

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i2.2297>

Logística verde y economía circular como estrategias para la optimización sostenible de recursos y la mejora del desempeño en empresas metalmecánicas

Green Logistic and circular economy as strategies for the sustainable optimization of resources and improved performance in metalworking companies

Edgar Oswaldo Aguilar Granda

edgar.aguilar@upec.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0801-4645>

Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Ecuador- Tulcán

Heinz David Cadena Granda

<https://orcid.org/0009-0004-3846-8554>

hecadenaheinz@gmail.com

Investigador Independiente

Ecuador- Tulcán

Cristina Janina López Castro

<https://orcid.org/0009-0006-2680-4105>

cristi.janina@gmail.com

Investigador Independiente

Ecuador- Tulcán

Artículo recibido: 10 mayo 2026- Aceptado para publicación: 16 junio 2026

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Este trabajo examina cómo la logística verde y la economía circular influyen en la optimización sostenible de los recursos y en el rendimiento empresarial en el sector metalmecánico, centrándose en la compañía Fundimetales del Norte, ubicada en Tulcán-Carchi-Ecuador. La investigación se fundamenta en un enfoque que combina aspectos cualitativos y cuantitativos, con un propósito descriptivo y explicativo, utilizando un diseño no experimental, transversal y retrospectivo. El diagnóstico mostró importantes ineficiencias operativas bajo el modelo lineal convencional, revelando una eficiencia operativa del 36%, un consumo eléctrico mensual de 14,800 kWh y la acumulación de 300 toneladas de desperdicio metálico inactivo. La aplicación de prácticas de logística verde, economía circular mejoró notablemente los recursos de la empresa. La fundición interna usando un horno de inducción logró reducir la generación de viruta metálica en un 91.6%, y la reutilización de empaques disminuyó los gastos de distribución en un 50%, lo que generó un ahorro anual de \$68,030. De igual manera, alinear las operaciones con las pautas de la norma ISO 14001 incrementa la capacidad de mejora continua al 93%, cerrando la brecha de eficiencia en un 57%. Por último, la evaluación cualitativa y cuantitativa a través de la Matriz de Leopold corroboró la viabilidad ambiental neta del sistema, con un indicador de sostenibilidad

positivo de +151 y un impacto beneficioso del 25%. En resumen, la combinación de estrategias de logística ecológica y economía circular conecta de manera efectiva la sostenibilidad ambiental con la competitividad financiera y operativa en el ámbito empresarial.

Palabras clave: logística verde, economía circular, optimización de recursos, desempeño empresarial, industria metalmeccánica

ABSTRACT

This study examines how green logistics and the circular economy influence the sustainable optimization of resources and business performance in the metalworking sector, focusing on Fundimetales del Norte, a company located in Tulcán-Carchi-Ecuador. The research is based on a combined qualitative and quantitative approach, with a descriptive and explanatory purpose, using a non-experimental, cross-sectional, and retrospective design. The diagnostic assessment revealed significant operational inefficiencies under the conventional linear model, showing an operational efficiency of only 36%, monthly electricity consumption of 14,800 kWh, and the accumulation of 300 tons of inactive metal waste. The implementation of green logistics and circular economy practices significantly improved the company's resources. Internal smelting using an induction furnace reduced metal chip generation by 91.6%, and the reuse of packaging reduced distribution costs by 50%, resulting in annual savings of \$68,030. Similarly, aligning operations with ISO 14001 guidelines increases the capacity for continuous improvement to 93%, closing the efficiency gap by 57%. The qualitative and quantitative assessment using the Leopold Matrix confirmed the net environmental viability of the system, with a positive sustainability indicator of +151 and a beneficial impact of 25%. In summary, the combination of green logistics and circular economy strategies effectively links environmental sustainability with financial and operational competitiveness in the business environment.

Keywords: green logistics, circular economy, resource optimization, business performance, metalworking industry

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el cambio industrial y la sostenibilidad a nivel mundial, las empresas se ven cada vez más presionadas a disminuir sus huellas ambientales, mejorar la utilización de sus recursos y adoptar métodos de producción que sean más sostenibles y sustentables. El aumento en el consumo de energía, la rápida producción de desechos industriales, el consumo continuado de recursos naturales y las emisiones dañinas generadas por la manufactura han propiciado la creación de nuevas tácticas centradas en la sostenibilidad empresarial y la competitividad de las organizaciones Jayarathna et al. (2023). En este contexto, la Logística verde y la Economía Circular se han establecido como enfoques clave para fomentar la eficiencia en las operaciones, disminuir los efectos negativos en el medio ambiente y lograr una utilización sostenible de los recursos a lo largo de las cadenas de suministro industriales.

La logística verde o sostenible abarca diversas técnicas y enfoques de administración enfocados en reducir el impacto ambiental de las operaciones logísticas, lo que incluye disminuir el uso de energía, gestionar adecuadamente los desechos, mejorar la eficiencia del transporte, reutilizar materiales y adoptar tecnologías que sean sostenibles. Jayarathna et al. (2023) definen la logística sostenible como las prácticas de gestión de la cadena de suministro orientadas a reducir las huellas ecológicas y energéticas derivadas de la distribución de bienes, incluyendo actividades relacionadas con transporte, embalaje, manejo de materiales y gestión de residuos. Los autores sostienen además que las prácticas de logística verde generan valor ambiental, económico y social al contribuir a la conservación de recursos, reducción de emisiones y fortalecimiento del desempeño organizacional.

Desde una perspectiva ambiental, la necesidad de implementar modelos logísticos sostenibles se relaciona directamente con la creciente problemática asociada al cambio climático, la degradación ecológica y el agotamiento de recursos naturales. Gao et al. (2024) señalan que las actividades humanas están acercando al planeta a puntos críticos ambientales que amenazan la estabilidad de los ecosistemas y la sostenibilidad de las sociedades contemporáneas, situación que exige nuevas formas de organización económica y empresarial alineadas con el desarrollo sostenible. En este sentido, la economía circular surge como uno de los tópicos más prometedores para reducir residuos, maximizar recursos y disminuir los impactos ambientales generados por los sistemas productivos tradicionales.

La economía circular se presenta como una alternativa al concepto de economía lineal que se fundamenta en el proceso de "extraer-producción-desechar". De acuerdo con Jayarathna et al. (2023), esta perspectiva se enfoca en reducir los desechos y la contaminación a través de sistemas que apoyan la producción y distribución mediante métodos de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales. Por otro lado, Gao et al. (2024) subrayan que la economía circular fomenta sistemas que permiten regenerar, donde se limita el consumo de recursos, así como las

emisiones y las pérdidas de energía, mediante el cierre de ciclos tanto materiales como energéticos. Desde este punto de vista, la economía circular no solo es considerada una medida ambiental, sino que también se ve como un modelo económico que busca mejorar la eficiencia, la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones.

En el contexto industrial, particularmente en el sector metalmecánico, la adopción de estrategias de logística ecológica y economía circular se vuelve de suma importancia debido al elevado nivel de consumo energético, la elevada utilización de recursos metálicos y la continua generación de desechos industriales. Las empresas enfocadas en la metalmecánica enfrentan retos considerables en relación con la eficiencia energética, el manejo de residuos, las emisiones contaminantes y la sostenibilidad en sus operaciones, elementos que en la actualidad se han convertido en factores críticos para su supervivencia y competitividad en un entorno globalizado.

Investigaciones recientes han demostrado que las prácticas de logística verde y la gestión sostenible de las cadenas de suministro desempeñan un papel crucial en la mejora del desempeño ambiental y en la optimización de los recursos empresariales. Cheng et al. (2023) evidenciaron que la logística verde y el desarrollo del capital humano tienen un impacto positivo en la producción sostenible y en la implementación de la economía circular en las empresas manufactureras, especialmente a través de la reducción de desechos, la reutilización de materiales y la optimización de los procesos productivos.

De igual manera, Gao et al. (2024) identificaron que la gestión de cadenas de suministro ecológicas y la economía circular ejercen efectos benéficos sobre la eficiencia de los recursos y el rendimiento ambiental de las empresas, especialmente cuando se implementan estrategias sostenibles de manera integrada a lo largo de toda la cadena de suministro. Los autores argumentan que las cadenas de suministro sostenibles y los modelos circulares son elementos esenciales para alcanzar las metas de sostenibilidad y para mejorar la eficacia operativa de las organizaciones en el ámbito industrial.

Sin embargo, a pesar del creciente avance teórico y empírico que vincula la sostenibilidad logística y la economía circular, en entornos latinoamericanos, y en particular en Ecuador, aún se presenta una escasa evidencia científica acerca de la aplicación de estas estrategias en pequeñas y medianas empresas del sector metalmecánico. Esta situación revela una notoria brecha investigativa en lo que se refiere a la forma en que las organizaciones industriales locales implementan prácticas sostenibles con el objetivo de mejorar su rendimiento ambiental y optimizar el uso de recursos productivos.

Para Fundimetales del Norte, localizada en Tulcán, la implementación de las estrategias mencionadas se debe a la necesidad de abordar debilidades operativas detectadas, tales como la ausencia de una planificación estratégica en logística verde y la escasa integración de tecnologías sostenibles en sus procesos de distribución.

Desde una perspectiva teórica, la investigación se apoya en la Natural Resource-Based View (NRBV), formulada por Hart en 1995, que sostiene que las organizaciones pueden alcanzar ventajas competitivas sostenibles a través de una adecuada gestión de los recursos naturales y el desarrollo de estrategias ambientales. De manera complementaria, la Teoría Institucional expone cómo las presiones tanto regulatorias como sociales motivan a las organizaciones a adoptar estándares ambientales, como la norma ISO 14001, con el fin de generar ventaja competitiva. Jayarathna et al. (2023) subrayan que esta teoría combina recursos tanto internos como externos que buscan fortalecer la sostenibilidad empresarial mediante estrategias enfocadas en la prevención de la contaminación, la gestión ambiental y el desarrollo sostenible.

Adicionalmente, la investigación incluye principios de la Teoría de Capacidades Dinámicas formulada por Teece (2007), la cual describe la forma en la que las organizaciones desarrollan habilidades estratégicas para ajustarse a contextos en evolución y atender a presiones del entorno, así como a demandas tecnológicas y competitivas. Jayarathna et al. (2023) destacan que las capacidades dinámicas son un factor fundamental que facilita la ejecución de estrategias relacionadas con la economía circular y la sostenibilidad en el ámbito logístico.

La relevancia científica y práctica de la presente investigación radica en la necesidad de generar evidencia empírica sobre la implementación de prácticas circulares y de logística sostenible en empresas metalmecánicas ecuatorianas para identificar que no solo mitiga la degradación ambiental, sino que también ofrece una ventaja competitiva estratégica y beneficios financieros tangibles al reducir los costos de adquisición de materias primas y las tasas de disposición de residuos, fortaleciendo la competitividad empresarial mediante modelos sostenibles de gestión logística

En función de lo expuesto, la presente investigación tiene como objetivo general: Analizar la contribución de la logística verde y la economía circular en la optimización sostenible de recursos y la mejora del desempeño en empresas metalmecánicas, con ello se busca diagnosticar su desempeño actual, determinar la utilización de sus recursos, evaluar la incidencia de las prácticas sostenibles sobre el desempeño ambiental y la eficiencia operativa y diseñar estrategias orientadas al fortalecimiento de la sostenibilidad logística y operativa en empresas metalmecánicas, de manera específica en la empresa Fundimetales del Norte.

Finalmente, considerando el enfoque correlacional del estudio, se establece la hipótesis: H1: La logística verde y la economía circular incide de manera directa y positiva en la optimización de los recursos operativos de Fundimetales del Norte.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos con el objetivo de examinar la influencia de la logística verde y la economía circular en la optimización sostenible de los recursos y el rendimiento ambiental de la empresa. Se

incorporan procesos de comparación, medición y cálculo de datos cuantitativos, así como valoraciones cualitativas (Hernández Sampieri et al., 2014). El enfoque cuantitativo permitió la evaluación de indicadores relacionados con el consumo de energía, la eficiencia en las operaciones, la gestión de desechos y la utilización de recursos; el enfoque cualitativo favoreció la comprensión de las prácticas organizacionales, las estrategias ambientales y los procesos logísticos adoptados por la empresa investigada. El uso de enfoques mixtos en investigaciones relacionadas con sostenibilidad y gestión de cadenas de suministro permite integrar datos operativos, ambientales y organizacionales, generando una visión más integral de los procesos empresariales (Paul et al., 2021). Asimismo, la gestión sostenible de cadenas de suministro incorpora dimensiones económicas, ambientales y sociales orientadas a mejorar el desempeño empresarial y reducir impactos ambientales (Su et al., 2021).

Adicionalmente, el estudio adoptó una perspectiva crítico-activa, orientada no solo a analizar la realidad sino a proponer una transformación social y organizativa a través de la participación; en este caso no solo se diagnosticó la situación actual de la empresa en términos de logística verde y economía circular, sino que también se formularon estrategias orientadas a fortalecer la sostenibilidad operativa y ambiental mediante prácticas de economía circular y optimización de recursos.

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva-explicativa, documental y de campo. Descriptiva-Explicativa: Para especificar las propiedades y rasgos importantes del fenómeno de la logística verde en la empresa. La investigación descriptiva permitió caracterizar las prácticas actuales relacionadas con logística verde, eficiencia operativa, gestión de residuos, reciclaje y consumo de recursos dentro de la empresa metalmecánica estudiada. Este tipo de investigación busca especificar propiedades y características relevantes de los fenómenos analizados, permitiendo comprender comportamientos organizacionales y tendencias operativas (Hernández Sampieri et al., 2014). Es explicativo en tanto busca determinar las relaciones de causalidad, demostrando que las variables independientes condicionan las variables dependientes. Documental: para la recopilación y selección de información técnica y teórica preexistente. La investigación documental consistió en la revisión sistemática de artículos científicos, normas ambientales internacionales, registros internos relacionados con logística verde, sostenibilidad industrial, economía circular y gestión ambiental. Esta revisión permitió sustentar teóricamente las variables de estudio y establecer indicadores para el análisis organizacional.

La revisión documental constituye un componente fundamental en estudios de sostenibilidad, debido a que facilita la identificación de modelos conceptuales, indicadores ambientales y metodologías aplicadas en investigaciones previas sobre cadenas de suministro sostenibles (Jayarathna et al., 2021).

De campo: Para la recolección de datos primarios directamente en el entorno natural de la organización. La investigación de campo permitió obtener información primaria directamente en las instalaciones de la empresa Fundimetales del Norte, ubicada en la ciudad de Tulcán. Para ello se realizaron visitas técnicas, observación de procesos productivos y entrevistas dirigidas al personal responsable de las operaciones logísticas y ambientales de la organización.

Diseño de investigación

Se aplicó un diseño no experimental, transversal y retrospectivo, debido a que las variables relacionadas con la logística verde, la economía circular y el desempeño operativo fueron analizadas en su contexto natural, sin manipulación deliberada por parte de los investigadores. El estudio se sustentó en el análisis de información histórica, registros organizacionales y prácticas previamente implementadas por la empresa Fundimetales del Norte, permitiendo evaluar la evolución de sus procesos sostenibles y operativos. Aunque la recolección de datos se realizó en un único período temporal, el diseño posibilitó comparar escenarios operativos anteriores y actuales relacionados con eficiencia energética, aprovechamiento de recursos y gestión de residuos, sin intervenir en el funcionamiento habitual de la organización. Este tipo de diseño resulta pertinente en investigaciones de sostenibilidad empresarial, ya que facilita el análisis de cambios organizacionales y mejoras operativas a partir de evidencia documental y datos reales, preservando el comportamiento natural de las variables estudiadas (Hernández Sampieri et al., 2014; Sun et al., 2022).

Población y muestra

La población estuvo conformada por el personal administrativo y operativo relacionado con las actividades logísticas y productivas de la empresa Fundimetales del Norte.

La muestra correspondió a tres informantes clave vinculados directamente con los procesos de producción, logística y gestión ambiental de la organización. Los participantes fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por criterio o intencional, debido a su experiencia, nivel de conocimiento y participación directa en las actividades objeto de análisis. Entre los informantes se incluyó al gerente general de la empresa, debido a su conocimiento integral de los procesos operativos y administrativos quien proporcionó información estratégica sobre las prácticas sostenibles implementadas en la organización.

Técnicas

Se aplicó la técnica de observación sistemática y no sistemática para identificar prácticas relacionadas con producción sostenible, manejo de residuos, reciclaje, reutilización de materiales, eficiencia energética y consumo de recursos. Como instrumento se utilizaron fichas de observación estructuradas que permitieron registrar información técnica y operativa durante las visitas de campo. También se aplicó el método de las 6 "R" (reparar, rediseñar, revender, refabricar, reutilizar y reciclar) para evaluar la cadena de suministro.

Instrumentos

Se utilizó una entrevista semiestructurada dirigida a los responsables de las áreas administrativas y operativas de la empresa. La entrevista estuvo compuesta por preguntas relacionadas con las variables de: logística verde, transporte sostenible, eficiencia energética, economía circular, gestión de residuos y sostenibilidad organizacional. La aplicación de entrevistas semiestructuradas en estudios de sostenibilidad empresarial permite obtener información contextual y estratégica sobre la adopción de prácticas ambientales y procesos de innovación sostenible dentro de las organizaciones (Cerqueira-Streit et al., 2021).

Métodos de análisis

Se utilizó el método analítico, mismo que examina las variables de estudio de manera individual y conjunta para identificar relaciones entre logística verde y optimización de recursos empresariales.

Adicionalmente, se aplicó análisis cualitativo para identificar con claridad las respuestas obtenidas en las entrevistas y análisis cuantitativo mediante la tabulación de datos en Microsoft Excel. Esto permitió generar estadísticas relacionadas con demanda, ventas, manejo de productos, consumo de recursos, manejo de residuos, reciclaje y desempeño ambiental. La utilización de herramientas cuantitativas y análisis multicriterio resulta pertinente en investigaciones de sostenibilidad logística debido a la complejidad de variables ambientales, económicas y operativas involucradas en las cadenas de suministro sostenibles (Paul et al., 2021).

Para la evaluación técnica del impacto ambiental se utilizó la Matriz de Leopold, que permite semicuantificar las interacciones entre las acciones humanas y los factores del entorno, asignando valores numéricos a valoraciones cualitativas de magnitud e importancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico realizado en la empresa Fundimetales del Norte permitió identificar el estado actual de las prácticas relacionadas con logística verde, sostenibilidad operativa y optimización de recursos dentro de la organización. La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Tulcán, provincia del Carchi, y se dedica a la fundición y mecanizado de piezas metálicas para los sectores automotriz y agrícola.

Durante la investigación se determinó que la organización posee 20 años de trayectoria en el mercado y cuenta con 24 trabajadores vinculados a procesos administrativos, operativos y de producción. Asimismo, la empresa dispone de un catálogo de 483 productos metálicos distribuidos en categorías como discos de freno, arañas de acero, bocines y tambores automotrices.

La entrevista aplicada al gerente de la empresa permitió identificar percepciones organizacionales sobre logística verde y sostenibilidad. Los resultados muestran que la empresa reconoce la importancia de implementar prácticas ambientales orientadas a minimizar impactos

ecológicos y optimizar recursos productivos. La empresa mantiene programas básicos de clasificación de residuos y control ambiental asociados a licencias medioambientales y cumplimiento normativo. Más, sin embargo, todavía existen debilidades relacionadas con la planificación estratégica de logística verde y la incorporación de tecnologías sostenibles en transporte y distribución.

Los resultados evidenciaron que Fundimetales del Norte ha incorporado algunas prácticas asociadas a la logística verde y la sostenibilidad ambiental, especialmente en actividades de reciclaje, reutilización de materiales y eficiencia energética. Sin embargo, también se identificaron limitaciones importantes relacionadas con la sostenibilidad logística. A continuación, en la Tabla 1, se detallan estos resultados.

Tabla 1

Resultados del diagnóstico de logística verde en Fundimetales del Norte

Aspecto evaluado	Resultado identificado	Interpretación
Gestión de residuos	Clasificación y reciclaje de residuos metálicos	Existencia de prácticas de economía circular
Eficiencia energética	Uso de iluminación LED y celdas fotovoltaicas	Reducción parcial del consumo energético
Tecnología sostenible	Implementación de horno de inducción	Mejora de eficiencia operativa y ambiental
Transporte sostenible	Uso de vehículos a gasolina y diésel	Bajo nivel de sostenibilidad logística
Reutilización de materiales	Reaprovechamiento de viruta y metales	Disminución del desperdicio industrial
Capacitación ambiental	Personal capacitado en manejo de residuos	Compromiso organizacional moderado
Relación con proveedores	Escasa integración sostenible	Débil articulación de cadena verde

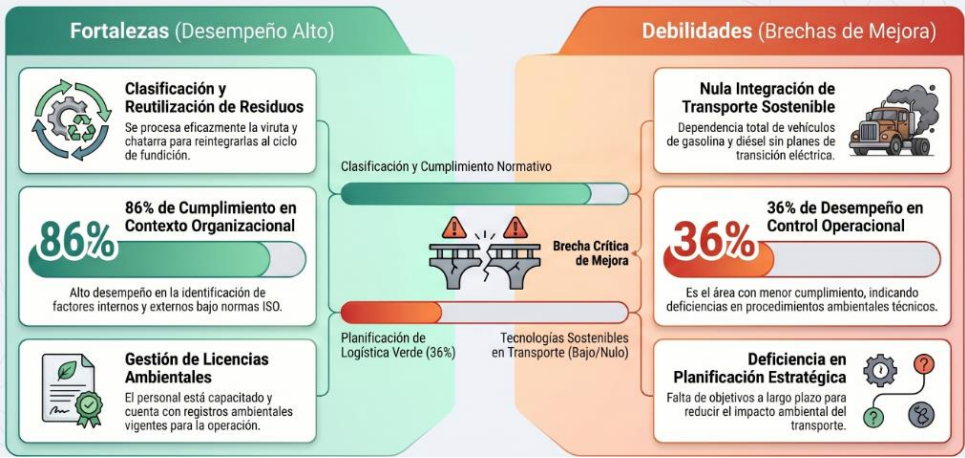
Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que las prácticas de logística verde implementadas por la empresa contribuyen parcialmente a la optimización de recursos materiales, energéticos y operativos. La reutilización de metales y residuos industriales ha permitido disminuir pérdidas de materia prima y mejorar el aprovechamiento de recursos productivos.

En términos energéticos, la incorporación de tecnologías más eficientes ha generado una reducción del consumo eléctrico y del uso de combustibles convencionales. De igual manera, las acciones de reciclaje y reutilización contribuyen a disminuir el impacto ambiental derivado de los

procesos de fundición y mecanizado. La Figura 1, muestra estos resultados, así como también aspectos de mejora que requiere la empresa.

Figura 1
Desempeño Operativo y Sostenible de Fundimetales del Norte



Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Los resultados obtenidos bajo el alcance descriptivo-explicativo demuestran el impacto causal positivo de la logística verde sobre los indicadores de optimización de la empresa (Tabla 2). Se evidencia que las intervenciones operativas y tecnológicas no solo mitigan las mermas materiales en un 91.6% y el consumo energético, sino que generan una eficiencia en costos del 50% en embalaje y elevan la capacidad de mejora continua del 36% al 93%.

Tabla 2
Matriz de Causalidad e Impacto de la Logística Verde

Dimensión de Logística Verde(Variable Independiente Causa)	Indicador de Optimización(Variable Dependiente - Efecto)	Evidencia Cuantitativa del Impacto(Métricas de la Relación Causal)
Producción:	Recursos Materiales:	Reducción drástica del inventario de desperdicio metálico (viruta) de 300 t a solo 25 t, lo que representa una optimización del material del 91.6%.
Transición tecnológica (Horno de inducción)	Aprovechamiento subproductos	
Distribución Ecológica:	Recursos Económicos:	Contracción del 50% en costos de embalaje al sustituir insumos nuevos por de segunda mano, generando un ahorro anual proyectado de \$68,030.
Modificación de material de embalaje	Eficiencia y ahorro financiero	
Gestión de Producción:	Recursos Naturales:	Mitigación del consumo eléctrico mensual de 14,800 kWh a 14,688 kWh, logrando una reducción neta de 112 kWh/mes.
Mantenimiento preventivo y calibración	Eficiencia energética	

Gestión de Residuos:	Recursos Materiales:	Disminución de la tasa de adquisición de hierro virgen (materia prima) mediante la reincorporación y fundición directa de los desechos del proceso.
Reciclaje interno de viruta	Sustitución de insumos	
Cumplimiento Normativo:	Desempeño Operativo:	Incremento del indicador del apartado de "Mejora" del sistema de gestión hasta un 93%, en contraste con una eficiencia operativa inicial de la línea base del 36%.
Aplicación de directrices ISO 14001	Capacidad de mejora continua	
Responsabilidad Social:	Recursos Humanos:	Evaluación cuali-cuantitativa mediante la Matriz de Leopold, donde el factor empleo registra el mayor peso de afectación positiva con una incidencia ponderada del 25%.
Generación de valor compartido	Impacto socioeconómico positivo	

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación.

De manera complementaria, la Tabla 3 sintetiza cualitativamente la intensidad de las relaciones observadas entre las variables del estudio. Se identifica que dimensiones como la economía circular y la eficiencia energética generan una influencia positiva alta sobre la productividad operativa y la reducción de costos, consolidando el impacto integral del modelo propuesto.

Tabla 3

Matriz cualitativa de la relación entre las dimensiones operativas y el desempeño empresarial

Variable independiente	Relación observada	Variable dependiente
Logística verde	Positiva moderada-alta	Optimización del desempeño empresarial
Economía circular	Positiva alta	Reducción de costos y desperdicios
Eficiencia energética	Positiva alta	Productividad operativa
Gestión ambiental	Positiva moderada	Desempeño ambiental

Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Los resultados de la evaluación analítica estructurada mediante la Matriz de Leopold, de la Tabla 4 evidencian el balance neto de las 35 interacciones identificadas, donde los impactos positivos (20) superan a los negativos (15) con un indicador de sostenibilidad favorable de +151. El análisis de importancia y magnitud cuantitativa sitúa a la generación de empleo como el principal vector de beneficio social (+25% de incidencia ponderada; magnitudes de +8/+9), mientras que las brechas críticas de vulnerabilidad se concentran en el uso de tierra industrial (33% de afectación negativa) y la salud y seguridad ocupacional (20%), lo que convalida la viabilidad ambiental de la planta supeditada a la mitigación prioritaria de estas áreas.

Tabla 4*Resultados de Impacto Ambiental y Social aplicación de la Matriz de Leopold*

Factor Ambiental Cultural	Impacto / Positivo (%)	Impacto Negativo (%)	Caracterización Técnica
Empleo	25%	0%	Factor de mayor beneficio social. Impulsor principal del agregado positivo.
Calidad del Agua	20%	7%	Impacto positivo asociado a la renovación de recursos y manejo de efluentes.
Uso de Tierra (Industrial)	0%	33%	Sector Crítico. Representa la mayor afectación negativa de la operación.
Salud y Seguridad	10%	20%	Área de vulnerabilidad operativa con incidencia negativa significativa.
Manejo de Residuos	15%	13%	Equilibrio relativo; las prácticas de reciclaje compensan la generación de desechos.
Calidad del Aire	15%	13%	Impacto moderado por emisiones de gases y partículas en la fundición.
Uso de Tierra (Comercial)	15%	13%	Balance positivo derivado de la actividad económica en el entorno.

Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Para operacionalizar el objetivo del estudio en el contexto de la organización, la Tabla 5 despliega el diagnóstico detallado de Fundimetales del Norte mediante una escala de valoración (1-5). Esta matriz permite contrastar las evidencias empíricas de la logística verde con sus respectivos efectos en el desempeño empresarial, visibilizando tanto las fortalezas tecnológicas en fundición (5/5) como las brechas críticas en la cadena de suministro y transporte (2/5).

Tabla 5*Diagnóstico y valoración de la logística verde sobre el desempeño empresarial en Fundimetales del Norte*

Indicador de logística verde	Evidencia encontrada en Fundimetales del Norte	Valoración obtenida (1-5)	Indicador de desempeño empresarial asociado	Efecto observado
Reciclaje de materiales metálicos	Reutilización de residuos metálicos y viruta industrial	4	Reducción de desperdicios de materia prima	Mejora de eficiencia operativa
Implementación de modelo circular	Uso de materiales reciclados en producción	4	Disminución de costos operativos	Optimización de recursos productivos
Eficiencia energética	Uso de horno de inducción	5	Reducción del consumo energético	Incremento del rendimiento operativo

Energías renovables	Uso de iluminación LED y celdas fotovoltaicas	4	Disminución de costos eléctricos	Mejora de sostenibilidad operativa
Gestión ambiental	Coordinación con gestores ambientales	4	Cumplimiento ambiental	Reducción de impactos negativos
Innovación tecnológica	Incorporación de procesos de fundición más eficientes	5	Incremento de productividad	Mejora del desempeño técnico
Gestión logística sostenible	Aplicación parcial de logística verde	3	Optimización parcial de recursos	Nivel medio de desempeño ambiental
Transporte sostenible	Uso de vehículos convencionales	2	Incremento de emisiones	Bajo desempeño ambiental
Integración con proveedores verdes	Escasa colaboración sostenible	2	Limitada sostenibilidad de cadena de suministro	Bajo impacto positivo
Capacitación ambiental	Formación básica en manejo de residuos	3	Sensibilización organizacional	Mejora moderada del desempeño
Diversificación productiva	Producción de productos metálicos	483 5	Competitividad empresarial	Alta capacidad operativa
Capacidad operativa	Empresa con trabajadores	24 4	Productividad organizacional	Estabilidad operativa

Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Por otro lado, la Figura 2 muestra la estructura del desempeño de Fundimetales del Norte, permitiendo identificar que la estabilidad de su modelo sostenible reside en su base. La Zona Crítica (21%), simbolizada por la logística de transporte y embalaje, requiere una intervención inmediata para mitigar el uso de vehículos de combustión y cartón virgen. El centro de la pirámide, la Zona de Mejora (53%), señala que la mayoría de las actividades, como la gestión energética y la reutilización de residuos, se encuentran en un estado 'regular', demandando una transición hacia la planificación estratégica basada en datos. Finalmente, la cúspide representa la Zona de Fortaleza (26%), donde la capacidad técnica de fundición y la trayectoria en el mercado actúan como los pilares de competitividad que sustentan la viabilidad del plan de logística verde propuesto

Figura 2

Pirámide de Madurez Operativa de Fundimetales del Norte



Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Esta transición hacia un modelo de logística verde y economía circular identifican mejoras en la rentabilidad empresarial. Los resultados del análisis comparativo cuantitativo señalados en la Tabla 6 evidencian el impacto financiero y operativo de esta transición. Se destaca que la optimización en distribución y embalaje genera el mayor beneficio económico con un ahorro anual de \$68,030 (50%), mientras que la introducción del horno de inducción mitiga en un 91.6% el volumen de residuos metálicos y la gestión bajo la norma ISO 14001 logra cerrar un 57% la brecha de cumplimiento operativo.

Tabla 6

Matriz de Optimización de Recursos y Ahorro Económico

Indicador de Optimización	Estado Actual (Modelo Lineal)	Estado Propuesto (Logística Verde / EC)	Ahorro Monetario Anual (USD)	Ahorro en Porcentaje (%)
Distribución y Embalaje (Cajas)	Gasto de \$136.040 por la compra de 45.340 cajas nuevas.	Gasto de \$68.010 mediante el uso mixto de cajas nuevas y de segunda mano.	\$68.030	50%
Consumo de Energía Eléctrica	Consumo mensual de 14.800 kWh sin plan de mantenimiento.	Consumo mensual de 14.688 kWh mediante mantenimiento preventivo y calibración.	\$304,80 (Calculado sobre el 22% del costo operativo mensual).	0,76%
Gestión de Materia Prima (Viruta)	Inventario acumulado de 300 toneladas de desperdicio metálico inutilizable.	Reducción a 20-25 toneladas mediante fundición interna con horno de inducción.	Alta efectividad por sustitución de compra de hierro virgen (materia prima).	91,6% (en volumen de residuos)
Eficiencia de Procesos (ISO 14001)	Nivel de cumplimiento operativo técnico del 36%.	Capacidad de mejora continua proyectada al 93%.	Reducción de costos por evitar paradas de máquina y reparaciones de emergencia.	57% de brecha cerrada

Nota. Elaboración propia con base a la investigación.

Esta investigación en la empresa Fundimetales del Norte evidencia que la implementación de prácticas de logística verde y economía circular contribuye favorablemente a

la optimización de recursos y a la reducción del impacto ambiental dentro del sector metalmeccánico. Los hallazgos muestran que estrategias como el reciclaje de materiales metálicos, la reutilización de residuos industriales, el uso de hornos de inducción y la incorporación de tecnologías energéticamente eficientes generan mejoras operativas y ambientales significativas en la organización.

Estos hallazgos coinciden con Ya Cheng et al. (2023), quienes argumentan que la logística verde es un componente esencial para impulsar modelos de producción sostenible y para fortalecer la integración de prácticas de Economía Circular en el ámbito de las organizaciones industriales. Los investigadores proporcionaron evidencia empírica que indica que la logística verde tiene un impacto positivo en la producción sostenible y en la transición hacia modelos circulares, facilitando la optimización de procesos, la disminución de residuos y el uso eficiente de los recursos.

En el contexto particular de Fundimetales del Norte, la reutilización de residuos metálicos y virutas industriales ejemplifica una aplicación concreta de los principios de economía circular relacionados con la reducción, reutilización y reciclaje de materiales productivos. Este hallazgo se relaciona con la definición de economía circular propuesta por Kirchherr et al. (2017), quienes caracterizan este enfoque como un sistema que busca reemplazar la noción de la vida útil lineal por estrategias de reutilización, recuperación y reciclaje de materiales, con el fin de lograr sostenibilidad ambiental y eficiencia económica. Esta transformación permitió la reducción del inventario de viruta de 300 a 25 toneladas, y se encuentra respaldada científicamente por modelos de Industria 4.0. Según Bag et al. (2020), el uso de recursos tecnológicos avanzados se relaciona positivamente con la "capacidad dinámica de remanufactura y fabricación verde", explicando hasta un 97% de su varianza.

De igual manera, los hallazgos del estudio indican que la implementación de hornos de inducción y sistemas de iluminación LED ha facilitado una reducción parcial en el consumo de energía y ha mejorado la eficiencia operativa de la empresa. Este hallazgo es coherente con las aportaciones de Cheng et al. (2023), quienes sostienen que las estrategias de logística verde y producción sostenible contribuyen al ahorro energético y a la disminución de emisiones contaminantes en los procedimientos de manufactura. No obstante, Hagedorn et al. (2024) señalan que, en el sector del acero, las iniciativas de eficiencia energética por sí solas no son suficientes para cumplir con objetivos climáticos ambiciosos si no que deben ir acompañadas por una significativa eficiencia en el uso de materiales.

Desde la perspectiva de la Natural Resource-Based View (NRBV) los hallazgos obtenidos sugieren que las prácticas ambientales implementadas por la organización constituyen activos estratégicos que pueden generar ventajas competitivas sostenibles. Cheng et al. (2023) subrayan que la adopción de estrategias ecológicas, tales como la logística inversa, la reducción de desechos y la optimización del uso de energía, facilita el fortalecimiento simultáneo del

rendimiento ambiental y la competitividad empresarial. En este contexto, la organización objeto de estudio presenta avances significativos en sostenibilidad operativa, especialmente en la gestión de desechos y el reciclaje de materiales, evidenciando la implementación de una "logística inteligente" que, como afirman Sharma et al. (2023), actúa como el principal motor para que las prácticas de logística verde fomenten la verdadera adopción de la economía circular en empresas del sector manufacturero.

Sin embargo, los resultados ponen de manifiesto también limitaciones estructurales importantes en la implementación integral de la logística verde. La investigación ha identificado debilidades vinculadas a la falta de transporte sostenible, colaboración limitada con proveedores verdes, escasa medición de indicadores ambientales y carencia de certificaciones ambientales formales. Estos hallazgos contrastan en parte con estudios internacionales sobre sostenibilidad industrial, que afirman que la verdadera consolidación de modelos circulares requiere de una integración total de la cadena de suministro y la articulación entre proveedores, procesos de producción y distribución logística. Esta vulnerabilidad operativa se alinea con los resultados encontrados por Ingaldi y Ulewicz (2024), quienes identifican que los altos costos de implementación y la "ausencia de sistemas de monitoreo" constituyen las barreras más relevantes para la sostenibilidad en el ámbito metalúrgico.

El estudio llevado a cabo evidencia que el uso de cartón reciclado genera un ahorro anual proyectado de \$68,030 (lo que representa una reducción del 50% de costos en dicha categoría). Este hallazgo empírico corrobora la teoría propuesta por Gusmerotti et al. (2019), quienes, a través de un análisis de regresión, establecieron que los factores económicos son el motor estadísticamente más relevante que impulsa a las empresas a abandonar modelos lineales en favor de prácticas circulares. El caso de Fundimetales del Norte refuta la percepción generalizada de que la sostenibilidad incrementa los costos, coincidiendo con Zhou et al. (2023), quienes sostienen que la gestión de logística verde mejora el rendimiento en sostenibilidad de las pequeñas y medianas empresas al optimizar el uso de insumos.

Otro aspecto importante identificado en la investigación se refiere al rol del talento humano en la gestión ambiental de las empresas. Aunque la organización lleva a cabo capacitaciones elementales sobre la gestión de residuos y prácticas ecológicas, no se observó la existencia de una estrategia para el fortalecimiento del capital humano. Esta identificación es notable, dado que Cheng et al. (2023) evidencian que el capital humano tiene un impacto considerable en la producción sostenible y en la adopción de una economía circular en el ámbito de las organizaciones industriales. Por lo tanto, la escasa incorporación de programas formales de capacitación ambiental podría limitar el potencial de sostenibilidad a largo plazo de la empresa.

Desde la perspectiva de la Teoría de las capacidades dinámicas, los resultados obtienen una interpretación que sugiere que la empresa cuenta con algunas capacidades organizacionales

para adaptarse a procesos sostenibles; sin embargo, estas capacidades aún no se han establecido plenamente como competencias dinámicas enfocadas en la innovación verde y la sostenibilidad integral. Según Cheng et al. (2023), las capacidades dinámicas ambientales facilitan a las empresas la reorganización de recursos, el fomento de la innovación sostenible y la capacidad de respuesta a las demandas ambientales del mercado. Así, a pesar de que Fundimetales del Norte implementa iniciativas ambientales, aún necesita reforzar los procesos de innovación logística, evaluación ambiental y gestión estratégica sostenible.

Por otra parte, la investigación realizada en Fundimetales del Norte proporciona evidencia empírica valiosa en el contexto ecuatoriano, y específicamente en el sector metalmecánico de Tulcán, donde existe una escasa producción científica vinculada con la logística verde y la economía circular. Esta situación se alinea con lo señalado por Cheng et al. (2023), quienes afirman que la mayoría de los estudios sobre economía circular y logística verde han estado mayormente centrados en países desarrollados, mientras que las economías emergentes presentan un desarrollo investigativo inferior y una implementación limitada de prácticas sostenibles avanzadas.

Los resultados obtenidos del estudio permiten establecer directrices estratégicas enfocadas en reforzar la sostenibilidad empresarial a través de: la adopción de indicadores ambientales; la integración de medios de transporte sostenibles; el fortalecimiento de la logística inversa; la incorporación de proveedores ecológicos; la obtención de certificaciones ambientales; la optimización del uso energético; y el desarrollo del capital humano.

CONCLUSIONES

Fundimetales del Norte presenta una estructura de desempeño con características asimétricas: se observa una fuerte disposición administrativa hacia la mejora continua (93%) en cumplimiento con la norma ISO 14001, mientras que el control operacional técnico es insuficiente (36%). El análisis revela que el 21% de los procesos se sitúa en una "Zona Crítica, mientras que el 53% muestra un nivel de madurez "regular", lo cual indica la carencia de una planificación estratégica en logística verde.

La utilización de recursos se caracteriza por una considerable dependencia energética y una eficaz transición en la gestión de materiales. La empresa registra un consumo mensual de 14,800 kWh (equivalente a 493.33 kWh por día), lo que representa el 22% de sus costos operativos (\$15,254.82). En lo que concierne a los materiales, la inclusión del horno de inducción facilitó el procesamiento del 91.6% del inventario histórico de viruta metálica, disminuyendo el total de 300 toneladas a únicamente 25 toneladas, lo que valida una elevada capacidad de remanufactura interna.

La adopción de prácticas de logística verde y de economía circular tiene un impacto positivo significativo en el desempeño global, con un efecto agregado de +151 de acuerdo a la Matriz de Leopold, siendo los factores de empleo (25%) y calidad del agua (20%) los que más se benefician. Respecto a la eficiencia operativa, la sustitución de embalajes vírgenes por cajas de segunda mano proporciona un ahorro financiero directo del 50% (\$68,030 anuales), evidenciando que la logística verde actúa como un motor de rentabilidad y no meramente como un gasto de cumplimiento.

El fortalecimiento de la sostenibilidad depende de la transición de un modelo correctivo a uno preventivo. Las estrategias diseñadas, que se centran en el mantenimiento preventivo del horno (con un ahorro proyectado de 112 kWh mensuales) y la incorporación del reciclaje interno de subproductos, permiten abordar el punto de falla más crítico: el uso de terreno industrial (que presenta un 33% de afectación negativa).

La logística verde y la economía circular se validan no como un gasto de cumplimiento, sino como un modelo de negocio estratégico que logra un equilibrio óptimo entre rentabilidad económica y responsabilidad ambiental y social.

La logística verde y la economía circular optimizan los recursos en el sector metalmecánico al cerrar los ciclos de vida de metales que son técnicamente reciclables, a través de capacidades de remanufactura. La incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 propicia una "logística inteligente" que minimiza de manera drástica las incertidumbres en la cadena de suministro, convirtiendo la eficiencia de materiales en una fuente directa de rentabilidad y sostenibilidad para el sector.

REFERENCIAS

- Bag, S., Yadav, G., Wood, L. C., Dhamija, P., & Joshi, S. (2020). Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics. *Resources Policy*, 68, 101776. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776>
- Cerqueira-Streit, J. A., Endo, G. Y., Guarnieri, P., & Batista, L. (2021). Sustainable supply chain management in the route for a circular economy: An integrative literature review. *Logistics*, 5(4), 81. <https://doi.org/10.3390/logistics5040081>
- Cheng, Y., Masukujjaman, M., Sobhani, F. A., Hamayun, M., & Alam, S. S. (2023). Green logistics, green human capital, and circular economy: The mediating role of sustainable production. *Sustainability*, 15(2), 1045. <https://doi.org/10.3390/su15021045>
- Gao, J. Q., Li, D., Qiao, G. H., Jia, Q. R., Li, S. R., & Gao, H. L. (2024). Circular economy strategies in supply chains, enhancing resource efficiency and sustainable development goals. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 8751–8767. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31551-z>
- Gusmerotti, N. M., Testa, F., Corsini, F., Pretner, G., & Iraldo, F. (2019). Drivers and approaches to the circular economy in manufacturing firms. *Journal of Cleaner Production*, 230, 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.044>
- Hagedorn, W., Greiff, K., & Pauliuk, S. (2024). An environmental assessment framework for circular steel products. *Sustainable Production and Consumption*, 49, 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.031>
- Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, 20(4), 986–1014. <https://doi.org/10.2307/258963>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigacion_Sampieri.pdf
- Ingaldi, M., & Ulewicz, R. (2024). The business model of a circular economy in the innovation and improvement of metal processing. *Sustainability*, 16(13), 5513. <https://doi.org/10.3390/su16135513>
- Jayarathna, C. P., Agdas, D., Dawes, L., & Yigitcanlar, T. (2021). Multi-objective optimization for sustainable supply chain and logistics: A review. *Sustainability*, 13(24), 13617. <https://doi.org/10.3390/su132413617>
- Jayarathna, C. P., Dawes, L., Agdas, D., & Yigitcanlar, T. (2023). Exploring sustainable logistics practices toward a circular economy: A value creation perspective. *Business Strategy and the Environment*, 32(1), 704–722. <https://doi.org/10.1002/bse.3170>

- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Paul, A., Shukla, N., Paul, S. K., & Trianni, A. (2021). Sustainable supply chain management and multi-criteria decision-making methods: A systematic review. *Sustainability*, 13(13), 7104. <https://doi.org/10.3390/su13137104>
- Sharma, M., Luthra, S., Joshi, S., Kumar, A., & Jain, A. (2023). Green logistics driven circular practices adoption in industry 4.0 Era: A moderating effect of institution pressure and supply chain flexibility. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135284>
- Su, Z., Zhang, M., & Wu, W. (2021). Visualizing sustainable supply chain management: A systematic scientometric review. *Sustainability*, 13(8), 4409. <https://doi.org/10.3390/su13084409>
- Sun, X., Yu, H., Solvang, W. D., & Wang, Y. (2022). The application of Industry 4.0 technologies in sustainable logistics: A systematic literature review (2012–2020) to explore future research opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 9560–9591. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17693-y>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of sustainable enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Zhou, B., Siddik, A. B., Zheng, G. W., & Masukujjaman, M. (2023). Unveiling the Role of Green Logistics Management in Improving SMEs' Sustainability Performance: Do Circular Economy Practices and Supply Chain Traceability Matter? *Systems*, 11(4), 198. <https://doi.org/10.3390/systems11040198>