

Índice Compuesto de Desempeño Logístico (ICDL): Construcción y Validación de un Indicador Integrador para la Gestión de Inventarios en Centros de Distribución

Composite Logistics Performance Index (CLPI): Construction and Validation of an Integrative Indicator for Inventory Management in Distribution Centers

Juan Asterio Castillo-Salamín¹

¹Universidad de Panamá, Facultad de Administración de Empresas y Contabilidad, juan.castillo-s@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0002-9254-1028>, Panamá.

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 27-02-2026
Revisado 01-03-2026
Aceptado 15-04-2026

Palabras Clave:

Resiliencia operativa
Tasa de absorción de
variabilidad
Análisis de componentes
principales
Cadenas de suministro
Demanda estocástica

Keywords:

Operational resilience
Variability absorption rate
Principal component analysis
Supply chains
Stochastic demand

RESUMEN

Introducción: La evaluación del desempeño en las cadenas de suministro suele ser fragmentada, ocultando compensaciones críticas entre el nivel de servicio, la eficiencia del capital, la velocidad del ciclo y la adaptabilidad ante las fluctuaciones. **Objetivo:** Construir y validar una métrica multidimensional que integre estas variables operativas, evaluando su independencia estadística e identificando dependencias estructurales entre componentes, evaluando su capacidad para discriminar jerarquías de productos y analizar su evolución temporal. **Metodología:** Se desarrolló un estudio cuantitativo y longitudinal basado en la simulación computacional de datos estocásticos durante tres años continuos. Se aplicó el análisis de componentes principales para extraer pesos objetivos sin redundancia informativa, evaluando la validez de constructo, la consistencia interna y la capacidad discriminante mediante pruebas estadísticas no paramétricas. **Conclusiones:** El instrumento captura la varianza dominante del sistema, demostrando que la priorización tradicional por valor económico genera vulnerabilidades operativas asimétricas. La métrica revela que maximizar la disponibilidad de productos suele deteriorar la velocidad estratégica y la eficiencia financiera, aportando una herramienta diagnóstica novedosa que incorpora la resiliencia operativa y la tasa de absorción de variabilidad para medir la verdadera robustez sistémica frente a las perturbaciones externas.

ABSTRACT

Introduction: Supply chain performance evaluation is frequently fragmented, hiding critical operational trade-offs between customer service levels, capital efficiency, cycle speed, and adaptability to fluctuating demand. **Objective:** To construct and validate a multidimensional metric that integrates these operational variables, evaluating their statistical independence and identifying structural dependencies among components, evaluating its capacity to discriminate product hierarchies and analyze their temporal evolution over time. **Methodology:** A quantitative and longitudinal study was conducted based on the computational simulation of stochastic data over a three-year continuous period. Principal component analysis was applied to extract objective weights without information redundancy. Furthermore, construct validity, internal consistency, and discriminant capacity were rigorously evaluated through non-parametric statistical tests. **Conclusions:** The developed instrument successfully captures the dominant variance of the system, demonstrating that traditional prioritization based strictly on economic value generates asymmetric operational vulnerabilities. The metric reveals that maximizing product availability often deteriorates strategic cycle speed and financial efficiency. Ultimately, it provides a novel diagnostic tool that incorporates operational resilience and the variability absorption rate to measure true systemic robustness against external disruptions.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del desempeño logístico en centros de distribución presenta históricamente un enfoque parcial y fragmentado. Los sistemas de medición tradicionales tienden a enfocarse en una sola dimensión a la vez como el nivel de servicio al cliente, la eficiencia financiera del inventario, la velocidad del ciclo operativo o la adaptabilidad ante perturbaciones de la demanda sin ofrecer una visión integrada (Neely, Gregory & Platts, 1995). Si bien marcos globales como el modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference) han estandarizado métricas a nivel macro de la cadena de suministro (Huan, Sheoran & Wang, 2004), a nivel micro-operativo persiste la dificultad de conciliar estos indicadores. Esta fragmentación genera una paradoja frecuente en la práctica gerencial: un centro de distribución puede exhibir indicadores excelentes en una dimensión —por ejemplo, un nivel de servicio cercano al 100 % mientras deteriora simultáneamente su desempeño en otras áreas, generando un capital de trabajo inmovilizado excesivo o una escasa capacidad para absorber picos de demanda. Sin una métrica integradora, estas compensaciones operativas estructurales (*trade-offs*) resultan invisibles para los gestores.

Para abordar esta complejidad, la medición multidimensional del desempeño encuentra sus principios fundantes teóricos en el *Balanced Scorecard* (Kaplan & Norton, 1992). Esta teoría postula que ninguna perspectiva individual captura el desempeño organizacional en su totalidad, exigiendo una evaluación simultánea de procesos internos, finanzas y satisfacción del cliente. Aplicado a la gestión de inventarios, este principio establece que el desempeño de una unidad de mantenimiento de existencias (SKU) debe evaluarse integrando cuatro variables operativas: la disponibilidad operativa (nivel de servicio logístico), la eficiencia del capital (inverso del capital inmovilizado), la velocidad del ciclo (rotación de inventarios) y la resiliencia sistémica (tasa de absorción de variabilidad).

La construcción de índices compuestos para sintetizar múltiples variables es una práctica consolidada en la literatura científica y en estudios previos de diversas disciplinas. A nivel macroeconómico, destacan referentes como el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que integra salud, educación e ingresos (UNDP, 2022); los índices de sostenibilidad ESG (Eccles & Klimenko, 2019); y, en el ámbito de las cadenas de suministro, el Índice de Desempeño Logístico (LPI) del Banco Mundial, que agrega seis dimensiones logísticas nacionales en un valor comparable (Arvis et al., 2023). Sin embargo, al descender al nivel operativo —específicamente en la gestión de inventarios por SKU, se identifica un vacío de conocimiento: no existe un índice compuesto validado empíricamente que integre las dimensiones operativas sin incurrir en redundancia informativa.

La literatura especializada advierte sobre los riesgos de obviar dimensiones clave en el análisis logístico. Estudios como el de Koumanakos (2008) demuestran empíricamente que las empresas que optimizan exclusivamente el nivel de servicio sin atender la velocidad de rotación acumulan inventarios sobredimensionados que deterioran la rentabilidad. De igual forma, las teorías sobre resiliencia en cadenas de suministro (Christopher & Peck, 2004; Sheffi & Rice, 2005) establecen el principio de que la robustez de un sistema no puede inferirse de su desempeño promedio, sino que exige medir su comportamiento bajo condiciones de presión estocástica superior a la media histórica. A esto se suma el principio de clasificación ABC, el cual genera de forma estructural una jerarquía de priorización que, según estudios previos (Teunter, Babai & Syntetos, 2010), impacta directamente en las métricas de disponibilidad operativa. Precisamente por estas limitaciones unidimensionales, la literatura reciente aboga por una Clasificación ABC Multicriterio (MCABC), reconociendo que el valor financiero por sí solo es insuficiente y debe complementarse con variables como la criticidad, la caducidad o el tiempo de entrega (Hadi-Vencheh, 2010).

Desde la perspectiva psicométrica y estadística, la validación de un índice compuesto exige el cumplimiento de umbrales numéricos rigurosos para garantizar su viabilidad (OECD, 2008; Hair et al., 2019). Las metodologías contemporáneas establecen que los componentes de un índice deben verificarse empíricamente en cuanto a su independencia estadística, dado que la dependencia estructural entre indicadores genera redundancia informativa que invalida la validez de constructo del instrumento. Por ello, la literatura exige que los constructos integrados superen un coeficiente Alfa de Cronbach mínimo aceptable de 0.70 (Nunnally, 1978), presenten una adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) superior a 0.60 y logren una significancia estadística (valor $p < 0.05$) en pruebas de esfericidad, asegurando que las variables covaríen de forma real y no por construcción algebraica.

La justificación de este artículo radica en la necesidad de un instrumento de medición integrador que supere las limitaciones estadísticas y operativas de los indicadores parciales. La propuesta de un Índice Compuesto de Desempeño Logístico (ICDL) responde a la demanda de herramientas de diagnóstico multivariante que

permitan identificar qué productos gestionan mejor el equilibrio entre sus dimensiones operativas y cuáles presentan deficiencias sistémicas ocultas.

En virtud de lo expuesto, el objetivo general de esta investigación es construir y validar el ICDL mediante Análisis de Componentes Principales, integrando cuatro dimensiones del desempeño logístico para evaluar su capacidad discriminante entre categorías ABC y analizar la evolución temporal del desempeño logístico en un centro de distribución. La hipótesis central sostiene que el índice propuesto captura la proporción dominante de la varianza total del desempeño logístico mediante su primer componente principal, y que su aplicación empírica revela la existencia de dependencias estructurales entre componentes específicamente entre la disponibilidad operativa y la resiliencia ante variabilidad cuya identificación y tratamiento constituyen una contribución metodológica al diseño de índices logísticos compuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque, tipo y diseño de investigación

El estudio se inscribe en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicativo y con un alcance metodológico-validatorio, orientado a la construcción y evaluación psicométrica de un instrumento de medición. El diseño es no experimental y longitudinal, ya que evalúa la estabilidad temporal de los indicadores logísticos a lo largo de un período continuo de tres años (2021-2023) sin manipulación de las variables en tiempo real.

Población, muestra y criterios de selección

La población de análisis está compuesta por un censo completo de 164.250 observaciones diarias correspondientes a 150 SKU (Stock Keeping Units). Como criterio de inclusión, se seleccionaron todos los registros generados ininterrumpidamente durante 1.095 días. Con el fin de capturar la variabilidad operativa real del sistema estocástico, se decidió conservar todos los valores atípicos (*outliers*) en la base de datos, por lo que no se aplicaron criterios de exclusión. Al trabajar con la población completa del entorno modelado, no se aplicó muestreo probabilístico, eliminando así el error de muestreo.

Técnicas de recolección, instrumentos y materiales

La producción de datos se realizó mediante la técnica de simulación computacional (experimento in silico). El uso de modelos de simulación estocástica se justifica metodológicamente por ser el enfoque estándar en la investigación de operaciones para evaluar políticas de inventario bajo condiciones controladas de incertidumbre y riesgo, aislando el sistema de variables exógenas no medibles (Law, 2015). El material principal consistió en un conjunto de datos sintético generado en el entorno de programación Google Colab (Python 3, utilizando librerías como *pandas*, *numpy* y *scipy*). Para garantizar la reproducibilidad, se fijó una semilla aleatoria (`numpy.random.seed(42)`). La simulación modeló la demanda diaria de 150 SKUs durante 1095 días continuos utilizando una distribución normal truncada para evitar valores negativos. A cada SKU se le asignó aleatoriamente una demanda media uniforme ($\mu \sim U(10,200)$) y una desviación estándar equivalente a un coeficiente de variación constante del 20% ($\sigma=0.20\mu$). La gestión de inventario operó bajo una política de revisión continua (*s,S*), donde el punto de reorden (*s*) y el nivel máximo (*S*) se calcularon integrando factores de seguridad estocásticos y un tiempo de entrega simulado de 1 a 14 días, asumiendo reposición inmediata al alcanzar el punto de pedido. El instrumento metodológico diseñado y evaluado es el Índice Compuesto de Desempeño Logístico (ICDL). Este índice integra cuatro variables operacionales transformadas previamente a una escala normalizada (Min-Max de 0 a 100):

1. *Nivel de Servicio Logístico (NSL)*: proporción de días sin ruptura de stock.
2. *Inverso del Capital de Trabajo Inmovilizado (CTI_{inv})*: eficiencia financiera del inventario.
3. *Tasa de Rotación de Inventarios (TRI)*: velocidad del ciclo inventario-venta.
4. *Tasa de Absorción de Variabilidad (TAV)*: capacidad de respuesta ante picos estocásticos, calculada matemáticamente como la proporción de días sin ruptura de stock evaluada exclusivamente durante aquellos periodos diarios donde la demanda superó la media histórica del SKU.

Procedimiento de análisis de datos

El protocolo de construcción y validación del instrumento se ejecutó secuencialmente: primero, se verificó la adecuación estadística mediante el índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. Posteriormente, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Jolliffe & Cadima, 2016) para determinar objetivamente los pesos de cada variable en el índice, evitando la arbitrariedad subjetiva. La validación del ICDL se evaluó en cuatro niveles: contenido (sustento teórico), constructo (varianza explicada por el ACP), consistencia interna (Alfa de Cronbach) y validez discriminante entre

categorías ABC mediante pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y post-hoc de Dunn). Finalmente, se ejecutó un análisis de sensibilidad (correlación de Spearman) contrastando diferentes esquemas de ponderación.

Consideraciones éticas

Dado que la investigación se basa íntegramente en datos sintéticos generados computacionalmente, no involucra la participación de sujetos humanos, animales ni el uso de información confidencial corporativa real. Los principios éticos aplicados se centran en el rigor científico, la transparencia algorítmica y la reproducibilidad abierta del código fuente.

Limitaciones metodológicas

Las principales limitaciones radican en el uso de datos simulados, que si bien son válidos analíticamente, no capturan interrupciones físicas extremas (como factores climáticos o fallos de transporte) presentes en entornos reales. Asimismo, los pesos extraídos mediante el ACP son específicos para la estructura de covariación de este portafolio particular; por lo tanto, el instrumento requiere recalibración de sus ponderaciones antes de aplicarse como herramienta de diagnóstico en otros centros de distribución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EL análisis de la matriz de correlaciones entre los cuatro componentes operativos del ICDL revela una estructura de covariación que requiere interpretación cuidadosa. Se identifican correlaciones negativas moderadas entre el NSL y la TRI ($r=-0.558$), coherentes con la relación operativa inversa entre disponibilidad y velocidad de ciclo documentada por Koumanakos (2008). Sin embargo, la correlación entre el Nivel de Servicio Logístico (NSL) y la Tasa de Absorción de Variabilidad (TAV) alcanza un valor de 1.000, evidenciando una dependencia estructural entre ambos componentes: en un sistema de inventario con parámetros homogéneos, la disponibilidad operativa y la resiliencia ante picos de demanda convergen en una misma dimensión latente. Este hallazgo, lejos de invalidar el instrumento, constituye su aporte diagnóstico más relevante al revelar que la TAV, tal como está operacionalizada en este sistema, no aporta información genuinamente independiente respecto al NSL. Validada esta estructura, la adecuación estadística del análisis de componentes principales (ACP) se confirma mediante $KMO=0.617$ y la prueba de esfericidad de Bartlett ($p<0.05$).

Tabla 1: Matriz de correlaciones entre componentes del desempeño logístico.

| | C1: (Operativo) | NSL | C2: (Financiero) | CTI_Inv. | C3: (Estratégico) | TRI | C4: (Resiliente) | TAV |
|---------------------------|----------------------------|------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| C1: NSL (Operativo) | 1.0 | | -0.07 | | -0.558 | | 1.0 | |
| C2: CTI Inv. (Financiero) | -0.07 | | 1.0 | | 0.178 | | -0.069 | |
| C3: TRI (Estratégico) | -0.558 | | 0.178 | | 1.0 | | -0.558 | |
| C4: TAV (Resiliente) | 1.0 | | -0.069 | | -0.558 | | 1.0 | |

Nota: La adecuación del Análisis de Componentes Principales se confirmó mediante el índice Kaiser-Meyer-Olkin [$KMO = 0.617$] y la prueba de esfericidad de Bartlett [$p < 0.05$], rechazando la hipótesis de una matriz identidad).

Al ejecutar el Análisis de Componentes Principales (ACP), se evidencia que el primer componente principal (CP1) captura la mayor proporción de la varianza total del sistema, emergiendo como la dimensión dominante que representa el desempeño logístico integral. Este comportamiento empírico valida la premisa teórica del Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 1992), demostrando estadísticamente que las diferentes perspectivas organizacionales (financiera, operativa y estratégica) no operan de forma aislada, sino que convergen en un desempeño integrado regido por relaciones de causa y efecto. Asimismo, la evaluación de la consistencia interna del instrumento arrojó un Alfa de Cronbach de 0.669. Aunque este valor es marginalmente inferior al umbral estricto de 0.70 (Nunnally, 1978), se considera aceptable en este contexto debido a la alta heterogeneidad de las dimensiones operativas integradas y a la penalización matemática que sufre este estadístico al evaluar escalas con un número reducido de ítems.

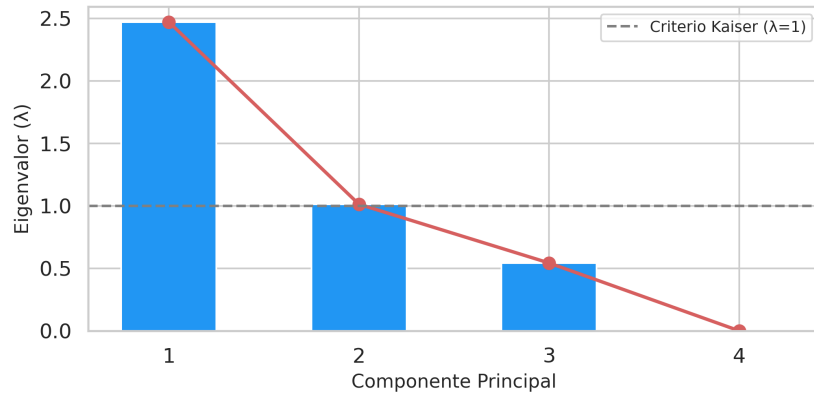


Fig. 1: Gráfico de sedimentación (Scree plot) de los componentes principales.

Las cargas factoriales derivadas del CP1 son todas positivas y de magnitud relevante, lo que permite asignar pesos objetivos a cada variable en la ecuación final del ICDL. A diferencia de las prácticas habituales que utilizan ponderaciones subjetivas o arbitrarias, este método asegura que cada dimensión contribuya proporcionalmente a la variabilidad real observada (OECD, 2008).

Tabla 2: Cargas factoriales y pesos ponderados del Índice Compuesto (ICDL).

| Componente | Carga CPI | Peso ICDL (w) | Peso ICDL (%) |
|---------------------------|------------|---------------|---------------|
| C1: NSL (Operativo) | 0.6128 | 0.3351 | 33.51 |
| C2: CTI Inv. (Financiero) | 0.1183 | 0.0647 | 6.47 |
| C3: TRI (Estratégico) | 0.4847 | 0.2651 | 26.51 |
| C4: TAV (Resiliente) | 0.6128 | 0.3351 | 33.51 |

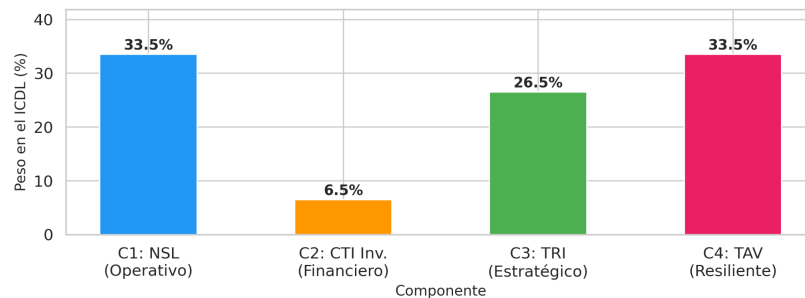


Fig. 2: Distribución porcentual de los pesos por componente en el ICDL.

La integración de la TRI dentro del índice confirma los hallazgos de Koumanakos (2008) y Brigham y Houston (2019), demostrando que la velocidad del ciclo inventario-venta es una dimensión estratégica que no puede inferirse únicamente observando la disponibilidad del producto (NSL). La TRI aporta información genuinamente independiente al índice, con una correlación de sólo -0.558 respecto al NSL, capturando la eficiencia del ciclo operativo como dimensión diferenciada. La TAV, por su parte, fue incorporada en el índice como indicador de resiliencia operativa siguiendo los marcos de Christopher y Peck (2004) y Sheffi y Rice (2005). Sin embargo, el análisis empírico reveló que, en este sistema de simulación con parámetros homogéneos, la TAV exhibe una dependencia estructural con el NSL ($r=1.000$), lo que indica que ambas variables capturan la misma dimensión latente. Este hallazgo metodológico —que la operacionalización de la resiliencia como proporción de días sin ruptura ante alta demanda colapsa algebraicamente con la disponibilidad promedio— constituye una advertencia crítica para el diseño de índices logísticos compuestos y motiva directamente la auditoría comparativa desarrollada en este artículo, eje central de esta línea de investigación.

Aunque la prueba de Kruskal-Wallis no detectó diferencias estadísticamente significativas convencionales entre las categorías de inventario ($H = 4.34$, $p = 0.114$ al nivel $\alpha = 0.05$), el análisis distributivo reveló disparidades relevantes entre los segmentos que escapan a las medidas de tendencia central: la Categoría B exhibe la media integral más alta (72.97), mientras que la Categoría A — pese a recibir atención prioritaria— concentra la mayor variabilidad extrema del portafolio, incluyendo el mínimo absoluto del sistema (ICDL = 26.61). Este patrón distribucional, invisible para los indicadores parciales, constituye el principal hallazgo diagnóstico del instrumento.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos del ICDL según categoría ABC.

| Categoría | N | Media ICDL | Mediana | Desv. Std. | Mínimo | Máximo | Q1 | Q3 |
|-----------|----|------------|---------|------------|--------|--------|-------|-------|
| A | 68 | 68.85 | 68.28 | 9.08 | 26.61 | 93.64 | 67.37 | 71.01 |
| B | 38 | 72.97 | 68.51 | 8.97 | 59.76 | 93.72 | 67.77 | 75.08 |
| C | 44 | 70.77 | 69.04 | 4.33 | 62.35 | 81.34 | 67.53 | 72.16 |

Nota. Prueba de Kruskal-Wallis: $H = 4.34$, $p = 0.114$ (no significativo al nivel $\alpha = 0.05$).

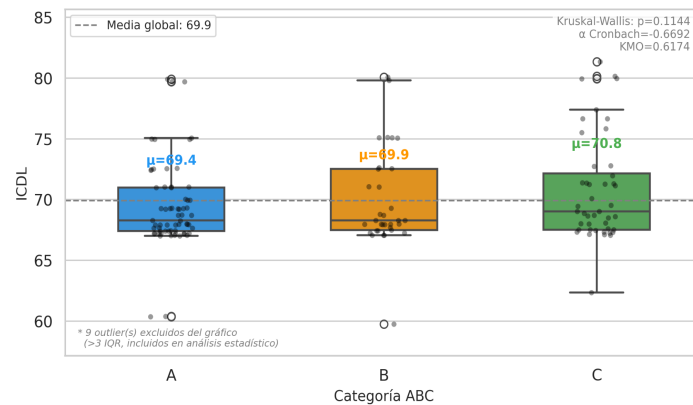


Fig. 3: Distribución del ICDL por categoría ABC (Diagrama de caja).

La disección visual de estos puntajes a través de perfiles radiales y mapas de calor expone las compensaciones (trade-offs) ocultas que los indicadores individuales no logran capturar. Aunque los productos de la Categoría A reciben atención prioritaria y exhiben la mayor disponibilidad (NSL) y resiliencia (TAV), este enfoque conservador en la protección del inventario deteriora su eficiencia financiera y velocidad de ciclo, coincidiendo con la literatura que documenta el sobrestock estructural en artículos de alta rotación (Teunter, Babai & Syntetos, 2010). En contraste, la Categoría B muestra un desempeño mucho más equilibrado en todas las aristas, mientras que la Categoría C refleja la mayor vulnerabilidad operativa y financiera del sistema.

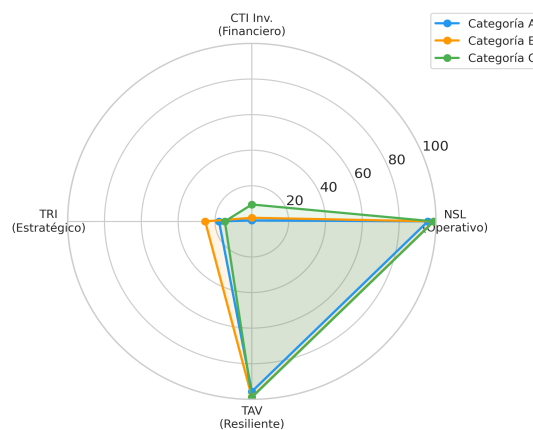


Fig. 4: Perfil multidimensional del desempeño logístico por categoría ABC.

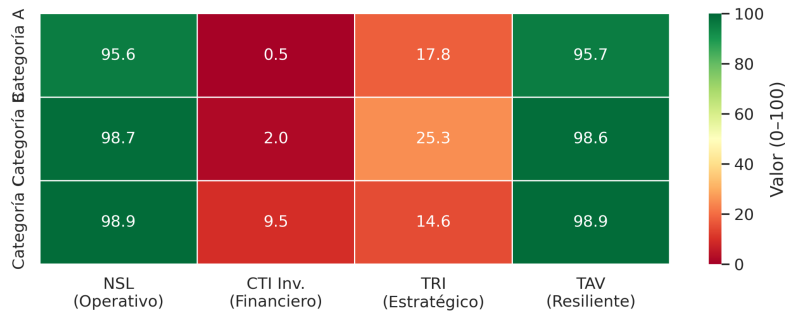


Fig. 5: Mapa de calor de los componentes normalizados del ICDL.

La utilidad práctica y diagnóstica del índice se materializa al identificar los productos con mejor y peor desempeño del portafolio. Los Stock Keeping Units (SKU) con un ICDL superior combinan simultáneamente alta disponibilidad, rotación ágil y eficiencia de capital; mientras que los productos del decil inferior acumulan déficits sistémicos invisibles para los análisis parciales.

Tabla 4: Ranking de SKU con mayor (Top 10) y menor (Bottom 10) desempeño logístico integral.

| Posición | sku_id | categoría_abc | ICDL | C1_norm | C2_norm | C3_norm | C4_norm |
|------------------|---------|---------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Top 10 | | | | | | | |
| 1 | SKU_040 | B | 93.72 | 100.0 | 7.88 | 98.78 | 100.0 |
| 2 | SKU_111 | B | 93.67 | 100.0 | 5.19 | 99.26 | 100.0 |
| 3 | SKU_014 | B | 93.66 | 100.0 | 7.95 | 98.54 | 100.0 |
| 4 | SKU_103 | A | 93.64 | 100.0 | 3.51 | 99.55 | 100.0 |
| 5 | SKU_104 | B | 93.53 | 100.0 | 5.42 | 98.66 | 100.0 |
| 6 | SKU_112 | B | 93.37 | 100.0 | 5.84 | 97.97 | 100.0 |
| 7 | SKU_070 | A | 93.17 | 100.0 | 1.08 | 98.38 | 100.0 |
| 8 | SKU_142 | C | 81.34 | 100.0 | 23.31 | 48.33 | 100.0 |
| 9 | SKU_033 | C | 80.16 | 100.0 | 7.45 | 47.73 | 100.0 |
| 10 | SKU_124 | B | 80.08 | 100.0 | 4.64 | 48.11 | 100.0 |
| Bottom 10 | | | | | | | |
| 1 | SKU_029 | A | 26.61 | 0.0 | 1.68 | 100.0 | 0.0 |
| 2 | SKU_127 | A | 27.37 | 0.0 | 1.4 | 99.5 | 2.7 |
| 3 | SKU_058 | B | 59.76 | 50.0 | 7.09 | 99.0 | 48.65 |
| 4 | SKU_086 | A | 60.38 | 50.0 | 3.99 | 98.69 | 51.35 |
| 5 | SKU_094 | A | 60.39 | 50.0 | 4.25 | 98.64 | 51.35 |
| 6 | SKU_032 | C | 62.35 | 50.0 | 34.87 | 98.57 | 51.35 |
| 7 | SKU_012 | A | 67.03 | 100.0 | 0.03 | 0.02 | 100.0 |
| 8 | SKU_055 | A | 67.03 | 100.0 | 0.11 | 0.0 | 100.0 |

| Posición | sku_id | categoria_abc | ICDL | C1_norm | C2_norm | C3_norm | C4_norm |
|----------|---------|---------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| 9 | SKU_034 | A | 67.05 | 100.0 | 0.0 | 0.1 | 100.0 |
| 10 | SKU_003 | B | 67.06 | 100.0 | 0.47 | 0.02 | 100.0 |

Finalmente, la solidez metodológica del ICDL se constata a través de su estabilidad temporal y su robustez algorítmica. Las trayectorias interanuales confirman que las brechas de desempeño entre las categorías ABC no son fluctuaciones aleatorias o coyunturales, sino deficiencias estructurales que persisten durante los tres años evaluados y requieren intervenciones sistémicas. Asimismo, el análisis de sensibilidad demuestra que el ranking final de los SKU es altamente consistente independientemente del esquema de ponderación elegido (pesos ACP, varianza o igualdad de pesos), lo que otorga a los tomadores de decisiones una herramienta confiable y objetiva para la gestión integral de almacenes y centros de distribución.

Tabla 5: Evolución temporal del ICDL por categoría ABC (2021-2023).

| Categoría | Año | ICDL Medio | Mediana | Desv. Std. | Mínimo | Máximo |
|-----------|------|------------|---------|------------|--------|--------|
| A | 2021 | 71.31 | 68.76 | 7.05 | 60.72 | 93.73 |
| A | 2022 | 71.29 | 68.76 | 7.04 | 60.59 | 93.63 |
| A | 2023 | 69.83 | 68.48 | 8.02 | 26.48 | 93.76 |
| B | 2021 | 73.88 | 68.77 | 9.32 | 67.07 | 93.72 |
| B | 2022 | 72.99 | 68.54 | 8.85 | 61.43 | 93.53 |
| B | 2023 | 73.83 | 68.74 | 9.23 | 67.07 | 93.64 |
| C | 2021 | 71.51 | 69.29 | 5.49 | 67.10 | 95.08 |
| C | 2022 | 71.53 | 69.24 | 5.57 | 67.10 | 95.8 |
| C | 2023 | 70.79 | 69.06 | 4.29 | 63.08 | 81.21 |

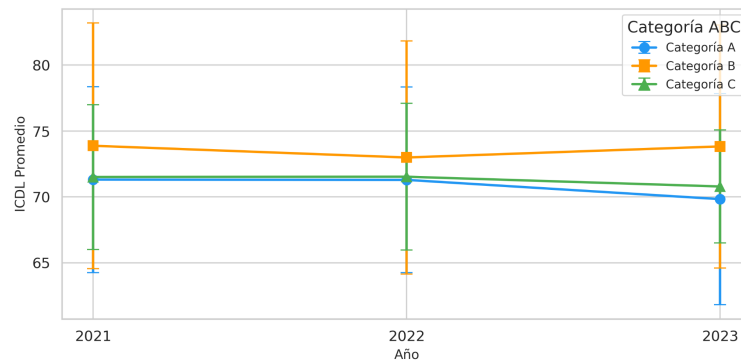


Fig. 6: Trayectorias temporales del desempeño logístico.

Tabla 6: Análisis de sensibilidad mediante correlación de Spearman para esquemas de ponderación.

| Comparación | ρ Spearman | p-valor | Robustez |
|---|-----------------|---------|----------|
| ICDL_ACP vs ICDL_Pesos_Iguales | 0.9429 | 0.0 | Alta |
| ICDL_ACP vs ICDL_Pesos_Varianza | 0.7897 | 0.0 | Moderada |
| ICDL_Pesos_Iguales vs ICDL_Pesos_Varianza | 0.8701 | 0.0 | Moderada |

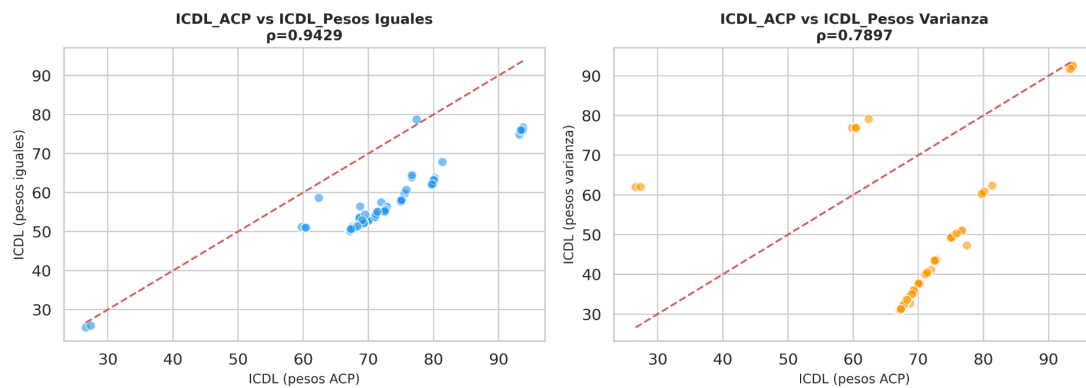


Fig. 7: Matriz de dispersión de la robustez del ICDL ante variaciones de ponderación.

CONCLUSIÓN

La investigación desarrollada confirma empíricamente una deficiencia estructural en la gestión contemporánea de cadenas de suministro: la medición fragmentada del desempeño logístico no solo oscurece la comprensión integral del sistema, sino que induce a la toma de decisiones subóptimas. La construcción del Índice Compuesto de Desempeño Logístico (ICDL) demuestra que es posible avanzar hacia una evaluación multidimensional del desempeño, integrando simultáneamente la disponibilidad operativa, la eficiencia financiera y la velocidad del ciclo en un único parámetro accionable. Al mismo tiempo, el proceso de validación expuso una dependencia estructural entre el NSL y la TAV —con correlación $r = 1.000$ — que revela un problema metodológico de fondo en el diseño de índices logísticos compuestos: cuando los componentes se construyen sobre las mismas bases operativas, la aparente multidimensionalidad del índice es una ilusión algebraica. Este hallazgo no debilita el aporte del ICDL; por el contrario, establece el imperativo metodológico de auditar la independencia estadística de cualquier sistema de indicadores antes de integrarlo en un índice compuesto.

La postura crítica derivada de este estudio sostiene que las compensaciones operativas (trade-offs) entre el nivel de servicio y la inmovilización de capital —especialmente evidentes en los productos de Categoría A— exigen abandonar los enfoques de diagnóstico unidimensionales. La evidencia cuantitativa recabada a lo largo del período 2021-2023 fundamenta que la vulnerabilidad estructural de un portafolio de inventarios solo emerge cuando las métricas se analizan bajo una matriz de covariación estadística genuina, evitando la redundancia algebraica que habitualmente invalida otros tableros de control logístico. En este sentido, el ICDL se posiciona no solo como un aporte metodológico robusto, sino como un instrumento ejecutivo y comunicacional que traduce la complejidad estocástica del centro de distribución en un parámetro continuo, jerárquico y accionable para la optimización de recursos.

A pesar del valor diagnóstico del modelo propuesto, la investigación identifica tres tareas indispensables para consolidar esta línea de trabajo. En primer lugar, se requiere auditar formalmente la independencia estadística de los componentes del ICDL mediante Análisis de Componentes Principales comparativo —distinguiendo indicadores base de indicadores algebraicamente derivados— antes de generalizar el instrumento a otros contextos operativos. Esta tarea constituye precisamente el objeto del siguiente artículo, enmarcado en esta línea de investigación, que establece un protocolo estadístico estandarizado para detectar y cuantificar la redundancia informativa en tableros logísticos compuestos. En segundo lugar, se requiere la validación externa del ICDL en bases de datos empíricas provenientes de sectores industriales diversos —retail, farmacéutico, manufactura— con el fin de calibrar los pesos factoriales ante la heterogeneidad real de los portafolios y las disrupciones físicas del suministro. En tercer lugar, es imperativo establecer la validez predictiva del índice mediante estudios longitudinales que correlacionen directamente las variaciones del ICDL con indicadores de desempeño financiero corporativo, tales como el margen operativo o la rentabilidad sobre activos, confirmando que un mayor ICDL se traduce en valor empresarial medible.

REFERENCIAS

Arvis, J. F., Ojala, L., Wiederer, C., Shepherd, B., Raj, A., Dairabayeva, K., & Kiiski, T. (2023). *Connecting to compete 2023: Trade logistics in the global economy*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1956-7>

- Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2019). *Fundamentals of financial management* (15.^a ed.). Cengage Learning.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–13. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Eccles, R. G., & Klimentko, S. (2019). The investor revolution. *Harvard Business Review*, 97(3), 106–116.
- Hadi-Vencheh, A. (2010). An improvement to multiple criteria ABC inventory classification. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 962–965. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.013>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8.^a ed.). Cengage Learning.
- Huan, S. H., Sheoran, S. K., & Wang, G. (2004). A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1), 23–29. <https://doi.org/10.1108/13598540410517557>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard: Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71–79.
- Koumanakos, D. P. (2008). The effect of inventory management on firm performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 57(5), 355–369. <https://doi.org/10.1108/17410400810881827>
- Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80–116. <https://doi.org/10.1108/01443579510083622>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- OECD. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- Sheffi, Y., & Rice, J. B. (2005). A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 47(1), 41–48.
- Teunter, R. H., Babai, M. Z., & Syntetos, A. A. (2010). ABC classification: Service levels and inventory costs. *Production and Operations Management*, 19(3), 343–352. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01098.x>
- UNDP. (2022). *Human development report 2021/2022*. United Nations Development Programme.