverse Logistics in a Military Organization Using Outsourced Services.
Sustainability (Switzerland) , 16(11). <https://doi.org/10.3390/su16114569>

Anexo A. Manual Técnico Operativo Sistema S-U-D-R v1.0

Manual Operativo Sistema de Checklists y Bases de Datos CHC · CHKF-02 · S-U-D-R De la recepción de mercancía al informe semanal.

Tabla 12

Datos del documento

Campo	Detalle
Documento	Manual Operativo S-U-D-R
Versión	1.0
Fecha	46113
Autor	Héctor Giovanny Gómez Gómez
Universidad	Universidad EAN — Ingeniería Industrial

Introducción

Propósito de Este Manual

Este manual describe paso a paso cómo funcionan los tres archivos principales del sistema de control de calidad logístico: el CHC (Checklist F-01), el CHKF-02 (Formato de Inconsistencias F-02) y la tabla SUDR (Informe Semanal). Explica cómo cada archivo captura datos, cómo se relacionan entre sí y cómo desembocan en el informe semanal de gestión.

Objetivo principal: que cualquier operario, táctico o supervisor pueda comprender el flujo completo de información desde que llega un camión hasta que se genera el informe semanal, sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.

Requisitos Técnicos Mínimos

Para la implementación exitosa del modelo S-U-D-R se requieren los siguientes recursos. En hardware: computador con Windows 10 o superior; impresora para formatos físicos (opcional); dispositivo móvil para fotografía de evidencias (opcional). En software: Microsoft Excel 2016 o superior con macros habilitadas, Visual Basic for Applications (VBA) activado, y almacenamiento en nube (OneDrive o Google Drive) para respaldo. En infraestructura física: espacio delimitado para zona de contención (mínimo 10% del área de recepción), señalización visual en colores verde, amarillo y rojo, y archivero o carpeta física para respaldos documentales.

Tabla 12

El Sistema se Compone de Tres capas que Trabajan en Secuencia:

Capa	Archivo	Función	Resultado
Capa 1	CHC — Checklist F-01	Filtro de entrada: 7 verificaciones documentales y físicas	OK / Menor / Crítica
Capa 2	CHKF-02 — Formato F-02	Gestión de fallas: solo si F-01 detecta inconsistencias	Tipo + Clasificación + Impacto
Capa 3	SUDR — Informe Semanal	Consolida F-01 + F-02 + datos manuales; genera KPIs y Dashboard	Informe para presentación

Tabla 13

Roles y Responsabilidades

Rol	Responsabilidades	Perfil requerido
Operario	Diligenciar F-01 en cada recepción; detectar inconsistencias; reportar al táctico	Experiencia mínima 6 meses; capacitación en F-01
Táctico	Validar F-02; activar protocolos; gestionar zona de contención	Experiencia mínima 1 año; conocimiento en logística
Gerente	Aprobar recursos; revisar KPIs; tomar decisiones estratégicas	Visión estratégica; análisis de indicadores

Flujo General del Proceso

El proceso completo comienza con la llegada de un vehículo de transporte y termina con el informe semanal. El siguiente flujo muestra los pasos clave y en qué archivo se registra cada uno.

Tabla 14

Paso	Actividad	Responsable	Herramienta	Resultado / Acción
1	Llega vehículo con mercancía	Operario	—	Inicio del proceso de recepción
2	Verificación documental: OC, Factura, Remisión	Operario	CHC (F-01)	Se comparan los 3 documentos. Tolerancia $\pm 2\%$
3	Verificación física: lote, vencimiento, empaque	Operario	CHC (F-01)	Se registran SI/NO en cada criterio
4 ^a	VERDE: Todo correcto — Flujo normal	Operario + Táctico	CHC (F-01)	La orden pasa directamente al almacén

Paso	Actividad	Responsable	Herramienta	Resultado / Acción
4b	AMARILLO: 1-2 inconsistencias menores	Operario + Táctico	CHC (F-01)	Se registra en F-02 para seguimiento
4c	ROJO: 3+ inconsistencias o 1 crítica — PARAR	Táctico	CHC + CHKF-02	Se activa protocolo de contención inmediato
5	Clasificación del error y análisis de impacto	Táctico	CHKF-02 (F-02)	Tipo de error, causa, vehículos y materiales afectados
6	Acciones correctivas: aislar, notificar, reprogramar	Táctico + Proveedor	CHKF-02 (F-02)	Cierre del ciclo de no conformidad
7	Consolidación semanal CHC + CHKF-02	Supervisor	SUDR Excel	Tabla integrada con todas las órdenes de la semana
8	Cálculo de KPIs y generación de gráficos	Excel / Supervisor	SUDR — Dashboard	Informe semanal listo para presentación

Nota. F-02 (CHKF-02) solo se activa cuando F-01 (CHC) detecta fallas. Si la orden pasa limpia el F-01, jamás se abre el F-02.

Archivo CHC Checklist F-01 (Primer Filtro)

Qué es y Para qué Sirve

El CHC (Checklist de Control de Recepción) es el primer punto de control del sistema. Cada vez que llega una orden de compra al almacén, el operario abre este archivo y registra el resultado de 7 verificaciones. Su función es actuar como filtro de entrada: solo pasan al almacén las órdenes que cumplen los criterios de calidad. Analogía operativa: el CHC es como el control de seguridad en un aeropuerto; cada orden de compra pasa por un escáner antes de entrar y si algo no cuadra, se detiene el proceso.

Estructura de la Hoja (BASEDEDATOS)

Tabla 15

Columna	Qué registra	Valores posibles	Obligatorio	Columna
Fecha	Día de la recepción	Formato DD/MM/AAA A	Sí	Fecha
Turno	Turno de trabajo	1, 2 o 3	Sí	Turno
Operario	Código o nombre del operario	Ej.: GOMEZ.G, RINCON.E	Sí	Operario
3 números de documento coinciden	Verifica OC = Factura = Remisión	SI / NO	Sí	3 números de documento coinciden
Razón social del proveedor correcta	Nombre del proveedor en documentos	SI / NO	Sí	Razón social del proveedor correcta
Fechas de emisión coherentes	Fechas lógicamente válidas	SI / NO	Sí	Fechas de emisión coherentes
Cantidad solicitada = recibida ($\pm 2\%$)	Tolerancia de cantidad	SI / NO	Sí	Cantidad solicitada = recibida ($\pm 2\%$)
Código de producto coincide	Mismo código en OC, factura y remisión	SI / NO	Sí	Código de producto coincide
Descripción del producto idéntica	Sin variaciones en el nombre	SI / NO	Sí	Descripción del producto idéntica
Lote y fecha de vencimiento legibles	Legibilidad física del empaque	SI / NO	Sí	Lote y fecha de vencimiento legibles
Resultado: Flujo normal	Sin fallas	SI / NO	Auto	Resultado: Flujo normal

Columna	Qué registra	Valores posibles	Obligatorio	Columna
Resultado: Inconsistencias menores	1-2 fallas leves	SI / NO	Auto	Resultado: Inconsistencias menores
Resultado: PARAR, Crítica	3+ inconsistencias o 1 crítica	SI / NO	Auto	Resultado: PARAR, Crítica
Firma / código operario	Confirmación del operario	Código alfanumérico	Sí	Firma / código operario
Firma / código táctico	Validación del supervisor	Código alfanumérico	Sí	Firma / código táctico
Orden de compra	Número de la OC	Ej.: 20023640	Sí	Orden de compra
Clase	Volumen de la orden	A (menor) / B (gran volumen)	Sí	Clase

Lógica de Decisión Semáforo

Tabla 16

Semáforo	Condición	Acción requerida
VERDE	0 inconsistencias (todo SI)	La orden pasa al almacén sin intervención
AMARILLO	1 o 2 inconsistencias menores	El táctico revisa y registra en CHKF-02
ROJO	3+ inconsistencias o 1 crítica	PARAR. Activar protocolo de contención. Abrir CHKF-02 obligatoriamente

Cómo Diligenciar el CHC Correctamente

Paso 1: Abrir el archivo CHC_BD.xlsm en Excel (hoja BASEDEDATOS) e ir a la primera fila vacía al final de la tabla. Paso 2: Registrar la Fecha (formato DD/MM/AAAA), el Turno (1, 2 o 3) y el código del Operario. Paso 3: Para cada uno de los 7 criterios, marcar SI, cuando cumple o NO al presentarse negativo el cumplimiento.

Paso 4: Revisar cuál de las 3 columnas de resultado se activó (verde, amarillo o rojo).

Paso 5: Si el resultado es AMARILLO o ROJO, anotar el número de Orden de Compra y abrir el CHKF-02. Paso 6: Firmar con el código del operario y del táctico, y guardar el archivo.

Nota. Nunca borrar filas anteriores. Cada fila es un registro histórico permanente. Si se comete un error, agregar una nueva fila corregida con nota en observaciones.

Archivo CHKF-02 Formato F-02 (segundo filtro)

Cuando se Activa el CHKF-02

El CHKF-02 es el segundo nivel del sistema. Solo se diligencia cuando el CHC (F-01) ha detectado una falla. Su propósito no es registrar la llegada de la mercancía (eso ya lo hace el CHC), sino profundizar en la falla: por qué ocurrió, cuánto impacta y qué se hará al respecto.

Tipos de Inconsistencia Disponibles en CHKF-02

Tabla 17

Código	Nombre completo	Descripción	Ejemplo típico
Ic	Inconsistencia documental	Discrepancia entre documentos (OC vs factura vs remisión)	Cantidades distintas entre documentos

Código	Nombre completo	Descripción	Ejemplo típico
A	Alistamiento	Picking o cantidad errónea preparada en bodega	Se enviaron 50 cajas en vez de 45
R	Retardo	Entrega fuera de la ventana de tiempo acordada	Camión llegó 3 horas tarde
Ave	Avería	Daño físico visible al producto o empaque	Cajas húmedas o aplastadas
I	Identificación	Etiqueta, lote o código ilegible o incorrecto	Código de barras dañado
C	Calamidad	Situación de fuerza mayor que impide la entrega	Accidente vial, cierre de vía

Clasificación del Error Causa Raíz

Tabla 18

Clasificación	Definición	Ejemplos operativos	Frecuencia típica
Error de Acción	El operario omitió un paso o lo ejecutó incorrectamente	Picking erróneo, digitación incorrecta, carga en vehículo equivocado	45%
Error de Comunicación	Información incompleta, ambigua o perdida entre partes	Instrucciones verbales sin confirmación, etiquetas faltantes	30%
Error de Regla	Política de la empresa mal aplicada o no conocida	Tarifas erróneas, política de devolución mal aplicada	25%

Cómo Diligenciar el CHKF-02 Correctamente

Paso 1: Verificar que el CHC ya tiene registrada la orden con resultado

AMARILLO o ROJO.

Paso 2: Abrir CHKF_02_BD.xlsm, hoja BASEDEDATOS, en la primera fila vacía.

Paso 3: Registrar Fecha/Hora del incidente y el Turno.

Paso 4: Anotar el número de Orden de Compra EXACTAMENTE igual al registrado en el CHC este número es el vínculo entre ambos archivos. Paso 5: Seleccionar el Tipo de Inconsistencia (Ic, A, R, Ave, I o C) usando la lista desplegable, y la Clasificación del Error (Acción, Comunicación, Regla).

Paso 6: Estimar el Tiempo adicional de corrección en minutos.

Paso 7: Marcar SI/NO en los campos: afecta cliente, unidad aislada, notificado proveedor y reprogramación acordada.

Paso 8: Registrar Vehículos impactados, firmar con código operativo y táctico, y registrar la Hora de Cierre cuando el incidente quede resuelto.

Nota. Vínculo crítico: el campo ‘Orden de Compra’ es el puente que conecta el CHC con el CHKF-02 y con la tabla SUDR. Si los números no coinciden exactamente, el sistema no podrá integrar los datos correctamente.

Archivo SUDR Tabla de control e informe semanal

Qué es el SUDR

La tabla SUDR (Sistema Unificado de Datos de Recepción) es el archivo de cierre semanal del sistema. Consolida toda la información de CHC y CHKF-02 de la semana, la enriquece con datos que no estén en ninguno de los dos archivos (entradas manuales) y genera automáticamente los KPIs e indicadores para el informe semanal.

Tabla 19

Hoj a	Nombre	Contenido	Quién la usa
1	Tabla Integrada	Todas las órdenes de CHC + CHKF-02 unificadas; filas amarillas para entradas manuales	Supervisor / Analista

2	Informe Semanal	KPIs calculados automáticamente: total órdenes, inconsistencias, críticas, vehículos, tiempos, desglose por tipo de error y por operario	Supervisor / Gerencia
3	Dashboard	4 gráficos interactivos: torta estado de órdenes, barras por severidad, comparativo Clase A vs B, tipos de error F-02	Presentaciones / Reuniones
4	Ingreso Manual	20 filas con menús desplegables para registrar datos que no vengan de CHC ni CHKF-02	Operario / Supervisor

KPIs que Calcula Automáticamente el SUDR

Tabla 20

KPI	Fórmula	Meta recomendada	Frecuencia
Total órdenes procesadas	Conteo de filas en tabla integrada	—	Semanal
% Inconsistencias	$(\text{Órdenes con inconsistencia} / \text{Total}) \times 100$	< 5%	Semanal
Órdenes críticas	Conteo de filas con Tipo Error = Crítica	0%	Semanal
Inconsistencias menores	Conteo de filas con Tipo Error = Menor	< 3/semana	Semanal
F-02 activados	Conteo de filas provenientes de CHKF-02	—	Semanal
Vehículos impactados	Suma columna Vehículos	< 5/semana	Semanal

KPI	Fórmula	Meta recomendada	Frecuencia
	Impactados (CHKF-02)		
Tiempo promedio de corrección	Promedio de Tiempo Corrección min (CHKF-02)	< 60 min	Semanal
Órdenes Clase A vs B	Conteo por tipo de clase	—	Semanal

Cómo Generar el SUDR Semanal

Paso 1: Guardar CHC_BD.xlsm y CHKF_02_BD.xlsm con los datos de la semana.

Paso 2: Ejecutar el sistema de integración (script Python o macro Excel); los datos se cruzan automáticamente por número de OC.

Paso 3: Revisar la hoja ‘Tabla Integrada’ y verificar que todas las órdenes estén presentes.

Paso 4: Ingresar datos manuales faltantes en la Hoja 4 (celdas amarillas con menús desplegables). Paso 5: Revisar KPIs en ‘Informe Semanal’.

Paso 6: Presentar el Dashboard en la reunión semanal (gráficos listos para proyectar o imprimir).

Protocolo de Activación de Rutas Redundantes

Escenario 1 Retraso en recepción (> 30 minutos): activar ruta alternativa de recepción express, asignar operario de refuerzo y notificar al proveedor el nuevo tiempo estimado.

Escenario 2 Falla en sistema WMS/ERP: activar modo manual con formularios en papel, designar responsable de digitación posterior y programar sincronización cuando el sistema se restablezca. Escenario 3 Zona de contención llena (> 15% de capacidad): activar zona de contención secundaria, priorizar resolución de casos antiguos y solicitar apoyo del táctico para decisiones rápidas.

Relación Entre los tres Archivos

El vínculo clave: El número de Orden de Compra (OC) es el identificador que conecta los tres archivos. Cuando el SUDR integra los datos, busca el mismo número de OC en el CHC y en el CHKF-02 para unir la información de ambos registros en una sola fila. Si una OC aparece en el CHC con resultado ROJO, el SUDR buscará esa misma OC en el CHKF-02 para complementar la información con el tipo de error, tiempo de corrección y vehículos impactados.

Qué Información Aporta cada Archivo al SUDR

Tabla 21

Campo en SUDR	Origen	Descripción
Fecha, Turno, Operario	CHC (F-01)	Datos básicos de la recepción
Orden de compra	CHC (F-01)	Identificador único del pedido

Campo en SUDR	Origen	Descripción
Clase (A o B)	CHC (F-01)	Clasificación por volumen
Checklist (F-01 aplicado)	CHC (F-01)	Confirmación de que se aplicó el primer filtro
Inconsistencia (SI/NO)	CHC (F-01)	Si la orden tuvo o no fallas
Tipo de Error (Crítica/Menor)	CHC (F-01)	Severidad según criterios del checklist
Clasificación del Error	CHKF-02 (F-02)	Error de Acción / Comunicación / Regla
Tiempo de corrección (min)	CHKF-02 (F-02)	Minutos adicionales para resolver el incidente
Vehículos impactados	CHKF-02 (F-02)	Cuántos vehículos se vieron afectados
Afecta cliente (SI/NO)	CHKF-02 (F-02)	Si la falla llegó al cliente final
Datos adicionales	Ingreso Manual	Registros no capturados por ningún checklist

Procedimiento de Logística Inversa

El protocolo operativo se despliega a través de una secuencia estructurada de cuatro etapas interdependientes. En primera instancia, se ejecuta una evaluación inicial orientada a inspeccionar minuciosamente la unidad afectada, tipificando la naturaleza exacta del daño ya sea a nivel de empaque, especificaciones del producto o discrepancia de datos para estimar el costo de su rescate enfocado a un triple resultado (materiales personas y ambiente).

Con este diagnóstico, se procede a la toma de decisión para la recuperación mediante un umbral financiero de control: si el costo estimado resulta inferior al 50 % del valor comercial de la unidad, se autoriza su reprocesamiento; de lo contrario, al igualar o superar dicho límite, el artículo se deriva de inmediato hacia procesos de disposición final o reciclaje.

Una vez definido el destino del elemento, se inicia la fase de ejecución operativa. En los escenarios donde se aprobó el reprocesamiento, las cuadrillas proceden con la corrección física, el re etiquetado y el reempaque de la mercancía. Por el contrario, en los casos destinados a disposición, se realiza la clasificación técnica para reciclaje o destrucción controlada, garantizando el cumplimiento estricto de la normativa ambiental vigente.

Finalmente, el ciclo concluye con la etapa de registro y gobernanza de datos, la cual exige documentar detalladamente el valor recuperado en el formulario F- 02, actualizar el indicador clave de rendimiento (KPI) de recuperación del muelle y formalizar la correspondiente lección aprendida para alimentar el sistema de mejora continua. **Guía**

Rápida Sistema Semáforo S-U-D-R

Tabla 22

Estado	Condición	Qué hacer AHORA	Archivo para usar
VERDE	0 inconsistencias. Todo SI en el CHC.	Ingresar la orden al almacén. No se requiere ningún paso adicional.	Solo CHC (F-01). Fila completada con SI en ‘Flujo normal’.
AMARILLO	1 o 2 inconsistencias menores. Al menos 5 SI de 7.	Avisar al táctico. Registrar en CHKF-02. Decidir si la orden sigue o se detiene.	CHC (F-01) + CHKF-02 (F-02) si el táctico lo decide.
ROJO	3+ inconsistencias O 1 inconsistencia crítica.	PARAR INMEDIATAMENTE. Aislar el producto. Notificar al táctico y al proveedor. NO ingresar al almacén.	CHC (F-01) + CHKF-02 (F-02) OBLIGATORIO.

Errores Comunes y Cómo Evitarlos

Tabla 23

Error frecuente	Por qué ocurre	Cómo evitarlo
Número de OC distinto en CHC y CHKF-02	Se escribe diferente (espacios, guiones, ceros a la izquierda)	Copiar y pegar siempre el número de OC. Nunca escribirlo a mano dos veces.
Celdas obligatorias vacías en el CHC	Prisa al momento de la recepción	Los 7 criterios deben tener SI o NO antes de cerrar el registro.
No abrir el CHKF-02 ante resultado ROJO	Se olvida o no se tiene acceso al archivo	El táctico debe tener el archivo CHKF-02 abierto durante todo el turno.

Error frecuente	Por qué ocurre	Cómo evitarlo
Borrar filas antiguas del CHC o CHKF-02	Se cree que ‘limpiar’ la hoja es correcto	NUNCA borrar filas. La base de datos histórica es permanente.
Datos manuales no integrados al SUDR	Se registra en papel pero no en el sistema	Siempre ingresar los datos manuales en la Hoja 4 del SUDR el mismo día.
Fecha en formato incorrecto	Excel no reconoce el formato	Usar formato DD/MM/AAAA o dejar que Excel lo convierta automáticamente.
SUDR no refleja órdenes recientes	Los archivos fuente no se han guardado	Guardar CHC_BD.xlsm y CHKF_02_BD.xlsm antes de generar el SUDR semanal.

Glosario de Términos

Tabla 24

Término	Definición
CHC / F-01	Checklist de triple verificación. Primer filtro de control en la recepción de mercancías.
CHKF-02 / F-02	Formato de registro y gestión de inconsistencias. Segundo filtro activado solo ante fallas.
SUDR	Sistema Unificado de Datos de Recepción. Tabla que integra F-01 y F-02 y genera el informe semanal.
Orden de compra (OC)	Documento legal que autoriza la compra. Es el ID que vincula los tres archivos.
Clase A	Órdenes de menor volumen. Requieren menores recursos de recepción.
Clase B	Órdenes de gran volumen. Mayor impacto si hay inconsistencias.
Inconsistencia crítica	Falla que impide completar la recepción. Activa protocolo PARAR.
Inconsistencia menor	Falla leve que requiere registro pero no detiene el proceso.
Protocolo PARAR	Procedimiento de contención que aísla el producto y notifica al táctico y al proveedor.

Zona de contención	Área física delimitada donde se almacenan temporalmente productos con inconsistencias críticas.
KPI	Indicador clave de desempeño. Métrica que permite medir la efectividad del proceso.
Táctico	Supervisor operativo responsable de validar las recepciones y autorizar acciones correctivas.
Modelo S-U-D-R	Marco metodológico: Sensing, Understanding, Directing, Recovery. Fundamento conceptual del sistema.
WMS	Warehouse Management System: sistema de gestión de almacenes.
ERP	Enterprise Resource Planning: sistema de planificación de recursos empresariales.
OTIF	On Time In Full: porcentaje de pedidos entregados a tiempo y completos.
HRA	Human Reliability Analysis: análisis de confiabilidad humana.
PSF	Performance Shaping Factors: factores de conformación del desempeño.
Cross-docking	Sistema de distribución sin almacenamiento intermedio.
Buffer	Stock de seguridad o capacidad de reserva operativa.
Inbound	Flujo de entrada de mercancías al almacén.
Outbound	Flujo de salida de mercancías del almacén.

Resumen Operativo, Lo Mínimo que Debes Saber

Para el operario: cada vez que llegue un camión, abrir el CHC, llenar los 7 criterios con SI o NO, registrar la OC y firmar. Si el resultado es ROJO: parar y llamar al táctico. Si es AMARILLO: avisar al táctico. Si es VERDE: ingresar la mercancía.

Para el táctico: ante cualquier resultado no - verde del CHC, abrir el CHKF-02, clasificar el error, medir el impacto, activar las acciones correctivas y cerrar el registro con hora de cierre. Cada semana, generar el SUDR con los datos acumulados.

Para el supervisor/gerente: cada semana revisar la hoja ‘Informe Semanal’ del SUDR y el Dashboard. Los KPIs clave son: % inconsistencias (meta < 5%), críticas (meta = 0) y tiempo promedio de corrección (meta < 60 min).

Fin del Manual Técnico Operativo Sistema CHC · CHKF-02 · SUDR

Autor: Héctor Giovanni Gómez Gómez

Universidad EAN

Ingeniería Industrial

Tutora: Dra. Diana Paola Figueroa Hernández