

Revista TEINNOVA

ISSN: 2500-7211

REVISTA TEINNOVA
9
EDICIÓN
REVISTA TEINNOVA



BIOECONOMÍA Y TERRITORIO

UNA MIRADA AL TERRITORIO DESDE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN



SENNNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

CENTRO DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL - RISARALDA

Editorial

MSc.Ing . Juan Carlos García Buitrago

Dinamizador Sistema de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sennova - SENA

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

jcgarcia@sena.edu.co

Gestión Editorial

MSc.Ing. Martha Elizabeth Cortés Rico

SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

mcortesrico@misena.edu.co.

Iván Santacruz

SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

imsantacruz@sena.edu.co

Carlos Andrés Osorio Valencia

SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

carlos_aosoriov@soy.sena.edu.co

Gestor Editorial

MSc.Ing . Juan Carlos García Buitrago

Dinamizador Sistema de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sennova - SENA

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

jcgarcia@sena.edu.co

Novena Edición: 2025

HECHO EL DEPÓSITO DE LEY

Depósito Legal

ISSN 2500-7211

Esta obra está licenciada bajo CC BY-NC-SA 4.0.

Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI - Regional Risaralda

Ruta de *Lectura*

Editorial 9na Edición Revista TEINNOVA

4

Diseño y manufactura de un banco didáctico de anestesia: estrategias metodológicas para la formación en mantenimiento de equipos médicos.

5

Design and manufacturing of an anesthesia didactic bench: methodological strategies for Training in medical equipment maintenance.

Logística inversa de residuos médicos: uso de investigación de operaciones en computación.

13

Reverse logistics of medical waste:
use of operations research in computer science.

Percepción del emprendimiento y empresarismo en aprendices del sena: análisis de conocimientos, espacios y competencias.

21

Perception of entrepreneurship and business development among sena apprentices: analysis of knowledge, spaces, and competencies.

Comportamiento mecánico de maderas plásticas recicladas como material estructural en ecodomos.

30

Mechanical behaviour of recycled plastic lumber
as a structural material in ecodomes.

Impacto de los procesos formativos en la competitividad profesional: Norma ISO/IEC 17024.

41

Impact of training processes on professional competitiveness:
ISO/IEC 17024 standard.

Ruta de *Lectura*

Generación de un modelo para el análisis del impacto de la comunicación sobre la productividad.

Development of a model for analyzing the impact of communication on productivity.

48

Aplicación de investigación de operaciones en recolección textil con logística inversa y programación lineal.

Application of operations research in textile collection with reverse logistics and linear programming.

54

Análisis de la percepción de competencias digitales por parte de los aprendices de los programas de Gestión Administrativa del Centro de Comercio y Servicios.

Analysis of the perception of digital skills by apprentices of the administrative management programs of the trade and services center.

62

Impacto socioambiental de la IO y logística inversa en la industria textil.

Socio-environmental impact of IO and reverse logistics in the textile industry.

72

Fase de análisis de modelos de aprendizaje automático implementados en pruebas académicas estandarizadas.

Analysis phase of machine learning models implemented in standardized academic tests.

79

Protocolo de ensayos mecánicos y físicos para maderas plásticas según normas colombianas.

Protocol of mechanical and physical tests for plastic lumber according to colombian standards.

93

Editorial

9^{na} Edición Revista TEINNOVA

Para el SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial es un placer presentar la 9na edición de la revista **TEINNOVA** – Una Mirada de Innovación. Desde la maravillosa región del Eje Cafetero, en Colombia, se acentúa un espacio académico para el encuentro y la reflexión, alrededor de los procesos investigativos.

En esta edición el lector encontrará diversas temáticas, desde bioeconomía y territorio, modelos de innovación para la comunicación organizacional, hasta aspectos de logística inversa propuestos por diferentes autores nacionales e internacionales.

Esta edición buscó reunir estrategias y nuevas tendencias mundiales, en el uso de las tecnologías disruptivas, bioeconomía y territorio con un enfoque hacia la sostenibilidad, presentar el desarrollo de tecnologías y procesos innovadores para la transformación de recursos, así como en la implementación de nuevas técnicas de utilización de maderas plásticas, diseño de prototipos biomédicos y gestión eficiente del uso de recursos naturales y la implementación de tecnologías limpias.

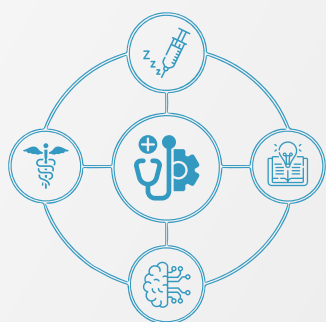


MSc. Ing. Juan Carlos García Buitrago
Editor

Agradecemos a todos los autores por haber puesto en consideración sus trabajos y plasmar los avances, desarrollo y evolución, de igual forma un especial agradecimiento a todos los pares ciegos que hacen posible que se garantice la rigurosidad escritural en el proceso de gestión editorial.

Sin nada más por añadir, esperamos que esta lectura les motive a seguir aprendiendo.

¡A disfrutar cada palabra!



Diseño y manufactura de un
BANCO DIDÁCTICO DE ANESTESIA:
*Estrategias metodológicas para la formación
en mantenimiento de equipos médicos*

DESIGN AND MANUFACTURING OF AN ANESTHESIA DIDACTIC BENCH:
METHODOLOGICAL STRATEGIES FOR TRAINING IN MEDICAL EQUIPMENT MAINTENANCE

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg. Pablo Andres Erazo Muñoz

SENA, Centro de Automatización Industrial Manizales
paerazom@sena.edu.co



Mg. Marcelo Noreña Ceballos

SENA, Centro de Automatización Industrial Manizales
mnorena@sena.edu.co



Mg. Mauricio Giraldo García

SENA, Centro de Automatización Industrial Manizales
mgiraldog@sena.edu.co



1. Resumen

El proyecto se enfoca en el diseño y desarrollo de un equipo de anestesia didáctico con el objetivo de mejorar la formación en el área de mantenimiento de equipos biomédicos, específicamente en anestesiología. Los procedimientos quirúrgicos que requieren sedación total del paciente son controlados por máquinas de anestesia general, cuya operación y mantenimiento demandan un alto grado de responsabilidad tanto del anestesiólogo como del técnico encargado de su inspección y mantenimiento diario. Actualmente, muchos de los equipos utilizados para la enseñanza en el campo de la salud carecen de un enfoque pedagógico-didáctico, lo que dificulta la comprensión de los sistemas complejos involucrados.

El equipo didáctico incluye una serie de sistemas interrelacionados que reflejan los componentes de una máquina de anestesia real, como fuentes de gases medicinales, eliminadores de CO₂, paneles de suministro de anestésicos, sistemas de inhalación y exhalación, sistemas de barrido de gases, y sistemas neumáticos con válvulas y alarmas. Estos componentes son esenciales para la enseñanza efectiva del manejo y mantenimiento de las máquinas de anestesia. Además, el proyecto también subraya la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos biomédicos, conforme a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Palabras Clave: Equipo de anestesia didáctico, formación en mantenimiento, aprendizaje práctico y teórico, procedimientos quirúrgicos, mantenimiento preventivo y correctivo, OMS.

1.1. Abstract

The project focuses on the design and development of a didactic anesthesia equipment with the objective of improving training in the area of biomedical equipment maintenance, specifically in anesthesiology. Surgical procedures that require total sedation of the patient are controlled by general anesthesia machines, whose operation and maintenance demand a high degree of responsibility from both the anesthesiologist and the technician in charge of their daily inspection and maintenance. Currently, much of the equipment used for teaching in the healthcare field lacks a pedagogical-didactic approach, making it difficult to understand the complex systems involved.

Didactic equipment includes a number of interrelated systems that mirror the components of an actual anesthesia machine, such as medical gas sources, CO₂ eliminators, anesthetic delivery panels, inhalation and exhalation systems, gas sweep systems, and pneumatic systems with valves and alarms. These components are essential for the effective teaching of anesthesia machine operation and maintenance. In addition, the project also emphasizes the importance of preventive and corrective maintenance of biomedical equipment in accordance with World Health Organization (WHO) guidelines.

Keywords: didactic anesthesia equipment, maintenance training, practical and theoretical learning, surgical procedures, preventive and corrective maintenance, WHO.

2. Introducción

Un procedimiento quirúrgico que requiera la sedación total del paciente es controlado por una máquina de anestesia general, su manejo y mantenimiento exige un alto grado de responsabilidad, por parte del anestesiólogo y del técnico encargado de la inspección diaria y el mantenimiento de la misma.

El diseño de un equipo de anestesia didáctico representa un avance significativo en el ámbito de la formación en mantenimiento

de equipo biomédico, proporcionando una herramienta de soporte educativo que facilita el aprendizaje de los estudiantes y profesionales. En la actualidad, la mayoría de los equipos utilizados para la enseñanza en el campo de la salud en el país carecen de un enfoque pedagógico-didáctico, lo que dificulta la comprensión profunda de los complejos sistemas involucrados, especialmente en áreas críticas como la anestesiología. Las máquinas de anestesia, por ejemplo, son equipos altamente sofisticados que requieren un manejo preciso de los procesos de adquisición, regulación y dosificación de anestésicos para garantizar la seguridad del paciente durante procedimientos quirúrgicos.

El desarrollo de una máquina de anestesia con un diseño didáctico tiene como objetivo central facilitar el proceso de aprendizaje en la operación y mantenimiento de estos dispositivos, integrando principios de mecánica, ingeniería y neumática. Este enfoque interdisciplinario no solo mejora la comprensión teórica, sino que también proporciona una experiencia práctica más accesible y comprensible para los estudiantes. La precisión de la máquina es fundamental, ya que su propósito principal es garantizar la administración de una cantidad exacta de gas anestésico, asegurando su correcta dosificación y absorción pulmonar para mantener la seguridad del paciente.

El diseño didáctico de esta máquina de anestesia incluye múltiples sistemas interrelacionados que reflejan los componentes de un equipo de anestesia real. Estos sistemas incluyen: una fuente de gases medicinales (O₂, N₂O y aire), un eliminador de CO₂, un panel de suministro de agentes anestésicos, un sistema de inhalación y exhalación, un sistema de barrido de gases y suministro de oxígeno rápido, un sistema neumático con válvulas, un dosificador de O₂, N₂O y aire, un sistema de alarmas, y una salida para el exceso de gases en la vía aérea.

Es importante destacar que los gases medicinales utilizados en anestesia, como el O₂ y el aire, son esenciales en la mayoría de los procedimientos, mientras que el N₂O, aunque

comúnmente utilizado, debe ser manejado con precaución, especialmente en cirugías extensas o en cuidados intensivos debido a sus posibles efectos adversos.

Desde una perspectiva metodológica, el proyecto implica un análisis exhaustivo del funcionamiento del sistema de anestesia, el diseño de sus elementos mediante software especializado como SolidWorks, la disposición adecuada de estos elementos y su montaje. Como resultado, se obtiene no solo un manual de operaciones detallado para la máquina de anestesia, sino también un diseño y simulación completos de los componentes, proporcionando así una herramienta didáctica integral que mejora la calidad de la formación en el área de biomedicina.

Este proyecto no solo busca mejorar la formación mediante la creación de equipos más accesibles y fáciles de entender, sino también preparar mejor a los futuros profesionales de la salud para manejar con competencia y seguridad los complejos dispositivos médicos que encontrarán en su práctica clínica. En este sentido, el desarrollo de un equipo de anestesia didáctico es una innovación que contribuye al fortalecimiento del proceso educativo y, por ende, a la mejora de la atención médica en general.

La organización mundial de la salud (2012) define el equipo biomédico como “dispositivo médico que exige calibración, mantenimiento, reparación, capacitación del usuario y desmantelamiento, actividades que por lo general están a cargo de ingenieros clínicos”. (Health Organization, 2012, p. 10). Cada uno de estos equipos biomédicos deben estar vinculados a un plan de mantenimiento anual hospitalario capaz de garantizar el buen funcionamiento de cada uno de los servicios hospitalarios, la dependencia de estos equipos sobre la vida humana permite caracterizar estos bienes como dispositivos de efecto directo. Según la OMS (2012) “el mantenimiento de los equipos médicos se puede dividir en dos principales categorías: inspección y mantenimiento preventivo (IMP) y mantenimiento correctivo (MC)” (Health Organization, 2012, p. 14).

3. Materiales

Para el desarrollo del equipo de anestesia didáctico, se utilizaron los siguientes materiales y recursos:

3.1. Software de Diseño y Simulación.

SolidWorks: Para el diseño y modelado tridimensional de todos los componentes del equipo de anestesia. Este software permitió la creación de prototipos virtuales detallados, facilitando el análisis y optimización de los elementos antes de la fabricación.

3.2. Componentes Mecánicos y Neumáticos.

Válvulas antirretorno: Utilizadas para asegurar el flujo unidireccional de gases, evitando la mezcla de gases exhalados con los frescos.

Distribuidores regulados: componentes clave para controlar la presión y flujo de gases medicinales hacia el paciente.

Reguladores de segunda etapa: Dispositivos que ajustan la presión de los gases a niveles seguros y precisos antes de su administración al paciente.

Válvulas normal/abierta y cerrada: Para la gestión del flujo de gases en diferentes secciones del equipo.

Manómetros: Instrumentos para medir y visualizar la presión de los gases en diferentes puntos del sistema.

3.3. Componentes Electrónicos.

Sensores de presión y flujo: Para monitorear continuamente los parámetros de los gases medicinales durante su circulación por el equipo.

PLC siemens: Para la automatización y control de los sistemas neumáticos y de alarmas.

Pantalla LCD: Para la visualización de los datos críticos como presiones, concentraciones de gases, y alertas del sistema.

3.4. Materiales de Fabricación.

Aluminio y Acero Inoxidable: Seleccionados por su durabilidad, resistencia a la corrosión, y facilidad de manipulación durante la fabricación de los componentes mecánicos.

Polímeros de Grado Médico: Utilizados en partes del sistema que entran en contacto directo con gases medicinales, garantizando la biocompatibilidad y la seguridad del paciente.

A continuación, se relacionan las tablas que describen los elementos que se plantean para desarrollo de la máquina de anestesia

Tabla 1.
Componentes electrónicos

Cantidad Requerida	Elemento	Característica
1	PLC S7-1200	1214C dc/dc/dc
1	Módulo de expansión para PLC siemens S7-1200 1214C 6ES7 214-1AG40-0XB0	4 in analógicas, 2 output analógicas
1	Pantalla siemens	Confort HMI 12" TP 1200 Confort
1	Brazo suspendido	Brazo suspendido para pantalla confort 12" TP 1200
2	Válvulas proporcionales reguladoras de presión VPPE con display	0 ... 10V Margen de regulación de la presión 0,06 ... 6 bar N° de artículo: 557772 Tipo: VPPE-3-1-1/8-6-010-E1 (Comandadas con salidas analógicas) Conector tipo recto zócalo para control del VPPE
3	Transductores de presión	0 a 10 bares

Cantidad Requerida	Elemento	Característica
5	Electroválvulas 2/2 vías de accionamiento eléctrico	0 ... 60 psi, conmutación 0 a 24 Vdc (modulo que contenga 2 válvulas)
3	Flujómetros digitales	10 l/m, 12 l/m, 15 l/m
3	Sensores de caudal STAII	Unidireccional Max 50 LPM racores para conexiones de 4 mm salida eléctrica PNP/BA PNP, NPN, y analógica de 0 .. 10 v Rango: 0 - 50 LPM Anclaje en perfil DIN
4	Sensores de presión de segunda etapa	Tipo PNP, NPN de 0 - 10 bares P10R Festo
1	Manifold vaporizadores	Sevotec5 isotec5 (ohmeda)
3	Flujómetros análogos	5 / 70 lpm
3	Válvulas reguladoras de presión con manómetro	LRMA-QS- en ambos lados con racores QS para diámetro exterior de tubo flexible de 4 mm. Regulación de presión de 1 .. 8 bares
1	Analizador de gases anestésicos	Isoflurano, sevoflurane
1	Software TIAPORTAL	win CC, PLCSIM, Runtime. V13 o superiores
2mt	Manguera verde o blanca siliconada	1/4"
2mt	Manguera verde o blanca siliconada	1/8"
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/4" #6
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/8" #4
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN negro	1/4" #6
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/8" #4
10	Racores neumáticos en codo roscados	Conector en codo Festo de acople rápido para manguera #4 1/8 serie estándar
10	Racores neumáticos en codo roscados	Conector en codo Festo de acople rápido para manguera #6 1/4 serie estándar
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 4mm a 4mm
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 6mm a 6mm
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 6mm a 4mm

Nota. Elaboración propia.

4. Métodos

Para el desarrollo de este proyecto es necesario, un estudio previo para determinar los parámetros y variables con que trabajan las máquinas de anestesia actuales. Utilizando electroválvulas, sensores, traductores de presión, válvulas reguladoras de presión proporcionales y estranguladoras de caudal, se desea comandar un bloque de programa lógico para la regulación de segunda etapa y dosificación de gases medicinales.

Mediante un PLC se realizará la ejecución de los bloques del programa incluyendo el control PID de las señales de presión y flujo. Para interactuar a través de toda la estructura de la maquina se ve necesario implementar un panel eficiente en el cual se podrán realizar simulaciones de fallas y corrección de estas. Finalmente, con este prototipo se preñen realizar prueba del porcentaje del gas anestésico, realizar una guía de fallas y un manual de servicio. Se realizó una investigación exhaustiva sobre el funcionamiento de las máquinas de anestesia tradicionales, enfocado en sus sistemas neumáticos y electrónicos.

Basado en la información recopilada, se desarrolló un diseño conceptual que integra los principios de neumática aplicados a equipos biomédicos. Se identificaron los componentes clave del sistema y se definieron sus interacciones, asegurando que el equipo final cumpla con los requisitos de precisión y seguridad.

Utilizando SolidWorks, se realizaron modelos 3D detallados de todos los componentes del equipo de anestesia didáctico. Se llevaron a cabo simulaciones para analizar el comportamiento de los gases medicinales, el flujo a través de las válvulas, y la respuesta del sistema ante diferentes escenarios operativos.

Se construyó un prototipo físico a escala basado en el modelo 3D. Este prototipo permitió validar el diseño y realizar ajustes en tiempo real, optimizando la disposición de los elementos y la ergonomía del equipo.

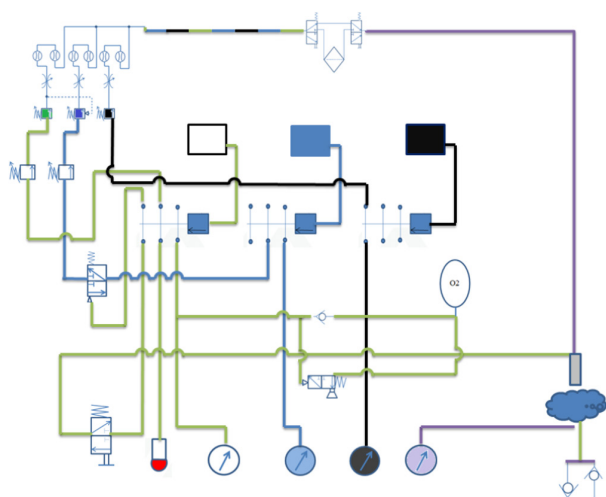
Se realizaron pruebas de funcionamiento en condiciones controladas para evaluar la precisión del sistema de dosificación de gases y la efectividad de las válvulas en la regulación del flujo.

A partir de los datos obtenidos durante la fase de prototipado, se elaboró un manual de operaciones detallado. Este manual incluye instrucciones claras sobre la instalación, operación y mantenimiento del equipo, además de protocolos de seguridad para evitar errores comunes durante su uso didáctico.

Se llevaron a cabo pruebas adicionales con usuarios finales, incluyendo estudiantes y profesionales de la biomedicina, para evaluar la efectividad didáctica del equipo. Se recolectaron retroalimentaciones que se utilizaron para realizar ajustes finales en el diseño y en los materiales educativos asociados.

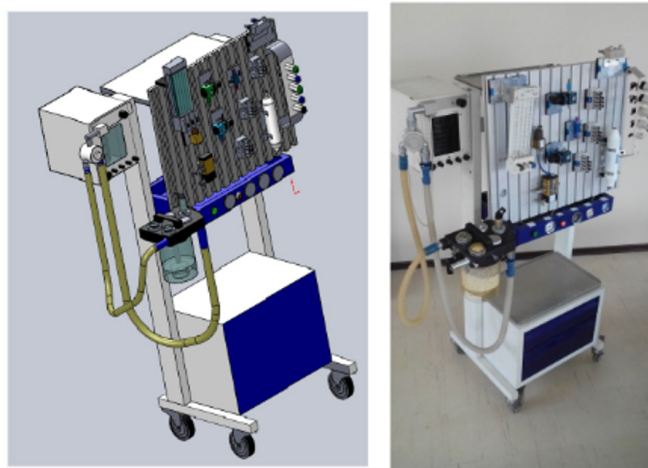
Basado en (Generra Medical, n.d.) se construyó un el esquema neumático que a continuación se detalla:

Figura 1.
Plano neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 2.
Diseño y montaje preliminar de sistema neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.
Modulo con montaje Neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 4.
Máquina de anestesia didáctica con PLC y válvulas de entrada de gases



Nota. Elaboración propia.

5. Resultados

El diseño del prototipo sugiere que es capaz de administrar gases medicinales con alta precisión, lo que permitiría un control adecuado de la dosificación y garantizaría la seguridad del paciente en entornos controlados.

Evaluación Didáctica:

- Se llevaron a cabo pruebas con estudiantes y profesionales de biomedicina, quienes utilizaron el equipo en entornos controlados. Los resultados demostraron una mejora significativa en la operación de armado y desarmado de las máquinas de anestesia, así como en la comprensión de los conceptos clave relacionados con la visualización en bloques de un sistema.

6. Discusión

- Los usuarios reportaron que el equipo didáctico facilitó el aprendizaje práctico y teórico, permitiendo una mejor visualización y comprensión de los flujos de gases, el funcionamiento de las válvulas, y la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo.

Desarrollo del Manual de Operaciones: detalladas para la instalación, operación y mantenimiento del equipo didáctico, que incluirán guías de seguridad y recomendaciones para evitar errores comunes durante su uso.

Optimización del Diseño:

- A partir de la retroalimentación recibida durante la fase de pruebas, se realizaron ajustes finales en el diseño del equipo, mejorando la ergonomía y accesibilidad de los controles, así como la claridad de las interfaces de usuario

- Este análisis comparativo permitió identificar áreas clave en las que el prototipo optimiza la operación y el control de los equipos, destacando su potencial para mejorar la precisión y la seguridad en entornos clínicos.

7. Conclusiones

- El equipo de anestesia didáctico desarrollado en este proyecto representa un avance significativo en la educación biomédica, proporcionando una herramienta efectiva para el aprendizaje de técnicas críticas de anestesiología y mantenimiento de equipos médicos. Su diseño interdisciplinario, que integra mecánica, ingeniería y neumática, ofrece una experiencia de aprendizaje completa y accesible.

- Al simular con precisión el funcionamiento de una máquina de anestesia real, este equipo permite a los estudiantes y profesionales entrenarse en un entorno seguro, reduciendo el riesgo de errores en situaciones clínicas reales. Además, la familiarización con los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo contribuye a prolongar la vida útil de los equipos médicos y a garantizar su funcionamiento óptimo.

- El equipo didáctico es altamente aplicable en instituciones educativas y hospitales que buscan mejorar la capacitación de su personal en el manejo de equipos biomédicos. Su uso puede estandarizarse como parte de los programas de formación en biomedicina, asegurando que los futuros profesionales estén mejor preparados para enfrentar los desafíos del entorno clínico.

- El éxito del prototipo sugiere un gran potencial para la escalabilidad del proyecto. Con ajustes menores, el diseño puede adaptarse para incluir otros equipos biomédicos complejos, ampliando así el impacto de la herramienta didáctica en diferentes áreas de la medicina.

8. Referencias bibliográficas

Generra Medical. (n.d.). Manual de operación y diagramas. Generra Medical .

Health Organization, W. (2012). Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44830/9789243501536_spa.pdf

Dorsch, J. A., & Dorsch, S. E. (2012). Understanding anesthesia equipment (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

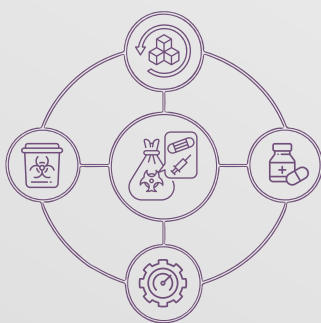
Ehrenwerth, J., Eisenkraft, J. B., & Berry, J. M. (2013). Anesthesia equipment: Principles and applications (2nd ed.). Elsevier.

Miller, R. D., Eriksson, L. I., Fleisher, L. A., Wiener-Kronish, J. P., Cohen, N. H., & Young, W. L. (Eds.). (2014). Miller's anesthesia (8th ed.). Elsevier Saunders.

Pawar, D. K., & Upadya, M. (2020). Maintenance of anesthesia equipment: What the anesthesiologist needs to know. Indian Journal of Anesthesia, 64(10), 847-855. https://doi.org/10.4103/ija.IJA_729_20

Wang, J. J., & Guo, Q. L. (2016). Performance and maintenance of modern anesthesia machines. Journal of Clinical Monitoring and Computing, 30(6), 797-805. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9790-3>

Fecha de recepción: 22/11/2024
Fecha de aceptación: 13/02/2024



Logística inversa de **RESIDUOS MÉDICOS:**

Uso de investigación de operaciones en computación

REVERSE LOGISTICS OF MEDICAL WASTE: USE OF
OPERATIONS RESEARCH IN COMPUTER SCIENCE

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg.Ing. Manuel Méndez Flórez

Tecnológico de Costa Rica
manmendez@itcr.ac.cr



Est. Santiago Castrillo Moncada

Tecnológico de Costa Rica
santiagocastrillo43@gmail.com



Est. Ana Laura Mora Arias

Tecnológico de Costa Rica
ana.moraar2@gmail.com



Est. José Andrés Vargas Serrano

Tecnológico de Costa Rica
jose.vargasser18@gmail.com



Est. Derinia Zhang Gu

Tecnológico de Costa Rica
deriniashanggu@gmail.com



Palabras clave: desechos sanitarios, logística inversa, modelo matemático, optimización, residuos médicos.

1.1. Abstract

Reverse logistics has emerged as a practice that responds to the growing need to improve the way in which waste generated in different industries is managed, whether for economic, environmental or legal reasons. In the case of medical waste, particular care must be taken due to its hazardous nature, so proper management of this type of waste not only has economic and environmental implications, but also safety implications. This article develops a literature review to identify and synthesize the main solutions proposed in reverse logistics processes related to this type of waste, as well as the proposed mathematical models and their main considerations.

The review showed an increase in the publication of articles on this topic after the COVID-19 pandemic and identified that Mixed Integer Linear Programming (MILP) is the predominant technique to address the creation of reverse logistics networks in this field, which requires optimal planning to collect, separate, treat, recycle and dispose of medical waste.

Keywords: healthcare waste, reverse logistics, mathematical model, optimization, medical waste.

2. Introducción

Las prácticas amigables con el medio ambiente dentro de todas las áreas de producción han ido aumentando en los últimos años, ya sea por presiones sociales o legislaciones aprobadas en distintos países. Un informe del United Nations Environment Programme (UNEP, 2024) estima que la cifra de residuos sólidos urbanos generados anualmente pasará de 2.300 millones de toneladas en el año 2023 a 3.800 millones de toneladas para el año 2050. Esta cantidad inmensa de residuos ha impulsado la adopción de diferentes estrategias que permitan gestionarlos de una manera más

1. Resumen

La logística inversa ha surgido como una práctica que responde a la necesidad creciente de mejorar la manera en que se gestionan los residuos generados en distintas industrias, ya sea por motivos económicos, ambientales o legales. En el caso de los residuos médicos se debe tener particular cuidado debido a su naturaleza peligrosa, por lo que una gestión adecuada de este tipo de residuos no solamente tiene implicaciones económicas y ambientales, sino también de seguridad. El presente artículo desarrolla una revisión literaria para identificar y sintetizar las principales soluciones propuestas en los procesos de logística inversa relacionada a este tipo de desechos, así como los modelos matemáticos propuestos y sus principales consideraciones.

La revisión mostró un aumento en la publicación de artículos sobre este tema después de la pandemia de COVID-19 y se identificó que la Programación Lineal Entera Mixta (MILP, por sus siglas en inglés) es la técnica predominante para abordar la creación de redes de logística inversa en este ámbito, el cual requiere una planificación óptima para recolectar, separar, tratar, reciclar y desechar residuos médicos.

sostenible, entre las cuales se encuentra la logística inversa.

Sin embargo, los residuos urbanos, que consisten en desechos producidos desde un entorno doméstico hasta aquellos generados por pequeñas empresas y proveedores de servicios (UNEP, 2024), no son la única fuente de restos que han generado preocupación ambiental y económica. Entre otros tipos se pueden incluir los desperdicios agrícolas, industriales y, los que son el enfoque de esta revisión literaria, los residuos sanitarios.

La agencia U.S. Environmental Protection Agency (2024) define los residuos médicos o sanitarios como desechos producidos en lugares de atención sanitaria, los cuales incluyen hospitales, consultorios médicos, bancos de sangre, clínicas dentales o laboratorios, entre otros. Dado el total de desperdicios sanitarios producidos, se calcula que un 15% son materiales que pueden resultar infecciosos, tóxicos o radioactivos (World Health Organization, 2018) y gestionarlos adecuadamente es de suma importancia para no exponer a los trabajadores de esta área y a la sociedad en general a un gran peligro.

Como fue mencionado anteriormente, la logística inversa es una de las prácticas que responde a la necesidad creciente de gestionar de una mejor manera los residuos generados en distintas industrias. En general, se puede decir que esta consiste en un proceso que incluye una etapa de recolección de los productos usados, luego la clasificación de estos para determinar su estado y finalmente el procesamiento de los materiales, el cual puede involucrar actividades como reutilización, reacondicionamiento, recuperación de piezas o eliminación de desechos (Barker; Zabinsky, 2008).

Por otra parte, la logística inversa que involucra residuos médicos puede ser particularmente retadora debido a la naturaleza peligrosa que estos desperdicios podrían presentar. Es por esta razón que en el presente artículo se pretende realizar una revisión de literatura enfocada en identificar las principales soluciones propuestas en los

procesos de logística inversa relacionada a residuos médicos. El objetivo es proporcionar una visión de los métodos actuales utilizados para optimizar la gestión de este tipo de residuos y sus principales consideraciones.

El resto del artículo presenta la siguiente estructura: en la sección 2 se describe la metodología utilizada, luego se presentan los principales hallazgos en la sección 3 y en la sección 4 se incluyen las conclusiones basadas en los resultados de la revisión literaria.

3. Metodología

El presente artículo presenta una revisión literaria sistemática sobre el tema de logística inversa en la gestión de residuos médicos, con el propósito de sintetizar el conocimiento en este campo que se relaciona con la investigación de operaciones y la computación. La búsqueda y selección de literatura para llevar a cabo esta revisión se describe a continuación.

3.1. Estructura de la búsqueda bibliográfica.

Uno de los puntos más importantes fue determinar las bases de datos que se iban a consultar para la búsqueda de la literatura debido a la necesidad de acceder a trabajos de alta calidad, por lo que se decidió hacer uso de bases de datos de renombre como Web of Science y Scopus.

Luego de elegir las bases de datos por consultar, se realizó una búsqueda para encontrar el material necesario en la cual se utilizaron las palabras clave “reverse logistics” y “medical waste”, además se especificó que los años de publicación de los resultados debían estar en el rango de 2016-2024 (incluidos).

3.2. Criterios de selección.

Para que fuera seleccionado, un artículo debía:

1. Ser de acceso libre dentro de las bases de datos Web of Science y Scopus.
2. Haber sido publicado en una revista revisada por pares.

3. Abordar directamente temas relacionados con la logística inversa en la gestión de residuos médicos.

4. Presentar un modelo matemático para optimizar algún aspecto de la gestión de logística inversa en el área de residuos médicos.

5. Presentar un caso de estudio en el que ponga a prueba el modelo matemático.

3.3. Método para la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados.

La búsqueda inicial en Web of Science y Scopus dio como resultado 68 y 53 artículos, respectivamente. Tras descartar aquellos que no eran de acceso libre, estos números disminuyeron a 41 artículos en Web of Science y 28 artículos en Scopus. La información básica de cada artículo fue organizada en una hoja de cálculo para proceder con la fase de evaluación. Esta evaluación se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Identificación de duplicados: Entre los resultados de ambas bases de datos habían 21 en común, por lo que en total se debían evaluar 48 trabajos distintos.

2. Primera etapa de descarte: Se realizó una revisión de los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos. Este proceso permitió identificar rápidamente aquellos artículos que no estaban relacionados con el tema de la revisión, tras lo cual se descartaron 9 artículos.

3. Evaluación detallada: Los 39 artículos que superaron la primera etapa de descarte fueron sometidos a una lectura completa para verificar que cumplieran con el resto de los criterios de selección, tras lo que se seleccionaron 15 artículos.

3.4 Análisis de la variabilidad, fiabilidad y validez de los artículos.

La variabilidad de los artículos seleccionados fue evaluada en términos de

los enfoques metodológicos empleados, el país de los autores o instituciones asociadas al artículo y los aspectos específicos de la logística inversa que cada artículo abordaba.

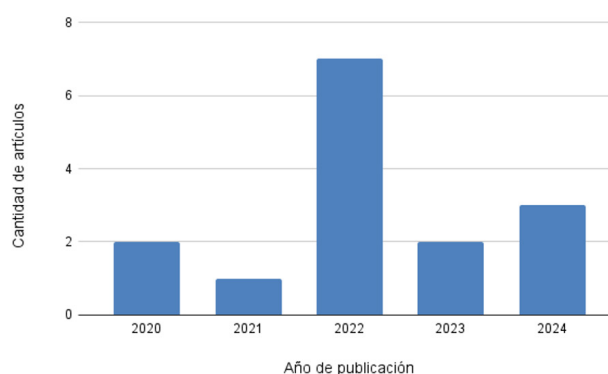
Para evaluar la fiabilidad de los artículos se evaluó la revista en la cual se habían publicado, se examinó si los trabajos proporcionaban suficientes detalles metodológicos y se consideró la presencia o ausencia de declaraciones de conflictos de interés.

La validez de los artículos seleccionados fue evaluada según la adecuación de los métodos y modelos para resolver el problema planteado. Además, se evaluó la aplicabilidad de los resultados a otros contextos o situaciones fuera de los escenarios presentados en los casos de estudio.

4. Desarrollo y discusión

A través del análisis de los artículos seleccionados se encontró que la mayoría de los estudios desarrollaban sus modelos en un contexto de emergencia sanitaria. Este enfoque se dio principalmente como una respuesta a la situación vivida con la pandemia de COVID-19, donde el volumen de residuos producidos y la presión sobre los sistemas de salud pusieron en evidencia la necesidad de optimizar la logística inversa de residuos médicos. En la Figura 1 se puede observar la cantidad de artículos que fueron publicados por año, según los que fueron incluidos en la revisión.

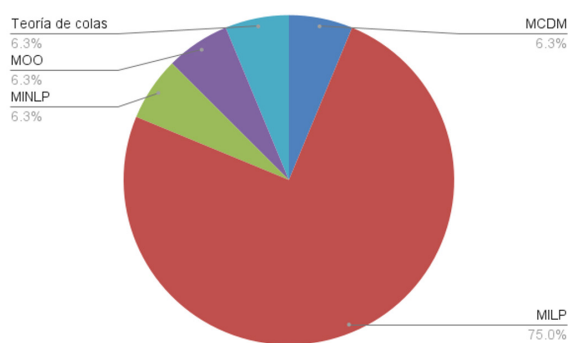
Figura 1.
Número de artículos publicados por año que fueron incluidos en la revisión



Nota. Elaboración propia.

En cuanto a los modelos matemáticos, se encontró que la técnica más usada para desarrollar las redes de logística inversa era la Programación Lineal Entera Mixta (MILP), con la que normalmente se buscaba minimizar costos y, dependiendo del modelo, también se buscaba optimizar otros aspectos, principalmente el riesgo de exposición a residuos médicos infecciosos (IMW, por sus siglas en inglés). En la Figura 2 se observa el porcentaje de modelos que usaron determinadas técnicas, entre las cuales están la Programación No Lineal Entera Mixta (MINLP), Análisis de Decisiones con Criterios Múltiples (MCDM) u Optimización Multiobjetivo (MOO).

Figura 2.
Técnicas utilizadas en los modelos matemáticos



Nota. Elaboración propia.

Además, se identificó que las estructuras de redes de logística inversa que tratan con residuos médicos deben considerar la recolección, el tratamiento, el desecho y el reciclaje, en caso de que este último sea posible por la naturaleza de los residuos. Otras de las características que se deben considerar en el área de logística inversa con desechos sanitarios se exponen a continuación.

4.1. Tiempos de espera.

Un aspecto importante a la hora de tratar residuos médicos son los tiempos de espera, debido a que estos tipos de residuos no deben ser almacenados o estar en contacto con personas por mucho tiempo. En el caso de Govindan et al. (2022) desarrollaron un modelo que no solamente utiliza MILP, sino que incluye teoría de colas con un sistema

M/M/c para gestionar el tiempo de espera de los camiones que transportan IMW cuando llegan a los centros de tratamiento. Por su parte, uno de los tres objetivos del modelo MINLP propuesto por Mei et al. (2022) era minimizar el tiempo para desechar los residuos en una red de reciclaje durante una epidemia, este modelo considera los cuellos de botella que se generan cuando la cantidad de residuos médicos excede la capacidad de eliminación de los centros existentes.

4.2. Instalaciones temporales.

Los artículos que trabajaban modelos bajo emergencias sanitarias públicas suelen coincidir en la necesidad de instalaciones temporales, ya sea para el tratamiento o para el desecho de los residuos. Por ejemplo, el modelo MILP de Kargar et al. (2020) consideraba el costo de instalación de centros de tratamiento de residuos temporales, además de la operación de los centros existentes y temporales para minimizar el costo de la logística inversa. En el caso de Yu et al. (2020) presentaron un modelo MILP que buscaba optimizar la ubicación de instalaciones temporales y las estrategias de transporte. Entre los costos considerados incluyeron el costo de asentamiento de instalaciones temporales para tratar los residuos y su costo de operación.

Similarmente, Zhao et al. (2021) propusieron un modelo MILP robusto bi-objetivo para gestionar los IMW donde consideran gastos en la ubicación de instalaciones temporales. Por su parte, Luo y Liao (2022) presentaron un modelo MILP que introduce centros de procesamiento móviles (MPC) para cambiar de manera flexible el diseño de la red de logística inversa, debido a la impredecibilidad de una epidemia. En el caso de Xue et al. (2023) desarrollaron un diseño de una arquitectura con tres módulos con una clasificación y monitoreo en la selección de sitios de almacenamiento.

4.3. Predicción de residuos generados.

Un punto complicado en los modelos de logística inversa que gestionan residuos

médicos es determinar la cantidad de residuos que serán generados, especialmente si se trata de una situación como una epidemia. Por este motivo, se observó el uso de enfoques estocásticos para lidiar con la incertidumbre, como en el caso de Govindan et al. (2022).

Esto también sucedió con el modelo de Govindan et al. (2024) que buscaba estructurar una red inversa resiliente para la gestión de los desechos sanitarios en casos de crisis sanitarias y con Morjéne et al. (2022), cuyo modelo MILP desarrollaba una red de logística inversa para mascarillas desechables durante un brote epidémico. En el caso de Nosrati-Abarghoee et al. (2023) usaron un modelo MILP bi-objetivo para determinar el manejo de desperdicios médicos bajo situaciones de incertidumbre y de interrupciones epidémicas. Por otro lado, Zhu et al. (2024) utilizaron un modelo predictivo de residuos basado en la dinámica SEIR para su modelo de logística inversa que usa enrutamiento de ubicación multiobjetivo.

4.4. Consideraciones ambientales.

Cao et al. (2024) plantearon un problema de optimización de la ubicación y transporte de desechos médicos en desastres de múltiples tipos y múltiples períodos con un enfoque en la sostenibilidad, debido a las consecuencias relacionadas al aumento de la producción de desechos médicos durante el COVID-19. Uno de los tres objetivos era minimizar las emisiones totales de carbono por el transporte de desechos médicos de un desastre por cada periodo, además de maximizar los beneficios totales y minimizar los riesgos sociales potenciales al exponer a las personas a IMW.

En el caso de Balci et al. (2022) diseñaron una red de logística inversa para gestionar eficazmente los desechos médicos en Estambul durante la pandemia de COVID-19 y la próxima década, en el cual su modelo MILP considera las emisiones de carbono de los transportes necesarios y busca equilibrar objetivos económicos, sociales y ambientales.

4.5. Otros casos.

Sar y Ghadimi (2022) desarrollaron un modelo MILP en el cual se enfoca la logística inversa en el manejo de residuos médicos de hogares y la maximización de la recolección de desperdicios. Por otro lado, el modelo propuesto por Wang et al. (2024) se diferencia del resto puesto que se centran en el uso de métodos como Best-Worst con programación lineal para la identificación y evaluación de riesgos que pueden aparecer en el proceso de logística inversa y cómo estos pueden afectar en varias áreas como la económica, social, política, entre otras.

5. Conclusiones

Por medio de los artículos a los que se tuvo acceso en esta revisión literaria se identificó una falta de modelos enfocados en la logística inversa de residuos médicos bajo contextos fuera de emergencias sanitarias, debido a que una abrumante mayoría de artículos se enfocaban en situaciones como epidemias. Sin embargo, la tendencia creciente en publicación de artículos sobre este tema demuestra una necesidad del desarrollo apropiado de una red de logística inversa de residuos sanitarios.

Se llegó a la conclusión de que la Programación Lineal Entera Mixta es una de las técnicas más apropiadas para la optimización de estas redes, en donde los principales objetivos suelen ser minimizar costos y minimizar el riesgo asociado al manejo de IMW. Además, se identificó la importancia de minimizar el tiempo que se dura en tratar o desechar los residuos, debido al peligro de exponer a las personas a estos desperdicios, así también como optimizar la ubicación de los centros temporales de tratamiento o recolección y minimizar las emisiones de carbono por el transporte y operación de los centros.

6. Referencias Bibliográficas

- Balci, E., Balci, S., & Sofuoglu, A. (2022).** Multi-purpose reverse logistics network design for medical waste management in a megacity: Istanbul, Turkey. *Environment Systems and Decisions*, 42(3). <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09873-z>
- Barker, T. J., & Zabinsky, Z. B. (2008).** Reverse logistics network design: A conceptual framework for decision making. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1(4). <https://doi.org/10.1080/19397030802591196>
- Cao, C., Li, J., Liu, J., Liu, J., Qiu, H., & Zhen, J. (2024).** Sustainable development-oriented location-transportation integrated optimization problem regarding multi-period multi-type disaster medical waste during COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 335(3). <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04820-2>
- Govindan, K., Fard, F. S. N., Asgari Fahimeh and Sorooshian, S., & Mina, H. (2024).** Designing a resilient reverse network to manage the infectious healthcare waste under uncertainty: A stochastic optimization approach. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110390>
- Govindan, K., Nosrati-Abarghooee, S., Nasiri, M. M., & Jolai, F. (2022).** Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach. *Journal of Environmental Management*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115888>
- Kargar, S., Pourmehdi, M., & Paydar, M. M. (2020).** Reverse logistics network design for medical waste management in the epidemic outbreak of the novel coronavirus (COVID-19). *Science of the Total Environment*, 746. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141183>
- Luo, X., & Liao, W. (2022).** Collaborative Reverse Logistics Network for Infectious Medical Waste Management during the COVID-19 Outbreak. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19159735>
- Mei, X., Hao, H., Sun, Y., Wang, X., & Zhou, Y. (2022).** Optimization of medical waste recycling network considering disposal capacity bottlenecks under a novel coronavirus pneumonia outbreak. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(53). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16027-2>
- Morjéne, Y., Ndhafie, N., & Rezg, N. (2022).** Optimization of production batches in a circular supply chain under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.651>
- Nosrati-Abarghooee, S., Sheikhalishahi, M., Nasiri, M. M., & Gholami-Zanjani, S. M. (2023).** Designing reverse logistics network for healthcare waste management considering epidemic disruptions under uncertainty. *Applied Soft Computing*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110372>
- Sar, K., & Ghadimi, P. (2022).** Designing reverse logistics network for a case study of home-care health medical device waste management: Implications for Industry 4.0 supply chains. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.213>
- United Nations Environment Programme. (2024).** Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2024).** Medical Waste. EPA. <https://www.epa.gov/rcra/medical-waste>

Wang, X., Liu, L., Wang, L., Cao, W., & Guo, D. (2024). An application of BWM for risk control in reverse logistics of medical waste. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1331679>

World Health Organization. (2018, February 8). Health-care waste. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>

Xue, C., Dong, Y., Liu, J., Liao, Y., & Li, L. (2023). Design of the Reverse Logistics System for Medical Waste Recycling Part I: System Architecture and Disposal Site Selection Algorithm. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*. <https://doi.org/10.1109/ITSC57777.2023.10422624>

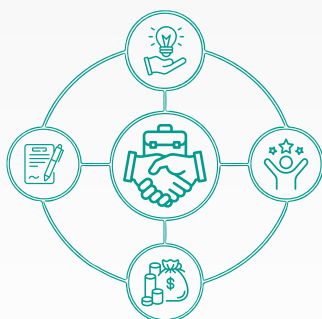
Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., & Zhao, X. (2020). Reverse logistics network design for effective management of medical waste in epidemic outbreaks: Insights from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan (China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph17051770>

Zhao, J., Wu, B., & Ke, G. Y. (2021). A bi-objective robust optimization approach for the management of infectious wastes with demand uncertainty during a pandemic. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127922>

Zhu, L., Ding, T., & Liu, Z. (2024). Reverse Logistics Network Design for Medical Waste Disposal under the Scenario of Uncertain Proposal Demand. *SUSTAINABILITY*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/su16072996>

Fecha de recepción: 26/11/2024

Fecha de aceptación: 27/05/2025



Percepción del
EMPRENDIMIENTO Y EMPRESARISMO
*en Aprendices SENA: Análisis de conocimientos,
espacios y competencias.*

PERCEPTION OF ENTREPRENEURSHIP AND BUSINESS DEVELOPMENT AMONG
SENA APPRENTICES: ANALYSIS OF KNOWLEDGE, SPACES, AND COMPETENCIES.

SENN@VA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg. Alfonso Julio Arrieta Solano

Servicio Nacional de Aprendizaje - Nodo TIC Barranquilla
ajarrietas@sena.edu.co



Mg. Deiber Puello Cabarcas

Corporación Universitaria Americana
dpuello@americana.edu.co



Mg. Rodrigo Cienfuegos Molina

SENA - Centro Industrial y de aviación de Barranquilla
rcienfuegos@sena.edu.co



entrepreneurship law, the perception of existing spaces for the development of entrepreneurial skills and the importance attributed to entrepreneurship training. The results showed that students know the entrepreneurship law and value the importance of entrepreneurship courses. However, the need to improve communication about available resources and strengthen the visibility of successful entrepreneurial projects was identified. In addition, a high level of interest in developing business ideas and a positive perception of the dynamism and enthusiasm of teachers in entrepreneurship classes were found.

Keywords: Entrepreneurship, Higher education, Promotion, Entrepreneurial skills.

1. Resumen

El presente escrito identificó la percepción de los aprendices del SENA – Regional Atlántico sobre el emprendimiento y el empresarismo. El estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, el instrumento utilizado fue una encuesta que se aplicó a 389 estudiantes de la institución en el primer trimestre de 2024. Se evaluó el conocimiento sobre la ley de emprendimiento, la percepción de los espacios existentes para el desarrollo de habilidades emprendedoras y la importancia atribuida a la formación en emprendimiento. Los resultados mostraron que los estudiantes conocen la ley de emprendimiento y valoran la importancia de las cátedras de emprendimiento. Sin embargo, se identificó la necesidad de mejorar la comunicación sobre los recursos disponibles y fortalecer la visibilidad de los proyectos emprendedores exitosos. Además, se encontró un alto nivel de interés en desarrollar ideas de negocio y una percepción positiva sobre el dinamismo y entusiasmo de los profesores en las clases de emprendimiento.

Palabras Claves: Emprendimiento, empresarismo, formación en competencias.

1.1. Abstract

This paper identified the perception of SENA – Atlantic Regional trainees about entrepreneurship and businessmanship. The study is of a quantitative descriptive type, the instrument used was a survey that was applied to 389 students of the institution in the first quarter of 2024. Knowledge about the

2. Introducción

Colombia ha experimentado importantes transformaciones socioculturales en las últimas décadas, impulsadas por la globalización y la apertura de mercados. Estos cambios han motivado la creación de leyes orientadas a la formación empresarial de los jóvenes, preparándolos para enfrentar los desafíos de un entorno globalizado (Aldana et al., 2019).

En este contexto, el Gobierno Nacional ha implementado políticas educativas que responden a este proceso, destacándose la Ley 1014 de 2006, un hito en la historia del emprendimiento en el país. Antes de esta ley, se reconocía la necesidad de una legislación que fomentara el desarrollo del emprendimiento a través de la educación (Otero, 2005). La Ley 1014 busca promover una cultura emprendedora en todos los niveles educativos, pero su implementación ha enfrentado dificultades, como la falta de recursos y personal capacitado, lo que ha limitado su efectividad (Rico y Cárdenas, 2021; Quintero y Aristizábal, 2017; Gualteros y Merchán, 2016).

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en la Regional Atlántico, que acoge a cientos de jóvenes en su etapa de educación media, desempeña un papel clave en el fomento del emprendimiento. Con el apoyo de un equipo interdisciplinar de docentes,

los estudiantes reciben formación no solo en conocimientos académicos, sino también en valores y competencias laborales, promoviendo un espíritu emprendedor similar al de países desarrollados. A partir de lo anterior, se plantea este estudio que se enfoca en la Regional Atlántico del SENA, un área con una gran relevancia económica y social. A través de un análisis detallado, se examina cómo los aprendices perciben y adoptan los valores y habilidades del emprendimiento, así como los desafíos y oportunidades en la implementación de estos programas. El objetivo es ofrecer una visión crítica del impacto de la educación emprendedora en la región y proponer mejoras que optimicen la efectividad de estos programas.

3. Referentes teóricos

Las investigaciones sobre emprendimiento se nutren de múltiples disciplinas. La administración provee herramientas para analizar estructuras organizacionales y estrategias empresariales emergentes. La economía examina los incentivos económicos y las condiciones de mercado que facilitan la creación de empresas. La psicología explora las motivaciones y habilidades individuales del emprendedor, mientras que la sociología estudia cómo el entorno social y cultural influye en el comportamiento y las oportunidades de emprendimiento.

Drucker (1984) desafió la visión del emprendedor innato, argumentando que el éxito empresarial depende del conocimiento sistemático y la aplicación de teorías aprendidas. Según Drucker (2007), el emprendimiento es un proceso disciplinado que requiere aprendizaje continuo e innovación constante y la falta de estas capacidades, puede conducir al fracaso empresarial. También resalta el papel clave de las redes y las instituciones, y atribuye el fracaso a la codicia y la incompetencia.

El emprendimiento ha sido ampliamente estudiado desde diversas perspectivas.

Adie-Villafañe y Cárdenas (2021) identificaron una disminución en competencias

blandas como la negociación, el liderazgo y la resolución de problemas, lo que subraya la importancia de analizar estas habilidades en diferentes contextos para comprender su impacto en el éxito empresarial. Desde la economía, Gámez (2013) destaca el rol del emprendedor en la identificación de oportunidades, manejo de riesgos y optimización de recursos. Este enfoque resalta la influencia del emprendedor en la innovación y la creación de empleo, aunque la microeconomía tradicional subestima su papel. Schumpeter y Kirzner también reconocen al emprendedor como un agente activo en los cambios económicos.

En el ámbito psicológico, las motivaciones del emprendedor combinan factores innatos y adquiridos. Gallego (2014) y MacClelland resaltan que, más allá de las recompensas económicas, la motivación impulsa la conducta emprendedora. La creatividad y el liderazgo son rasgos clave, lo que sugiere que la educación emprendedora debe centrarse en desarrollar estas habilidades. Desde la sociología, Gámez (2013) argumenta que el emprendimiento está profundamente influenciado por el contexto social y las estructuras económicas. Las redes sociales y las presiones externas impactan la creación de nuevas organizaciones, mientras que las diferencias en crecimiento económico se atribuyen a factores culturales.

Por otro lado, en el camino del emprendimiento, diversos componentes del ecosistema emprendedor trabajan en conjunto para garantizar el éxito y la consolidación de los proyectos empresariales, así como para facilitar el cumplimiento de los objetivos propuestos por los emprendedores (Valdiviezo y Gallardo). En este contexto, los programas y agencias de apoyo al emprendimiento desempeñan un papel clave al proporcionar acceso a recursos esenciales como formación, asesoramiento y financiación, los cuales son elementos fundamentales para la creación de nuevas empresas y su capacidad de mantenerse en el tiempo (Castellano et al., 2024).

4. Aspectos metodológicos

Esta investigación tuvo como objetivo analizar las prácticas implementadas por una institución educativa para fortalecer el emprendimiento entre sus estudiantes. Se empleó un enfoque cuantitativo, mediante la recolección de datos a través de una encuesta estructurada que identificó los espacios ofrecidos por la institución para desarrollar competencias emprendedoras. El diseño de investigación fue descriptivo, orientado a caracterizar las prácticas educativas relacionadas con el emprendimiento. La encuesta recolectó información sobre la frecuencia y tipo de actividades, como charlas, cursos, talleres, concursos y ferias, enfocadas en promover el emprendimiento. La población objetivo incluyó a estudiantes del primer trimestre de 2024 de los programas académicos del SENA Regional Atlántico, que estuvieran participando activamente en actividades emprendedoras.

Para la selección de la muestra, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia debido a la facilidad de acceso a los participantes y a las características prácticas del estudio. Se definió un tamaño muestral de 389 participantes con base en la capacidad de la institución para garantizar la aplicación efectiva de la encuesta en el periodo establecido y en la variabilidad esperada de las respuestas, considerando la diversidad de programas académicos involucrados. Asimismo, el tamaño de la muestra se encuentra en línea con estudios similares, lo que asegura su validez como referencia dentro del contexto investigado.

Los participantes completaron voluntariamente la encuesta estructurada de preguntas cerradas, contribuyendo a una recolección de datos representativa del entorno académico evaluado. La recolección de datos se realizó durante tres semanas a través de medios electrónicos. Los datos fueron procesados y analizados mediante herramientas estadísticas descriptivas, calculando la frecuencia y porcentaje de respuestas para cada tipo de actividad. La participación fue voluntaria y

anónima, garantizando la confidencialidad de los datos, y los participantes otorgaron su consentimiento informado antes de participar.

5. Resultados Encontrados

A continuación, se muestran los resultados de la presente investigación donde participaron un total de 389 aprendices de diferentes programas de nivel técnico y tecnólogo del SENA - Regional Atlántico. La muestra estuvo compuesta por una mayoría significativa de participantes del género masculino, quienes representaron el 77% del total de encuestados, mientras que las participantes del género femenino constituyeron el 33%. Esta distribución de género es reflejo de la diversidad existente en los programas académicos de la región, y permite un análisis diferenciado de la participación y percepción de las actividades de fortalecimiento del emprendimiento en la institución educativa. Los resultados obtenidos proporcionan una visión clara sobre las prácticas institucionales en torno al emprendimiento y su impacto en la formación de los aprendices de la Regional Atlántico.

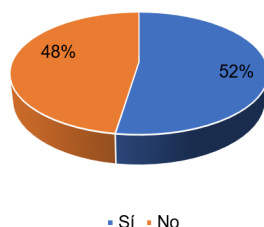
La Figura 1 presenta un panorama equilibrado sobre el conocimiento de la ley que promueve el emprendimiento en Colombia entre los aprendices. De los 389 encuestados, el 52% (204 aprendices) afirmó estar familiarizado con la legislación, mientras que el 48% (185 aprendices) indicó desconocerla. Aunque más de la mitad de los encuestados conoce la ley de emprendimiento, la falta de conocimiento en una proporción considerable podría limitar la efectividad de las políticas de emprendimiento, ya que el desconocimiento de los recursos y oportunidades que ofrece la ley puede reducir el aprovechamiento de estas iniciativas.

Por su parte, la Figura 2 refleja la distribución de los diferentes espacios utilizados por el SENA Regional Atlántico para promover el emprendimiento. Las charlas ocupan el primer lugar con el 34,4% de las respuestas, siendo vistas como una herramienta efectiva para transmitir conocimientos y experiencias, permitiendo

a los estudiantes recibir orientación directa de expertos. Los cursos se ubican en segundo lugar con el 24,4%, lo que destaca la importancia de la formación estructurada para que los estudiantes adquieran habilidades prácticas y teóricas. En tercer lugar, los talleres alcanzan un 22,6%, proporcionando un enfoque práctico e interactivo que fortalece las competencias emprendedoras mediante la aplicación de conocimientos en situaciones simuladas o reales.

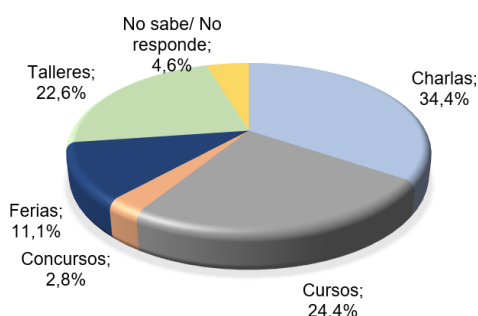
Las ferias representan el 11,1% de las respuestas, ofreciendo una plataforma valiosa para que los estudiantes presenten sus proyectos y reciban retroalimentación del mercado, aunque son menos comunes que las charlas, cursos y talleres. Finalmente, los concursos, con un 2,8%, se sitúan como los espacios menos utilizados, sugiriendo que, aunque motivadores y con oportunidades de reconocimiento, no tienen tanta frecuencia de uso dentro de la institución.

Figura 1.
Conocimiento sobre la Ley de Emprendimiento



Nota. Elaboración propia.

Figura 2.
Espacios para el fortalecimiento del emprendimiento.

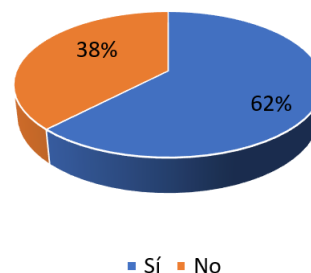


Nota. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra los resultados sobre el conocimiento de los aprendices acerca de las entidades que ofrecen apoyo al emprendimiento juvenil, más allá del SENA. Una mayoría del 62% (242 personas) afirmó conocer estas entidades, mientras que el 38% (147 personas) indicó no estar informado sobre ellas. Esta falta de conocimiento evidencia una brecha en la difusión de información relevante, lo cual podría representar un obstáculo para los jóvenes interesados en iniciar sus propios negocios. Esto subraya la necesidad de fortalecer los canales de comunicación y la educación sobre los recursos disponibles para emprendedores en Colombia.

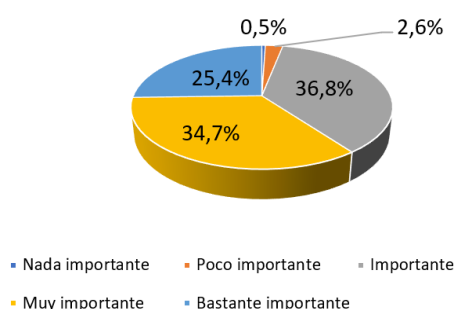
Por otro lado, la Figura 4 refleja que la mayoría de los encuestados considera el emprendimiento como un aspecto importante dentro de su formación académica. El 36,8% (143 personas) lo considera importante, el 34,7% (135 personas) lo valora como muy importante, y el 25,4% (99 personas) lo percibe como bastante importante. En conjunto, el 96,9% de los encuestados reconoce al emprendimiento como un componente clave en su formación. En contraste, solo un pequeño porcentaje lo percibe como poco relevante: el 2,6% (10 personas) lo considera poco importante y el 0,5% (2 personas) no lo ve como relevante. Estos resultados sugieren que la institución ha logrado inculcar en gran medida la relevancia del emprendimiento, aunque existe una pequeña franja de estudiantes que podría beneficiarse de una mayor sensibilización o enfoque integral hacia este tema.

Figura 3.
Apoyo al emprendimiento empresarial de los jóvenes en Colombia



Nota. Elaboración propia.

Figura 4.
Importancia que recibe el emprendimiento en la Institución



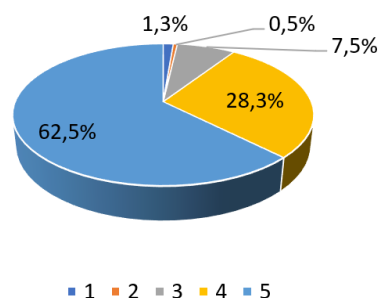
Nota. Elaboración propia.

Los resultados a la pregunta que se muestran en la Figura 5 describe la percepción de los aprendices sobre el dinamismo y entusiasmo de los profesores en las clases de emprendimiento es muy positiva, debido a que la mayoría de los encuestados, un 62,5% (243 personas), calificaron el dinamismo y entusiasmo de los profesores con un 5, lo que indica un nivel muy alto de satisfacción, le sigue un 28,3% (110 personas) que le otorgó una calificación de 4, lo que también refleja una percepción favorable, aunque ligeramente inferior a la máxima, el 7,5% (29 personas) consideró que el dinamismo y entusiasmo es moderado, con una calificación de 3, el 0,5% (2 personas) evaluó el dinamismo y entusiasmo de los profesores con un 2, lo que sugiere una percepción baja y por último, un 1,3% (5 personas) calificó con un 1, indicando una experiencia negativa.

Los resultados también revelan una positiva valoración entre los aprendices del SENA en la Regional Atlántico sobre la importancia de contar con una cátedra de emprendimiento como base para la creación de su propio negocio, ya que como se puede observar en la Figura 6, el 59,6% (232 personas) consideran que es de máxima importancia que se imparta una cátedra de emprendimiento, lo que indica un alto reconocimiento del valor que esta formación puede aportar al desarrollo de sus propios negocios, seguido de un 27,0% (105 personas) que otorgan una calificación de 4, lo que también refleja una percepción positiva, aunque un poco menos

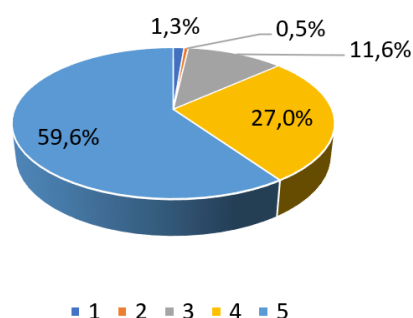
intensa, el 11,6% (45 personas) califica con un 3, lo que sugiere que, si bien consideran la cátedra importante, su percepción es más moderada, un 0,5% (2 personas) cree que la cátedra tiene poca importancia y por último, un 1,3% (5 personas) que considera que la cátedra no es importante.

Figura 5.
Dinamismo y entusiasmo por parte de los profesores en las clases de emprendimiento



Nota. Elaboración propia.

Figura 6.
Valoración de la cátedra de emprendimiento como base para crear su propio negocio



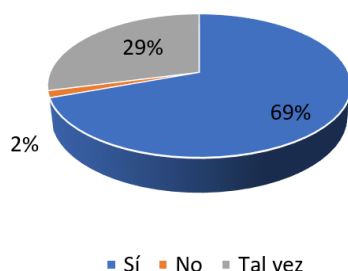
Nota. Elaboración propia.

En la Figura 7, se pueden observar los resultados al nivel de interés entre los aprendices del SENA en la Regional Atlántico por desarrollar una idea de negocio, destacado que el 83% (324 personas) encuestadas expresan su deseo de desarrollar una idea de negocio, lo que demuestra un fuerte espíritu emprendedor y una motivación considerable hacia la creación de empresas o iniciativas propias, a diferencia del restante 17% (65 personas) que no están interesados en desarrollar una idea de negocio, lo que podría indicar otras prioridades profesionales o una falta de interés en el emprendimiento. Así, estos resultados resaltan una

inclinación marcada hacia el emprendimiento entre la mayoría de los aprendices, lo que podría ser un indicativo positivo para futuras iniciativas de apoyo y formación en este ámbito dentro de la institución.

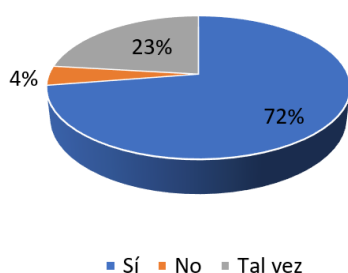
Los resultados de la encuesta sobre si la institución educativa ha fortalecido las competencias en emprendimiento y empresarismo se observan en la Figura 8. En esta se puede analizar que el 72% (282 personas) considera que la institución ha fortalecido sus competencias en emprendimiento y empresarismo. Este dato da indicios que la mayoría de los aprendices perciben un impacto positivo en su formación en estos campos, lo que refleja el esfuerzo de la institución en brindar herramientas y conocimientos relevantes. A diferencia de lo anterior, el 4% (17 personas) no siente que sus competencias en emprendimiento y empresarismo hayan sido fortalecidas por la institución.

Figura 7.
Interés en la generación de negocios propios



Nota. Elaboración propia.

Figura 8.
Fortalecimiento de competencias en emprendimiento



Nota. Elaboración propia.

6. Discusión de los resultados

El análisis de la encuesta realizada a los aprendices del SENA - Regional Atlántico ofrece un panorama positivo sobre la percepción y el desarrollo del emprendimiento en esta institución. Un aspecto destacado es el conocimiento que los estudiantes tienen sobre las entidades que brindan apoyo al emprendimiento en Colombia. La mayor parte de los encuestados afirmó estar informado acerca de estas entidades, lo que evidencia una base sólida para que los estudiantes exploren oportunidades emprendedoras fuera del entorno educativo. Otro aspecto relevante es el compromiso demostrado por la institución en la enseñanza del emprendimiento y otro es que la mayoría de los encuestados confirma la existencia de una cátedra específica de cultura y emprendimiento empresarial en sus programas académicos, lo cual resalta el esfuerzo por integrar el emprendimiento como parte clave de la formación profesional.

Este enfoque permite que los estudiantes desarrollen competencias emprendedoras desde una etapa temprana, preparándolos mejor para enfrentar los desafíos del entorno empresarial. Esta valoración positiva del emprendimiento como parte esencial de la formación académica es clave, ya que no solo motiva a los estudiantes a considerar el emprendimiento como una opción profesional viable, sino que también les brinda herramientas para abordar problemas del mundo real con una mentalidad creativa e innovadora.

Además, el entusiasmo y la energía de los profesores en las clases de emprendimiento fueron factores que los estudiantes valoraron altamente. Este dinamismo por parte del cuerpo docente refuerza la percepción positiva de los estudiantes hacia la educación emprendedora, destacando la importancia de contar con docentes motivadores que puedan inspirar y guiar los proyectos emprendedores de los jóvenes.

El papel de los docentes es crucial para generar un ambiente propicio para la creatividad y la innovación, lo que contribuye significativamente al éxito de las iniciativas

emprendedoras dentro de la institución. De igual manera, los resultados muestran que los estudiantes reconocen la importancia de la formación en emprendimiento para la creación de negocios propios. Este reconocimiento subraya la necesidad de seguir fortaleciendo y actualizando los contenidos y enfoques metodológicos relacionados con el emprendimiento, para garantizar que los estudiantes cuenten con las competencias necesarias para gestionar sus propios negocios y enfrentar los desafíos del mercado global.

Este estudio reviste gran importancia al proporcionar un panorama claro sobre las percepciones, conocimientos y necesidades de los aprendices del SENA en torno al emprendimiento y el empresarismo. Los hallazgos obtenidos pueden servir como base para diseñar estrategias más efectivas que faciliten el acceso de los estudiantes a iniciativas de capital semilla, como las convocatorias del Fondo Empezar.

Al identificar brechas en el conocimiento sobre la legislación y los recursos disponibles, así como al destacar el interés y la motivación de los aprendices por desarrollar ideas de negocio, este estudio ofrece información clave para que la institución implemente acciones orientadas a fortalecer la formación, mejorar la comunicación de oportunidades y aumentar la visibilidad de los proyectos emprendedores exitosos. Estas estrategias no solo contribuirán a incrementar la participación en programas de financiación, sino que también potenciarán el impacto del emprendimiento como motor de desarrollo social y económico en la región.

7. Conclusiones

Las conclusiones del estudio reflejan una percepción favorable sobre el emprendimiento entre los aprendices del SENA - Regional Atlántico. Los datos revelan que una mayoría significativa de estudiantes está informada sobre las entidades que ofrecen apoyo al emprendimiento, lo que proporciona una base sólida para la exploración de oportunidades en este campo. Sin embargo, la brecha de conocimiento identificada en resalta la

necesidad de mejorar la comunicación y difusión de información sobre estos recursos, lo cual podría incrementar la participación de los jóvenes en iniciativas emprendedoras.

El compromiso de la institución con la enseñanza del emprendimiento es evidente, ya que la mayoría de los encuestados reconocen la presencia de una cátedra de emprendimiento en sus programas. Este enfoque proactivo en la integración de habilidades emprendedoras en la educación temprana permite preparar a los estudiantes para que enfrenten los retos empresariales del futuro.

El dinamismo de los docentes en las clases de emprendimiento refuerza la percepción positiva de los estudiantes, destacando la importancia de un ambiente de aprendizaje inspirador y motivador. Sin embargo, se identifican oportunidades para mejorar la visibilidad de los logros de emprendimiento generados en la institución. Incrementar la promoción de casos de éxito dentro y fuera del entorno académico podría potenciar el impacto de la educación emprendedora.

8. Referencias Bibliográficas

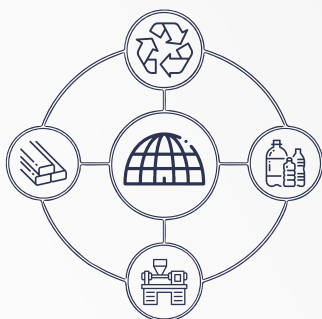
Aldana-Rivera, E. E., Tafur-Castillo, J., Gil, I., & Mejía, C. (2019). Práctica pedagógica de emprendimiento en docentes de educación superior en Institución Educativa Universitaria de Barranquilla. Archivos venezolanos de farmacología y terapéutica, 38(2), 9-18.

Castellanos, O., Barrera, N., Gamba, C. y Gómez, F. Fortalecimiento de agencias y programas de apoyo al emprendimiento. En Castellanos, O. (Ed.), Fundamentos y perspectivas del emprendimiento (233-266), Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Coase, R. H. (1998): The New Institutional Economics. The American Economic Review, Papers and Proceedings, Vol. 88, N. 2, 72-74.

- Drucker, P. (1970).** Technology, management & society. Routledge
- Drucker, P. (1984).** The New Meaning of Corporate Social Responsibility, California Management Review, 26, pp. 53-63.
- Drucker, P. (1998).** Su visión sobre La Administración, la Organización Basada en la Información, la Economía y la Sociedad. Bogotá: Editorial Norma.
- Drucker, P. (2007)** The Practice of Management. Butterworth-Heinemann, Cambridge.
- Drucker, P. F. (1984).** Beyond the Bell breakup. The Public Interest, 77, 3.
- Gualteros, D., y Merchán, L. (2016).** Perfil emprendedor de los estudiantes de grado once de los colegios oficiales del municipio de Chiquinquirá, Boyacá. [Monografía para optar el título de administrador de empresas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2302>
- North, D. C. (1993):** Institutions and Credible Commitment. Journal of Institutional and Theoretical Economics, Vol. 149, N. 1, 11-23.
- Otero, A. (2005).** Diseño de un modelo para promover emprendimiento en estudiantes de secundaria en Grados 10º Y 11º de estratos 1, 2 y 3 en Colombia. Trabajo de grado para optar el título de magister en ingeniería industrial. Universidad de los Andes.
- Quintero, S. y Aristizabal J. (2017).** Emprendimiento agrícola en la educación media, oportunidad para el desarrollo rural. [Trabajo de investigación para optar al título de Magister en Educación, Universidad Sergio Arboleda].
- Rico, A. y Cárdenas, A. (2021).** El emprendimiento en la educación media en Bogotá: una mirada crítica de los docentes. Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación, 12(1), 109-129.
- Schumpeter, J. A. (1934).** The theory of economic development. Cambridge: Harvard University Press.
- Valdiviezo, M. A. V., & Gallardo, R. U. (2020).** Emprendimiento: factores esenciales para su constitución. Revista Venezolana de Gerencia, 25(90), 709-720.

Fecha de recepción: 13/11/2024
Fecha de aceptación: 17/02/2025



Comportamiento mecánico de
MADERAS PLÁSTICAS RECICLADAS
como material estructural en Ecodomos

MECHANICAL BEHAVIOUR OF RECYCLED PLASTIC LUMBER
AS A STRUCTURAL MATERIAL IN ECODOMES

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Ing. José Daniel López Chica

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
jdlopezc@sena.edu.co



Ing. Diego Alejandro Ramírez Cardona

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
daramirez@sena.edu.co



Ing. Brayan David Quintero Brand

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
bdquinterob@sena.edu.co



1. Resumen

Este estudio explora el potencial de las maderas plásticas recicladas como material estructural para la construcción de domos geodesicos, con el fin de fomentar prácticas de edificación sostenibles. Aunque estos materiales ofrecen ventajas ecológicas y resistencia mecánica, su adopción enfrenta desafíos por la falta de normativas de ensayo.

Para evaluar sus propiedades, se realizaron ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto y densidad volumétrica en condiciones controladas, utilizando un diseño experimental unifactorial con una mezcla estándar de polímeros reciclados. Se utilizaron 20 muestras por prueba para garantizar precisión y fiabilidad en los resultados.

Los resultados sugieren que las maderas plásticas recicladas presentan propiedades mecánicas adecuadas, aunque se identificaron algunas variaciones que señalan posibles áreas de mejora en la homogeneidad de fabricación. Las pruebas mostraron niveles de resistencia en tracción, dureza y compresión que evidencian su viabilidad para soportar cargas estructurales.

Para finalizar, las maderas plásticas recicladas muestran un gran potencial para su uso en aplicaciones estructurales sostenibles, apoyando la reducción de residuos plásticos y promoviendo un uso responsable de recursos en la construcción.

Palabras clave: madera plástica, flexión, tracción, compresión, impacto, densidad volumétrica.

1.1. Abstract.

This study explores the potential of recycled plastic lumber as a structural material for construction to promote sustainable building practices. Although these materials offer ecological advantages and mechanical strength, their adoption faces challenges due to the lack of testing standards.

To evaluate their properties, tensile, compression, flexural, hardness, impact and volumetric density tests were conducted under controlled conditions, using a one-factorial experimental design with a standard recycled polymer mix. Twenty samples were used per test to ensure accuracy and reliability of the results. In addition, a prototype ecodome was designed, and structural analysis was carried out using SolidWorks simulations to calculate its strength under different loads.

The results suggest that the recycled plastic lumber exhibit adequate mechanical properties, although some variations were identified that point to possible areas for improvement in manufacturing homogeneity. Tests showed levels of tensile, hardness and compressive strength that demonstrate their viability to support structural loads..

Finally, recycled plastic lumber shows great potential for use in sustainable structural applications, supporting the reduction of plastic waste and promoting responsible use of resources in construction.

Keywords: plastic lumber, flexion, tensile strength, compression, impact, volumetric density.

2. Introducción

La madera plástica es un material innovador elaborado a partir de residuos de plástico reciclado mediante procesos de extrusión. Este material emplea polipropileno de alta y baja densidad, además de aditivos que mejoran sus propiedades mecánicas, estéticas y de durabilidad (Florez, 2014).

Su desarrollo responde a la creciente acumulación de desechos plásticos, posicionándose como una alternativa funcional y ecológica frente a las maderas convencionales (Maderpol, 2024).

Existen dos tipos principales de madera plástica: Plastic Lumber, fabricada completamente con plástico reciclado, y Wood Plastic Composite (WPC), que combina fibras de madera y plástico reciclado. Ambas opciones destacan por su alta resistencia al impacto, durabilidad frente a la intemperie, impermeabilidad y bajos costos de mantenimiento, siendo alternativas útiles para aplicaciones constructivas e industriales (Winandy et al., 2004).

En mercados como el estadounidense, la madera plástica ha ganado terreno gracias a su comportamiento mecánico superior, lo que permite su uso en infraestructuras sostenibles y amigables con el medio ambiente. Sin embargo, el principal desafío técnico radica en optimizar la mezcla de plásticos, fibras y aditivos para garantizar propiedades adecuadas (Power, 2004).

En Colombia, actualmente no se dispone de una normativa específica que permita verificar de manera integral las propiedades mecánicas de la madera plástica, así como sus características físicas, térmicas y de durabilidad. No obstante, se aplican ciertas normativas que son útiles para realizar una caracterización técnica completa de este material. Entre ellas se encuentran: NTC 1156 - Procedimiento para el ensayo en cámara de niebla salina (ICONTEC, 2020), ASTM B117 -Standard practice for operating salt spray apparatus (ASTM,2019), ASTM D256 - Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics (ASTM, 2023), NTC 943 - Determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo de izod (ICONTEC, 2003), NTC 6296 - Método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles (ICONTEC, 2018), NTC 595 - Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción en plásticos (ICONTEC, 2024), NTC 6355 - Métodos

de ensayo estándar para la determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada (ICONTEC, 2019), NTC 467 - propiedades del caucho. determinación de dureza con durómetro (ICONTEC, 2006) y NTC 6297 - Método de ensayo para sujetadores mecánicos en madera plástica y perfiles (ICONTEC, 2018).

El objetivo principal de este estudio es proporcionar una caracterización detallada del comportamiento mecánico de las maderas plásticas recicladas mediante ensayos estandarizados. Esto permitirá generar evidencia técnica que facilite su aceptación en la industria de la construcción y fomente su adopción en proyectos ecológicos. Al abordar los retos técnicos y normativos actuales, esta investigación busca contribuir al avance de soluciones sostenibles que aprovechen los desechos plásticos como materia prima, promoviendo un modelo de desarrollo más responsable y respetuoso con el medio ambiente.

La relevancia de este trabajo radica en su capacidad para enfrentar un problema ambiental crítico mientras impulsa un cambio hacia prácticas constructivas más sostenibles. Además, al proponer un enfoque técnico y normativo, esta investigación establece bases para la creación de estándares nacionales, fomentando la confianza en materiales reciclados y contribuyendo a una industria alineada con los objetivos globales de sostenibilidad.

3. Marco Metodológico.

3.1. Diseño de experimentos.

Se pretende realizar un diseño de experimentos (DOE) donde se evalúen las siguientes propiedades mecánicas a maderas plásticas con el objetivo de caracterizar mecánicamente este tipo de material:

1. Ensayos de Tracción: Ensayo de tracción uniaxial para medir la resistencia y deformación a lo largo de la dirección de las fibras. Mide la carga aplicada y la elongación para determinar la resistencia a la tracción.

2. Compresión a Fibras Paralelas:

Ensayo de compresión uniaxial a lo largo de las fibras para medir la resistencia a la compresión en esta dirección. Registra la carga y la deformación para evaluar las propiedades de compresión.

3. Compresión a Fibras Perpendiculares:

Ensayo de compresión perpendicular a las fibras para evaluar la resistencia y la deformación en esta dirección. Esto es importante ya que las maderas plásticas a menudo tienen propiedades anisotrópicas.

4. Ensayos de Flexión: Ensayos de flexión para medir la resistencia a la flexión y la rigidez del material. Estos ensayos son útiles para comprender cómo la madera plástica se comporta bajo cargas de flexión.

5. Dureza Shore D: Ensayos de dureza para evaluar la resistencia del material a la penetración. Las pruebas de dureza te proporcionarán información sobre la capacidad del material para resistir deformaciones plásticas.

6. Impacto: Ensayos de impacto para evaluar la resistencia al impacto del material. Estos ensayos pueden proporcionar información sobre la tenacidad del material ante cargas de impacto repentino.

7. Densidad: Es una medición que se realiza para conocer la cantidad de masa que tiene un material en relación con su volumen. Este valor es fundamental para evaluar la calidad, la selección de materiales, el diseño de estructuras y otros aspectos en diversas aplicaciones industriales y científicas.

La elección de un diseño de experimentos unifactorial se justifica por la limitación a una única condición de prueba, llamada “condición estándar”, para evaluar las propiedades mecánicas de las maderas plásticas. Este enfoque minimiza la variabilidad, proporcionando datos más precisos y confiables, y establece una línea base para comprender el comportamiento del material sin influencias externas. Además, es

eficiente en términos de recursos y ofrece una referencia para futuros análisis. Los resultados obtenidos pueden generar nuevas preguntas de investigación, impulsando estudios adicionales y avanzando en la comprensión del material.

3.2. Metodología.

Para la caracterización de la madera plástica con las propiedades propuesta y con la condición estándar de la mezcla se sugiere realizar la siguiente metodología:

1. Identificación del Factor y Nivel: En este contexto de evaluación de las propiedades mecánicas de la madera plástica bajo una única condición estándar, el primer paso es la definición precisa del factor relevante, que en este caso es la “Condición estándar”. Esta condición representa el punto de referencia para todas las mediciones y ensayos posteriores. Se establece un único nivel para este factor, que es precisamente la condición estándar en la que se realizarán las evaluaciones.

2. Elección del Diseño: La elección del diseño de experimentos es crítica y, en esta situación, se opta por un diseño unifactorial debido a la restricción de contar con una sola condición (mezcla madera plástica). Este diseño es especialmente adecuado porque se enfoca exclusivamente en evaluar cómo las propiedades mecánicas del material responden a la condición estándar, eliminando así la influencia de otros factores que podrían complicar la interpretación de los resultados.

3. Número de Repeticiones: Para garantizar la robustez y la confiabilidad de los resultados, se lleva a cabo la repetición de cada ensayo al menos tres veces bajo la condición estándar. Esta repetición es esencial para evaluar la consistencia de los resultados y reducir la posibilidad de errores aleatorios que podrían influir en las mediciones de las propiedades mecánicas.

4. Total, de Ensayos: Dado que se está evaluando una única condición (la condición estándar) con al menos tres repeticiones para cada propiedad mecánica, se generará un total de tres ensayos por propiedad mecánica.

5. Análisis de Datos: Una vez que se hayan recopilado los datos de los ensayos bajo la condición estándar, se procede con un análisis estadístico detallado. El análisis incluye técnicas como el cálculo de promedios, desviaciones estándar y, posiblemente, pruebas de significancia estadística para determinar si hay diferencias significativas entre las mediciones de las propiedades mecánicas.

6. Interpretación: La etapa final implica una minuciosa interpretación de los resultados. Se buscan patrones, tendencias y relaciones en las mediciones de las propiedades mecánicas bajo la única condición disponible. Este proceso de interpretación es crucial para comprender cómo el material responde a la condición estándar y puede revelar información valiosa sobre su comportamiento intrínseco.

En el campo de la ingeniería mecánica, el tratamiento de resultados de un ensayo se centra en calcular el valor promedio y estimar el error aleatorio de la magnitud medida. Se realizan varios ensayos independientes para determinar una magnitud, obteniendo un conjunto de valores. Es común utilizar un rango de 3 a 20 mediciones para asegurar la precisión de los resultados, dado que los errores aleatorios generalmente siguen una distribución normal. La media aritmética es considerada la medida más precisa de la magnitud evaluada.

Para experimentación con madera plástica, se seleccionaron un total de 20 muestras por propiedad a evaluar. Esta cantidad permite mejorar la precisión y confiabilidad del diseño unifactorial, ofreciendo resultados más precisos, reduciendo errores aleatorios, y aumentando la detección de patrones en los análisis.

4. Marco procedimental

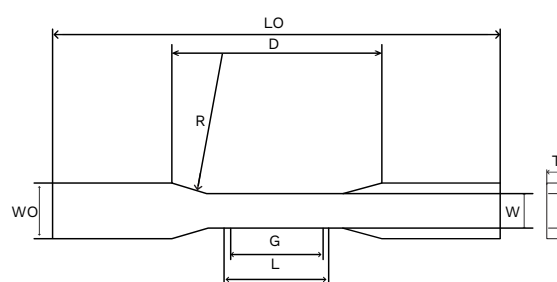
Para la realización de los ensayos propuestos, se emplearon procedimientos basados en normas nacionales y métodos específicos del laboratorio de ensayos mecánicos. Estos procedimientos detallan los parámetros que deben considerarse al llevar a cabo cada ensayo.

Antes de ejecutar los ensayos respectivos, se elaboraron instructivos con el fin de garantizar la trazabilidad y la idoneidad de cada prueba. Además, se diseñaron formatos para la adquisición de datos, los cuales permitirán observar los resultados y verificar cada uno de ellos.

4.1. Ensayo de Tracción.

La norma NTC 595 – MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN EN PLÁSTICOS es la encargada de suministrar el procedimiento correspondiente para ejecutar los ensayos de tracción en materiales plásticos reforzados y no reforzados. Las probetas deben tener las dimensiones establecidas en la tabla 1, la forma de las probetas se muestra en la figura 1.

Figura 1.
Forma probeta de ensayo de tracción.



Nota. NTC 595, 2021.

Tabla 1.
Dimensiones establecidas.

DIMENSIONES PROBETA TRACCIÓN	
W – ancho de la sección estrecha	19 mm
L – longitud de la sección estrecha	57 mm
WO – ancho total, min	29 mm
LO – longitud total, min	246 mm
G – longitud de referencia	50 mm
D – distancia entre mordazas	115 mm
R – radio del chaflán	76 mm
T – espesor, máx	14 mm

Nota. NTC 595, 2021.

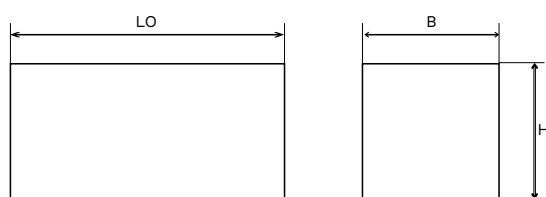
Finalmente, el ensayo de tracción en maderas plásticas permite determinar su resistencia a la tracción, que es una medida de la capacidad del material para soportar tensiones sin fracturarse. Esta se calcula dividiendo la carga máxima aplicada durante la prueba por el área de la sección transversal de la muestra. Para el cálculo se utiliza la ecuación 1.

$$Resistencia_{tracción} = \frac{Carga\ máxima\ aplicada}{Área\ de\ la\ sección\ transversal} \quad (1)$$

4.2. Ensayo de Compresión.

La norma NTC 6296 – MÉTODO DE ENSAYO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES A LA COMPRESIÓN DE MADERA PLÁSTICA Y PERFILES es la encargada de suministrar el procedimiento correspondiente para ejecutar los ensayos de compresión en materiales plásticos. Dentro de la norma se especifica que los especímenes de ensayo deben ser cortados del perfil tal como se fabricó la madera plástica. Las probetas deben tener las dimensiones establecidas en la tabla 2, la forma de las probetas se muestra en la figura 2

Figura 2.
Forma probeta de ensayo de compresión.



Nota. NTC 6296, 2018.

Tabla 2.
Dimensiones establecidas.

DIMENSIONES PROBETA COMPRESIÓN	
B – base	19 mm
H – altura	57 mm
LO – longitud total, min	80 mm

Nota. NTC 6296, 2018.

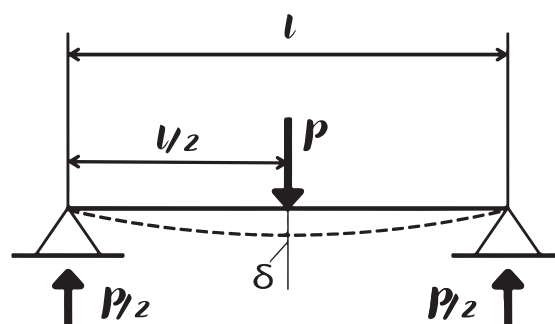
Por último, En el ensayo de compresión de maderas plásticas se obtiene la resistencia a la compresión, una medida fundamental de la capacidad del material para soportar fuerzas de aplastamiento o corte sin deformarse o romperse. La resistencia a la compresión se calcula utilizando la ecuación 2.

$$Resistencia_{compresión} = \frac{Carga\ máxima\ aplicada}{Área\ de\ la\ sección\ transversal} \quad (2)$$

4.3. Ensayo de Flexión.

La norma NTC 6355 – MÉTODOS DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE FLEXIÓN DE MADERA PLÁSTICA es la encargada de suministrar el procedimiento correspondiente para ejecutar los ensayos de flexión en materiales plásticos reforzados y no reforzados. Dentro de la norma se especifica que los especímenes de ensayo deben ser tal y como fueron fabricados, cortar a la longitud suficiente que garantice que sobresalga en la distancia entre apoyos. La longitud entre soportes debe ser de 300 mm. De acuerdo con la sección transversal del material que se va a ensayar la longitud total del ítem de ensayo es de 600 mm; en la figura 3 se muestra la configuración del ensayo.

Figura 3.
Configuración del ensayo de flexión.



Nota. NTC 6355, 2019.

Finalmente, el ensayo de flexión en maderas plásticas permite determinar el módulo de ruptura, una medida fundamental de la capacidad del material para soportar

fuerzas de doblado sin fracturarse. Esta propiedad es esencial para evaluar el rendimiento estructural y la integridad del material en aplicaciones donde se espera que soporten cargas flexoras. El módulo de ruptura se calcula utilizando la ecuación 3.

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3 \times P_R \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (3)$$

Dónde:

PR: fuerza de ruptura

L: longitud de apoyos

b: base sección transversal

h: altura sección transversal

4.4. Ensayo de dureza.

La norma NTC 467 – PROPIEDADES DEL CAUCHO. DETERMINACIÓN DE DUREZA CON DURÓMETRO es la encargada de suministrar el procedimiento correspondiente para ejecutar los ensayos de dureza en cauchos y materiales plásticos. Dentro de la norma se especifica que La muestra de ensayo, debe tener un espesor mínimo de 6,0 mm (0,24 pulgadas), a menos que se demuestre que una probeta más delgada produce resultados equivalentes a los obtenidos con la probeta de 6,0 mm (0,24 pulgadas).

Además, Para realizar un ensayo de dureza Shore D de manera precisa y reproducible, la probeta debe cumplir con condiciones específicas de calidad superficial. La superficie debe ser lisa y plana, libre de rayaduras, surcos, ondulaciones, rebabas y contaminantes como polvo, aceite o grasa. No debe presentar burbujas, grietas, inclusiones ni defectos superficiales que alteren la medición. Los métodos de preparación de la probeta, como corte, lijado o pulido, deben mantener las propiedades superficiales del material.

Por último, en el ensayo de dureza Shore D no se especifica una velocidad particular ni se utilizan ecuaciones de ensayo porque el equipo de medición está diseñado para aplicar la presión de manera uniforme y proporcionar una lectura directa y precisa

de la dureza del material, lo que facilita la evaluación de las propiedades del material de manera eficiente y confiable.

4.5. Ensayo de densidad volumétrica.

Este ensayo se lleva a cabo mediante la medición de la masa de la probeta y sus dimensiones. La masa de la probeta se mide utilizando una balanza analítica con una resolución de 0,01 gr, asegurando que la balanza esté correctamente calibrada para garantizar la exactitud de la medición. La masa se registra en gramos (g). Las dimensiones de la probeta (longitud, ancho y altura) se miden con un pie de rey (calibrador vernier), y es importante que estas mediciones se realicen con cuidado para evitar errores, registrando las dimensiones en milímetros (mm).

Además, la longitud del ítem de ensayo no debe sobrepasar el área efectiva de trabajo de la balanza (200 mm), las caras de la probeta deben ser paralelas planas, para realizar medición en la longitud del ítem de ensayo. Por último, en el ensayo de densidad volumétrica de maderas plásticas se obtiene la densidad del material, una medida fundamental de la masa por unidad de volumen del material. La densidad es crucial para determinar la calidad y las propiedades mecánicas de la madera plástica, ya que influye en su resistencia, durabilidad y comportamiento bajo cargas. La densidad volumétrica se calcula utilizando la ecuación 4.

$$\varphi = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Dónde:

φ: densidad volumétrica del material

m: masa de la probeta

v: volumen de la probeta

5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados para cada una de las propiedades del material que se caracterizaron.

Tabla 3.
Resultados ensayos de tracción

Código de ítem de ensayo	Resultado (MPa)	Ue*
047-2023-LEM-001	10,2	0,12
047-2023-LEM-002	10,6	0,12
047-2023-LEM-003	9,77	0,11
047-2023-LEM-004	11,9	0,14
047-2023-LEM-005	12,2	0,14
047-2023-LEM-006	12,2	0,15
047-2023-LEM-007	12,4	0,14
047-2023-LEM-008	11,6	0,14
047-2023-LEM-009	11,9	0,14
047-2023-LEM-010	12,3	0,15
047-2023-LEM-011	10,3	0,12
047-2023-LEM-012	10,9	0,13
047-2023-LEM-013	10,2	0,12
047-2023-LEM-014	13,1	0,15
047-2023-LEM-015	12,0	0,14
047-2023-LEM-016	9,19	0,11
047-2023-LEM-017	12,4	0,15
047-2023-LEM-018	10,1	0,11
047-2023-LEM-019	11,1	0,12
047-2023-LEM-020	8,97	0,11
Promedio	11,2	
Desviación estándar	1,19	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.
Resultados ensayos de Dureza Shore D

Código de ítem de ensayo	Resultado (Shore D)	Ue*
064-2023-LMI-001	63,2	1,0
064-2023-LMI-002	59,6	4,3
064-2023-LMI-003	61,1	2,3
064-2023-LMI-004	61,3	1,4
064-2023-LMI-005	60,5	0,9
064-2023-LMI-006	60,9	9,2
064-2023-LMI-007	58,3	1,3
064-2023-LMI-008	64,6	1,4
064-2023-LMI-009	63,9	4,4
064-2023-LMI-010	58,8	0,5
064-2023-LMI-011	60,6	7,4
064-2023-LMI-012	60,8	1,0
064-2023-LMI-013	62,6	4,1
064-2023-LMI-014	63,2	3,0
064-2023-LMI-015	62,7	3,9
064-2023-LMI-016	61,7	0,6
064-2023-LMI-017	61,3	13,0
064-2023-LMI-018	58,9	3,8
064-2023-LMI-019	60,6	2,2
064-2023-LMI-020	64,1	3,0
Promedio	61,4	
Desviación estándar	1,81	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5.
Resultados ensayos de Compresión

Código de ítem de ensayo	Resultado (MPa)	Ue*
080-2023-LEM-001	19,6	0,25
080-2023-LEM-002	18,8	0,22
080-2023-LEM-003	18,4	0,21
080-2023-LEM-004	12,1	0,14
080-2023-LEM-005	19,6	0,23
080-2023-LEM-006	17,9	0,21
080-2023-LEM-007	20,4	0,24
080-2023-LEM-008	14,4	0,17
080-2023-LEM-009	15,1	0,18
080-2023-LEM-010	17,9	0,21
080-2023-LEM-012	16,2	0,19
080-2023-LEM-013	18	0,21
080-2023-LEM-014	16,5	0,19
080-2023-LEM-015	14,4	0,17
080-2023-LEM-016	21,2	0,25
080-2023-LEM-017	19,8	0,23
080-2023-LEM-018	19,7	0,23
080-2023-LEM-019	13,3	0,15
Promedio	17,4	
Desviación estándar	2,64	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6.
Resultados ensayos Densidad Volumétrica

Densidad Volumétrica		
Código de ítem de ensayo	Kg/m3	Ue*
108-2023-LMI-001	194,5	0,000015
108-2023-LMI-002	194,1	0,000010
108-2023-LMI-003	193,4	0,000014
108-2023-LMI-004	194,3	0,000016
108-2023-LMI-005	194,5	0,000009
108-2023-LMI-006	192,1	0,000014
108-2023-LMI-007	193,9	0,000014
108-2023-LMI-008	193,7	0,000012
108-2023-LMI-009	190	0,000015
108-2023-LMI-010	228,2	0,000034
108-2023-LMI-011	191,7	0,000011
108-2023-LMI-012	191,5	0,000010
108-2023-LMI-013	194,3	0,000021
108-2023-LMI-014	192,6	0,000022
108-2023-LMI-015	191,2	0,000024
108-2023-LMI-016	194,1	0,000012
108-2023-LMI-017	193,4	0,000016
108-2023-LMI-018	193,5	0,000012
108-2023-LMI-019	192,1	0,000015
108-2023-LMI-020	194,5	0,000014
Promedio	194,9	
Desviación estándar	8,17	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7.
Resultados ensayos Flexión

Código de ítem de ensayo	Resultado (MPa)	Ue*
111-2023-LMI-001	14,62	0,180000
111-2023-LMI-002	20,02	0,290000
111-2023-LMI-004	15,79	0,190000
111-2023-LMI-005	19,54	0,230000
111-2023-LMI-006	20,27	0,240000
111-2023-LMI-007	16,47	0,200000
111-2023-LMI-008	17,64	0,210000
111-2023-LMI-009	16,17	0,190000
111-2023-LMI-010	16,16	0,190000
111-2023-LMI-011	15,4	0,180000
111-2023-LMI-012	18,21	0,220000
111-2023-LMI-013	20,27	0,240000
111-2023-LMI-014	23,02	0,270000
111-2023-LMI-015	18,2	0,220000
111-2023-LMI-016	18,72	0,220000
111-2023-LMI-017	19,98	0,240000
111-2023-LMI-018	15,88	0,190000
111-2023-LMI-019	14,39	0,170000
111-2023-LMI-020	16,71	0,200000
Promedio	17,8	
Desviación estándar	2,32	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8.
Resumen de resultados.

Propiedad	Unidad	Promedio	Desviación Estándar
Tracción	Mpa	11,2	1,19
Dureza	Shore D	61,4	1,81
Compresión	Mpa	18,9	2,35
Densidad Volumétrica	Kg/m^3	194,9	8,17
Flexión	MPa	17,8	2,32

Nota. Elaboración propia.

6. Discusión y análisis de resultados

La discusión y el análisis de los datos obtenidos en los ensayos realizados para esta investigación se enfocan en comparar los resultados con aquellos reportados en el estudio de Ruiz et al. (2019). En dicha investigación, los autores llevaron a cabo pruebas similares, evaluando propiedades mecánicas como tracción, compresión en dirección paralela y perpendicular a las fibras, resistencia a la flexión y densidad volumétrica, lo cual facilita una comparación de los datos obtenidos en ambos estudios.

Esta comparación permitirá identificar similitudes y diferencias que puedan aportar un mejor entendimiento sobre el comportamiento del material en condiciones similares. Sin embargo, no se incluirá la comparación de los valores de dureza debido a que los autores utilizaron un método de medición de dureza distinto al empleado en el presente estudio, lo que podría afectar la precisión y la validez de una comparación directa. En la Tabla (9) se muestran los datos comparativos de las propiedades mencionadas.

Tabla 9.
Comparación propiedades mecánicas maderas plásticas.

Propiedad	Unidad	Ruiz et al. (2019)	Presente estudio
Tracción	Mpa	13,44	11,2
Compresión	Mpa	17,92	18,9
Densidad Volumétrica	Kg/m^3	838,35	194,9
Flexión	MPa	19,51	17,8

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran algunas similitudes y diferencias al compararse con los datos reportados por Ruiz et al. (2019). En el ensayo de tracción, el presente estudio arrojó un valor de 11,2 MPa, en contraste con los 13,44 MPa obtenidos por Ruiz et al., lo cual indica una menor resistencia a la tracción en las muestras analizadas en esta ocasión.

Este contraste podría atribuirse a diferencias en el tipo de material, en las condiciones de los ensayos o en factores específicos de cada investigación. En cuanto a la compresión, los valores obtenidos son bastante cercanos: 17,4 MPa en el presente estudio y 17,92 MPa en el estudio de referencia, lo que sugiere una consistencia en el comportamiento del material frente a cargas de compresión, aunque pequeñas variaciones podrían reflejar diferencias en la preparación de las muestras o en las condiciones de prueba.

Una diferencia notable surge en la densidad volumétrica, con una densidad de 194,9 kg/m³ en el presente estudio frente a los 838,35 kg/m³ reportados por Ruiz et al. Esta disparidad significativa sugiere posibles variaciones en la composición del material o en el procesamiento de las muestras, que podrían afectar de manera directa la densidad. En el caso de la resistencia a la flexión, ambos estudios presentan valores similares, con 17,8 MPa en este estudio y 19,51 MPa en el de Ruiz et al., lo que indica un comportamiento bastante parejo en cuanto a esta propiedad, aunque podrían influir algunas variaciones en el procesamiento o las características físicas de los materiales.

En conjunto, esta comparación revela tanto coincidencias como diferencias en los resultados, proporcionando un contexto más amplio para interpretar los hallazgos de esta investigación en relación con estudios previos, y resaltando áreas donde las propiedades del material parecen responder de manera consistente frente a ciertos tipos de esfuerzo y otras donde pueden estar influenciadas por factores metodológicos o composicionales.

7. Conclusiones

El estudio revela que el material evaluado es prometedor para aplicaciones de construcción de domos geodésicos con una resistencia a la tracción promedio de 11,2 MPa, estas maderas plásticas demuestran capacidades considerables para soportar cargas de tensión, robustez y fiabilidad estructural.

Los ensayos de compresión indican que estas maderas plásticas pueden resistir compresiones de hasta 18,9 MPa, lo cual las posiciona como una opción viable para aplicaciones donde la capacidad de soportar cargas concentradas y distribuidas es crucial.

La resistencia a la flexión promedio de 17,8 MPa subraya su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas transversales, siendo adecuadas para vigas y otros componentes estructurales.

Con una dureza Shore D promedio de 61,4, estas maderas plásticas ofrecen una superficie resistente al desgaste y duradera, ideal para aplicaciones donde la integridad estructural a largo plazo es crítica. La densidad volumétrica promedio de 194,9 kg/m³ equilibra eficazmente la resistencia con la ligereza, facilitando su manipulación y transporte en proyectos constructivos. Un obstáculo clave es la falta de normativas específicas en Colombia que respalden su uso en la construcción, limitando su aceptación en el mercado. Implementar estándares podría aumentar la confianza, fomentar la innovación y garantizar la seguridad en su aplicación. Comparado con estudios previos, las variaciones en propiedades como la densidad subrayan la importancia de un control de calidad más riguroso y una formulación estándar.

El estudio destaca las ventajas ambientales y de durabilidad de estos materiales, contribuyendo al desarrollo de alternativas sostenibles que promueven la reutilización de residuos plásticos. Se recomienda avanzar en la mejora del material y en la creación de un marco regulatorio que facilite su adopción en construcciones ecológicas, seguras y duraderas, consolidando su papel en la construcción sostenible.

8. Referencias bibliográficas

Florez B., L.F., & Jimenez O., A., (2017)., Estudio de viabilidad para la creación de una empresa de tablonos de madera plástica en la ciudad de pereira plastimader. Universidad Tecnológica

de Pereira. Recuperado de: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/adbf34a2-0e68-4698-be1e-55cd78576781/content>

Maderpol S.A.S., (2024). Maderpol. Recuperado de: <https://www.maderpol.com.co/>

Winandy, J.E. Stark., N.M., & Clemons., C.M., (2004). Considerations in recycling of wood plastic composites. USDA Forest Service. Recuperado de: <https://research.fs.usda.gov/treesearch/7118>

Power., M., (2004). The plastic building product revolution. Builder. Recuperado de: https://www.builderonline.com/products/building-construction-materials/the-plastic-building-product-revolution_o

ICONTEC., (2020). Procedimiento para el ensayo en cámara de niebla salina (NTC 1156). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ASTM INTERNATIONAL., (2019). Standard practice for operating salt spray (Fog) apparatus (ASTM B117). Recuperado de: <https://www.astm.org/>

ASTM INTERNATIONAL., (2023). Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics (ASTM D256). Recuperado de: <https://www.astm.org/>

ICONTEC., (2003). Determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo del IZOD (NTC 943). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2018). Método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles (NTC 6296). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2024). Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción

en los plásticos (NTC 595). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

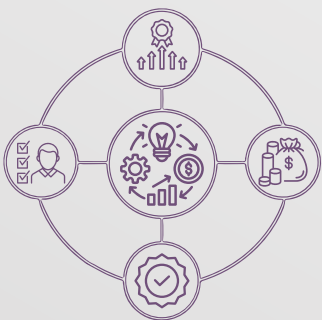
ICONTEC., (2019). Métodos de ensayo estándar para determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada y productos relacionados (NTC 6355). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2006). Propiedades del caucho, determinación de dureza con durómetro (NTC 467). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2018). Método de ensayo para sujetadores mecánicos en madera plástica y perfiles (NTC 6297). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

Ruiz A., J. C., Lozano O., D. A., & González M., J. S. (2019). propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica para uso en estructura de atención y prevención de desastres de la “ESMIC”. Revista Ingeniare, (27), 31+. Recuperado de: <http://dx.doi.org/bdigital.sena.edu.co/10.18041/1909-2458/ingeniare.27.6616>

Fecha de recepción: 26/03/2025
Fecha de aceptación: 03/05/2025



Impacto de los procesos formativos en la
COMPETITIVIDAD PROFESIONAL:
Norma ISO/IEC 17024

IMPACT OF TRAINING PROCESSES ON PROFESSIONAL
COMPETITIVENESS: ISO/IEC 17024 STANDARD

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



1.1. Abstract.

Training programs offered in educational institutions seek to respond to occupational, economic, and development needs of the territories, through competency-based curricula, aiming to train competent, highly qualified, proactive professionals capable of facing emerging challenges in a world mediated by technologies that promote the increase of competitiveness indicators, improving living conditions and employment opportunities.

It is therefore imperative to ensure that graduates have the ability to use the knowledge, skills, and know-how that have been acquired or developed during their training.

The ISO/IEC 17024 standard, 'Conformity assessment – General requirements for bodies operating certification of persons,' describes the requirements for the certification of professionals, based on a certification scheme that, in turn, references labor competence standards. This standard becomes an opportunity for improvement that complements educational processes. A case study is presented, conducted with professionals from the Energy Efficiency sector in the capitals of El Salvador and Panama (32 and 30 participants respectively), demonstrating a positive impact on their competitiveness following the development of training units.

Keywords: Competitiveness, Work competencies, ISO 17024, Certification, Training.

2. Introducción

La demanda de profesionales en el ámbito empresarial requiere no solo de personas con titulaciones académicas, sino de personas que demuestren su competencia laboral, pues esto, trae consigo la reducción de costes para las organizaciones y se evitan procesos tales como inducciones y/o reprocesos internos, que tengan repercusiones negativas en la productividad, tal como lo afirman (Medeiros y otros, 2019) la formación del personal constituye uno de los factores que incide directamente en la competitividad empresarial.

1. Resumen

Los programas de formación ofertados en instituciones de educación procuran dar respuesta a necesidades ocupacionales, económicas y de desarrollo de los territorios, a través de mallas curriculares basadas en competencias, buscando la formación de profesionales competentes, altamente calificados, proactivos, capaces de afrontar retos emergentes en un mundo mediado por las tecnologías que propendan por el incremento de indicadores de competitividad, mejorando las condiciones de vida y las oportunidades de empleo.

Se convierte entonces en imperativo garantizar que los egresados tengan la capacidad de emplear el saber, el hacer y el saber – hacer que hayan sido adquiridos o desarrollados durante la formación.

La Norma ISO/IEC 17024 "Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos que realizan certificación de personas", describe los requisitos para la certificación de profesionales, basado en un esquema de certificación que, a su vez, tiene como referencia, normas de competencia laboral. Esta norma se convierte en una oportunidad de mejora que complementa los procesos educativos.

Se presenta un estudio de caso realizado en profesionales del sector de Eficiencia Energética en las capitales de El Salvador y Panamá (32 y 30 participantes respectivamente), evidenciando un impacto positivo en su competitividad, luego del desarrollo de las unidades de formación.

Palabras Clave: Competitividad, Competencias labores, ISO 17024, Certificación, Formación

La Organización Internacional del Trabajo – OIT ha estado estandarizando la clasificación internacional de ocupaciones CIUO, la cual “pretende facilitar la comunicación internacional sobre las ocupaciones proporcionando a los estadísticos un marco que permita disponer de datos ocupacionales comparables a nivel internacional”, (Organización Internacional del Trabajo - ILOSTAT, 2024), en coherencia, los organismos de normalización han venido desarrollando normas de competencia laboral que responden a las necesidades sectoriales y brindan uniformidad ocupacional favoreciendo la movilidad de los profesionales.

3. Contenido

Los procesos de formación ofertados hoy día procuran dotar de habilidades a los profesionales de tal manera que se dé, una efectiva inclusión laboral de los egresados en los diferentes sectores industriales, sin embargo, de acuerdo con (Zaballa Gomaríz y otros, 2021), la falta de competencia laboral es uno de los factores que influyen en el incremento de los índices de rotación de personal a nivel empresarial. En consecuencia y según (Roque Patricio & Márquez Amaro, 2024), los perfiles de trabajo deberían diseñarse por competencias laborales, como estrategia para disminuir la tasa de rotación de personal.

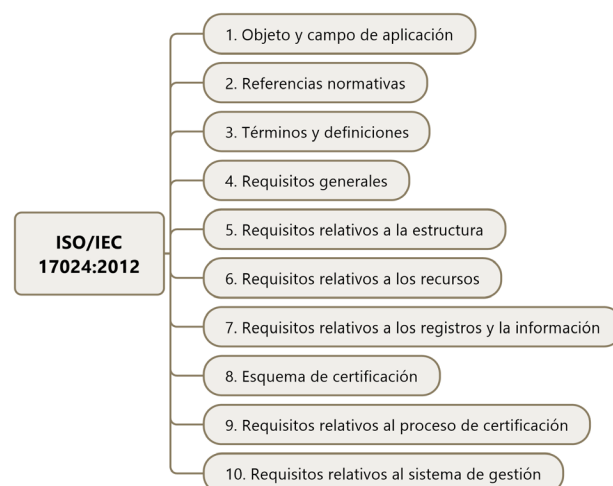
En virtud de lo anterior, la certificación de la competencia laboral toma relevancia como proceso complementario e independiente que permite el incremento de la confianza de las partes interesadas (ICONTEC Internacional, 2013) en ocupar los servicios de los profesionales.

3.1. Norma ISO/IEC 17024.

Tiene como propósito brindar las pautas necesarias para que un organismo independiente de la formación realice actividades para verificar la competencia laboral adquirida por sus participantes, constituyéndose en un organismo de certificación de personas, que puede ser acreditado por un organismo de acreditación que vela por la transparencia de sus actuaciones en pro de salvaguardar la imparcialidad, confidencialidad y seguridad de los procesos de certificación.

Esta norma está compuesta por las cláusulas que se muestran en la figura 1.

Figura 1.
Cláusulas ISO/IEC 17024



Nota. Elaboración propia.

Cómo se observa en la figura 1, la cláusula 8 “Esquema de certificación”, describe los elementos generales que deben tenerse en cuenta para determinar que un profesional es competente, en otras palabras, define las características que debe reunir el profesional, incluyendo prerrequisitos, requisitos y condiciones mínimas de aprobación de evaluación teórica y práctica.

Entre tanto, la cláusula 9 “Proceso de certificación”, define el protocolo general que debe tenerse en cuenta para garantizar la valoración de la competencia laboral con imparcialidad, confidencialidad y seguridad, garantizando la objetividad de las actuaciones.

3.2. Medición del impacto de la formación en la competitividad profesional.

Determinar el nivel de competencia laboral (saber, hacer y saber – hacer) desarrollado por los participantes de los procesos formativos, es una actividad que en principio y por objetividad debe ser adelantada por personas que no hayan participado del proceso de formación, de tal manera que no solo refleje la pertinencia de los contenidos abordados durante la fase lectiva, sino también

de las estrategias pedagógicas empleadas para el desarrollo de los contenidos.

Este estudio de caso pretende mostrar cómo llevar a cabo el proceso de verificación de competencias laborales, empleando como documento de referencia la Norma ISO/IEC 17024, con el fin de determinar el impacto que produce la formación basada en competencias laborales en la competitividad de los profesionales en eficiencia energética que participaron en el proceso.

4. Metodología

Se emplearon estrategias de enfoque cuantitativo. Lo que en este caso particular implicó el diseño de instrumentos de simulación (Ver Tabla 1) de la operación de un organismo de certificación de personas acreditado en la Norma ISO/IEC 17024 para cada país, a fin de hacer lo más realista posible los ejercicios de evaluación.

Tabla 1.
Instrumentos de simulación

No.	Instrumento
1.	Trazabilidad de procesos
2.	Lista de asistencia
3.	Retroalimentación
4.	Procedimiento Imparcialidad
5.	Procedimiento Evaluación
6.	Manual Funciones Supervisor
7.	Esquema de certificación
8.	Código de ética
9.	Examen teórico
10.	Examen práctico
11.	Banco de preguntas

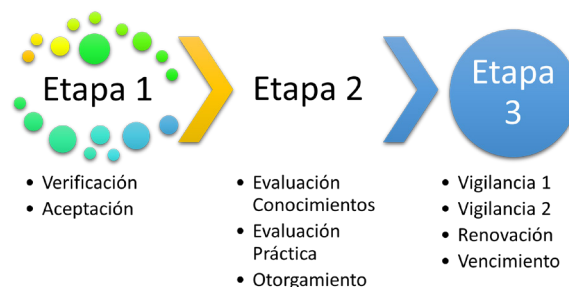
Nota. Elaboración propia.

Teniendo presente que este enfoque metodológico implica “desprenderse de sus propios valores, de su orientación político – ideológica, sus concepciones acerca del bien y el mal, de lo justo y lo injusto, de lo que deseamos para nosotros y los otros, etc.”, (Dalle, Boniolo, Sautu, & Elbert, 2005, pág. 40), lo que es coherente con lo expresado por (Grinell, 2005) “los fenómenos que se observan o miden no deben ser afectados

por el investigador”, y a su vez se enmarca en uno de los principios fundamentales de la Norma ISO/IEC 17024 en relación con la imparcialidad de los procesos de certificación, se plantea una evaluación independiente del proceso formativo que permita determinar objetivamente las condiciones en relación con las competencias laborales de los profesionales en eficiencia energética tanto antes como después de la formación.

Para poder llevar a cabo el proceso de verificación de competencias, se recrearon las condiciones que dan respuesta a los requisitos del proceso de certificación establecidos en la Norma ISO/IEC 17024, cláusulas 8 y 9, lo que incluye el desarrollo de los documentos propios de un proceso de certificación, así como, su trazabilidad, ver figura 2. El esquema básico de certificación se construye a partir de las competencias descritas en cada módulo formativo.

Figura 2.
Proceso de Certificación



Nota. Elaboración propia.

El proceso de certificación abarcó las etapas 1 y 2 relacionadas en la figura. 2, se excluye la etapa 3 debido a que involucra actividades de vigilancia y recertificación que no son aplicables. El proceso de verificación de competencias laborales simulando un organismo de certificación, se adelantó en tres fases.

4.1. Fase I - Planificación.

1. Identificación de tareas para evaluación de entrada y salida, así como, cronología.

2. Verificación de recursos.
3. Identificación y tipificación de informes.

4.2. Fase II - Alistamiento.

1. Documentos Norma ISO/IEC 17024 Cláusulas 9, proceso de certificación.
2. Esquema de Certificación Norma ISO/IEC 17024 Cláusula 8.
3. Plataformas de evaluación.
4. Banco de preguntas.
5. Verificación de protocolos de confidencialidad, seguridad e imparcialidad.

4.3. Fase III - Implementación.

Las evaluaciones se llevaron a cabo antes y después del proceso de formación, incluyendo:

1. Formato de Solicitud
2. Identificación del participante
3. Conflicto de interés
4. Código de ética
5. Programación evaluación teórico - práctica
6. Concepto de competencia y Retroalimentación

5. Resultados

El proceso de simulación de la evaluación mediante un organismo de certificación se llevó a cabo en los módulos y competencias relacionadas en la tabla 2.

Tabla 2.
Módulos y competencias

Módulo	Competencias
I	8
II	6
III	4
IV	4

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior los participantes presentaron 22 evaluaciones antes de iniciar y 22 al finalizar el proceso formativo. Para los ejercicios evaluativos se contó con un banco de preguntas tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.
Banco de Preguntas

Módulo	Entrada	Salida	Total
I	90	90	180
II	90	90	180
III	60	60	120
IV	60	60	120
Total	300	300	600

Nota. Elaboración propia.

La tabla 4, muestra la cantidad de preguntas aplicadas a cada participante por evaluación.

Tabla 4.
Preguntas por evaluación

	Módulo			
	I	II	III	IV
Preguntas	24	18	20	20

Nota. Elaboración propia.

Se convocaron 60 participantes, profesionales en eficiencia energética, de los cuales 30 eran de El Salvador y 30 de Panamá, posteriormente se vincularon 2 profesionales más de El Salvador. La aplicación de procesos de evaluación se llevó a cabo tal como se observa en las tablas 5 y 6.

Tabla 5.
Procesos de entrada

	Módulo			
	I	II	III	IV
Panamá	29	29	29	29
El Salvador	32	32	32	32

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6.
Procesos de salida

	Módulo			
	I	II	III	IV
Panamá	29	29	29	29
El Salvador	32	32	30	30

Nota. Elaboración propia.

Para obtener los porcentajes de variación de la competencia laboral en los participantes, se agruparon separadamente los módulos I – II y III – IV, dado que se ejecutaron en distintos momentos. La variación de la competencia laboral obtenida en la evaluación teórica (inicio y salida del proceso formativo) se resume por país en las tablas 7 y 8.

Tabla 7.
Resultados El Salvador

	Inicio	Salida	Variación
I -II	53%	84%	+31%
III – IV	6%	37%	+31%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8.
Resultados Panamá

	Inicio	Salida	Variación
I -II	72%	83%	+11
III - IV	3%	21%	+18%

Nota. Elaboración propia.

La variación de la competencia laboral obtenida en la evaluación práctica (inicio y salida del proceso formativo) se resume por país en las tablas 9 y 10.

Tabla 9.
Resultados El Salvador

	Inicio	Salida	Variación
I -II	13%	41%	+28%
III - IV	16%	53%	+37%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10.
Resultados Panamá

	Inicio	Salida	Variación
I -II	21%	72%	+51%
III - IV	3%	59%	+56%

Nota. Elaboración propia.

6. Conclusiones

La implementación de los protocolos establecidos en la norma ISO/IEC 17024 tuvieron un impacto positivo, en particular en el reconocimiento de debilidades en las estrategias de enseñanza empleadas por los docentes en el desarrollo de los procesos formativos, así como la necesidad de incentivar la participación activa en los procesos de enseñanza – aprendizaje.

De otro lado, fue notorio el impacto que se generó en los propios participantes, al vislumbrar la competencia real, no imaginaria, que se tiene en el área de la profesión, pues una vez puestos en contexto productivo mediante las evaluaciones teórico – prácticas, se generó un proceso de autoevaluación que incentivo su motivación y preocupación por el desarrollo profesional.

La ejecución de la evaluación de competencias laborales permitió evidenciar la necesidad de que las instituciones de educación implementen procesos de verificación de competencias en sus programas de formación de manera objetiva, sin que se involucren, los docentes responsables de la formación. Así mismo, que estos procesos sean asumidos como estrategia para identificar oportunidades de mejora tanto por la institución como por profesores y estudiantes.

7. Referencias bibliográficas

Dalle, P., Boniolo, P., Sautu, R., & Elbert, R. (2005). Manual de metodología. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología. (C. L. CLACSO, Ed.) Buenos Aires, Argentina. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/collect/clacso/index/assoc/D1532.dir/sautu2.pdf>

Grinell, R. M. (2005). Social work research of evaluation quantitative and qualitative approaches (6a ed.). (O. U. Press, Ed.) New York, EE.UU.

ICONTEC Internacional. (2013). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17024. Bogotá, Colombia.

Medeiros, V., Gonçalves Godoi, L., & Camargos Teixeira, E. (Diciembre de 2019). La competitividad y sus factores determinantes: un análisis sistémico para países en desarrollo. Revista de la CEPAL(129), 7 - 21. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/736f2d22-adfd-4b83-82c2-dd5b47ad1d4f/content>

Organización Internacional del Trabajo - ILOSTAT. (2024). Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO). <https://ilostat.ilo.org/es/methods/concepts-and-definitions/classification-occupation/>

Roque Patricio, C. E., & Márquez Amaro, R. (2024). Manual de perfiles de puestos por competencias como estrategia para reducir la rotación del personal. Revista Publicando, 11(41), 12-24. <https://doi.org/10.51528/rp.vol11.id2402>

Zaballa Gomaríz, P. E., El Assafiri Ojeda, Y., Medina Nogueira, Y. E., Nogueira Rivera, D., & Medina León, A. (2021). Procedimiento para el análisis de la rotación del personal. ACADEMO - Revista de Investigación en Ciencias Sociales y Humanas, 8(1), 29-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.30545/academo.2021.ene-jun.3>

Fecha de recepción: 27/11/2024
Fecha de aceptación: 19/04/2025



Generación de un *modelo* para el
ANÁLISIS del **IMPACTO**
de la *Comunicación* sobre la *Productividad*

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ANALYZING THE IMPACT
OF COMMUNICATION ON PRODUCTIVITY

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Keywords: Communication Efficiency, Employee Performance, Organizational Communication, Productivity.

2. Introducción

La comunicación organizacional es un factor crítico que influye en la productividad y el rendimiento de las empresas. Este artículo de revisión se centra en analizar cómo la comunicación del talento humano impacta la . Ya que, a pesar de los esfuerzos gubernamentales por mejorar la productividad a través de programas como “Fábricas de Productividad”, la falta de un sistema de comunicación eficiente puede obstaculizar significativamente estos avances. Además, la pandemia de COVID-19 ha transformado la dinámica de la comunicación empresarial con muchas empresas adoptando el trabajo remoto, lo que puede afectar la motivación y la productividad de los empleados.

Se plantea la hipótesis de que un sistema de comunicación eficiente, combinado con un clima organizacional adecuado y una correcta expresión oral y corporal por parte de los miembros de la organización, puede impactar positivamente la productividad. Este enfoque se fundamenta en estudios previos que demuestran cómo la comunicación efectiva puede influir en el comportamiento y el rendimiento de los empleados. Por ejemplo, (Hoffmann & Thommes, 2024) encontraron que los mensajes del empleador con un tono positivo y una orientación colectiva mejoraron significativamente la eficiencia energética de los empleados, resaltando la importancia de la comunicación cuidadosa y bien diseñada en el entorno laboral.

El desarrollo personal de los empleados también juega un papel crucial. (Mmutle, 2021) destaca la importancia del “LG-way”, una filosofía de gestión que enfatiza el uso del lenguaje verbal y corporal para mejorar la sensación de pertenencia y compromiso. Los gerentes de LG Electronics subrayan que un líder comprometido puede generar un mayor sentido de pertenencia en su equipo, mejorando así el rendimiento general.

1. Resumen

Este artículo de revisión explora el impacto de la comunicación organizacional en la productividad empresarial. A través de la revisión de varios estudios recientes, se identificaron variables clave que incluyen la transmisión de emociones en los mensajes, la orientación del mensaje, la claridad de los objetivos, la inclusión de los empleados en la toma de decisiones, la frecuencia de interacciones, la topología de la red de comunicación, y la gestión de techno-estresores. Los hallazgos sugieren que una comunicación eficiente, bien diseñada y adaptada a las necesidades del entorno laboral puede mejorar significativamente la productividad y el rendimiento de los empleados.

Palabras clave: Comunicación eficiente, Desempeño de los empleados, Comunicación Organizacional, Productividad.

1.1. Abstract.

This review article explores the impact of organizational communication on business productivity. Through the review of several recent studies, key variables were identified, including the transmission of emotions in messages, message orientation, clarity of objectives, employee inclusion in decision-making, frequency of interactions, network communication topology, and management of techno-stressors.

The findings suggest that efficient, well-designed communication tailored to the needs of the work environment can significantly enhance employee productivity and performance.

Además, otros estudios han identificado factores adicionales que influyen en la productividad. (Shi, Chen, & Cheung, 2023) exploraron cómo los tecno-estresores y la relación entre la vida laboral y familiar pueden afectar el rendimiento. (Hagemann, Watermann, Klonek, & Heinicke, 2023) encontraron que una correcta definición de los objetivos organizacionales y la gestión de la carga laboral son esenciales para mantener un alto rendimiento. Finalmente, (Dutta, y otros, 2021) subrayan la relevancia de la frecuencia de las interacciones y la topología de la red de comunicación dentro de la organización para predecir la productividad.

Esta revisión examina estos estudios y teorías relevantes para identificar las mejores prácticas y las variables clave que afectan la comunicación organizacional y, por ende, la productividad empresarial.

3. Metodología

Para esta revisión, se seleccionaron estudios publicados entre 2021 y 2024 que investigan la relación entre la comunicación organizacional y la productividad. Utilizando bases de datos como Google Scholar, Scopus, Web of science y Access Engineering. Aplicando criterios de inclusión que consideraban estudios con metodologías robustas y resultados relevantes. El análisis se centró en identificar patrones comunes y diferencias significativas entre los estudios revisados para diseñar un instrumento que pueda medir la eficiencia de un sistema de comunicación en relación a la productividad.

4. Autores relevantes y análisis de variables de trabajo

En este estudio se encontró que las variables clave de la comunicación organizacional tienen un impacto significativo en la productividad empresarial. A continuación, se presentan los autores relevantes que desarrollan la temática sobre comunicación organizacional y productividad y enlaza los resultados del estudio de esta interacción.

4.1. Hoffmann y Thommes (2024):

Los mensajes que transmiten emociones positivas y utilizan una orientación inclusiva (pronombres como “nosotros”) mejoraron la eficiencia y productividad de los empleados. El impacto de estos mensajes se mantuvo por hasta seis días.

4.2. Mmutle (2022):

La inclusión de los empleados en la toma de decisiones y el uso de plataformas tecnológicas efectivas para la comunicación mejoraron significativamente la eficiencia y compromiso de los empleados, aumentando la productividad.

4.3. Shi, Chen, y Cheung (2023):

Los tecno-estresores y el equilibrio entre la vida laboral y familiar influyen en la productividad. Un alto nivel de tecno-estresores reduce la satisfacción y productividad laboral, mientras que una buena conectividad tecnológica mejora el rendimiento.

4.4. Hagemann, Watermann, Klonek, y Heinicke (2023):

La claridad de los objetivos, el flujo de información eficiente y la gestión adecuada de la carga de trabajo son esenciales para mejorar la eficiencia y satisfacción laboral, lo que a su vez aumenta la productividad.

4.5. Dutta, Steiner, Proulx, Berisha, Bliss, Poole, y Corman (2021):

La frecuencia de interacciones y la topología de la red de comunicación (cómo se conectan los empleados) son indicadores clave de la productividad. Un sistema de comunicación con frecuencia adecuada y red bien conectada mejora la cohesión y rendimiento del equipo.

Basado en la revisión de literatura que sirve de base a este estudio, se seleccionaron las variables más relevantes con respecto a la eficiencia de un sistema de comunicación

y se identificaron las siguientes variables cuantificables que influyen en la eficiencia de la comunicación organizacional, las cuales se presentan a continuación.

5. Selección de las variables de trabajo

5.1. Emociones Transmitidas en los Mensajes:

Propuesta por Hoffmann y Thommes (2024). Medida en una escala de Likert (1 a 5). Mide el tono emocional de los mensajes internos dentro de la organización, evaluando si los mensajes transmiten emociones positivas (como motivación, aliento) o negativas (como reprimenda, crítica). Se puede evaluar la frecuencia en que los mensajes recibidos son positivos en una escala de 1 a 5

5.2. Orientación del Mensaje:

Propuesta también por Hoffmann y Thommes (2024). Permite medir el porcentaje de mensajes usando pronombres inclusivos. Refleja la orientación inclusiva de los mensajes, es decir, si los mensajes usan pronombres inclusivos (“nosotros”) frente a pronombres exclusivos (“tú”, “ellos”).

Para obtenerla, se debe realizar un análisis de texto de las comunicaciones internas (correos electrónicos, comunicados, etc.) para calcular el porcentaje de mensajes que utilizan pronombres inclusivos frente a pronombres exclusivos.

5.3. Inclusión de los Colaboradores en la Toma de Decisiones:

Propuesta por Mmutle (2022), sobre una escala de medición de Likert (1 a 5). Esta variable puede medirse mediante encuestas a los empleados utilizando una escala de Likert (1 a 5), en la que se les pregunte sobre su percepción del nivel de inclusión en la toma de decisiones.

5.4. Nivel de Tecno-Estresores:

Propuesta por Shi, Chen, y Cheung (2023): bajo una Escala de Likert (1 a 5). Mide el nivel de estrés causado por el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en el trabajo medible a partir de encuestas de autoinforme que evalúe el nivel de estrés percibido relacionado con las TICs, utilizando una escala de Likert (1 a 5).

También se pueden emplear cuestionarios específicos de tecnóstresores, como el “Technostress Questionnaire” proporcionado por la APA.

5.5. Claridad de Objetivos:

Propuesta por Hagemann, Watermann, Klonek, y Heinicke (2023): Escala de Likert (1 a 5). Medible mediante una encuesta con una escala de Likert (1 a 5) que pregunte a los empleados sobre su percepción de la claridad de los objetivos y metas organizacionales O un examen que evalúe los conocimientos de los miembros de la organización respecto a los objetivos y metas organizacionales.

5.6. Frecuencia de Interacciones:

Propuesta por Dutta, Steiner, Proulx, Berisha, Bliss, Poole, y Corman (2021): Número promedio de interacciones diarias.

Se puede calcular a través de registros de correo electrónico, chats internos, llamadas, o reuniones registradas, contando la cantidad de interacciones diarias por empleado. También puede ser estimada mediante encuestas.

5.7. Topología de la Red de Comunicación:

Grado promedio de la red. Igualmente, propuesta por Dutta, Steiner, Proulx, Berisha, Bliss, Poole, y Corman (2021)

Herramientas de análisis de redes sociales (SNA) para mapear las interacciones entre empleados dentro de la organización.

Esto puede ser hecho a partir de datos de correo electrónico, chats internos u otros sistemas de comunicación. El “grado promedio” es una medida común de la topología de la red, que indica cuántas conexiones tiene, en promedio, cada empleado dentro de la red.

Para el análisis se expresa la correlación que debe coexistir y validarse sobre un estudio de caso.

Se presenta en la tabla 1 una matriz de correlación de variables que involucran los factores de comunicación organizacional y productividad anteriormente definidos.

Tabla 1.
Matriz de correlación Comunicación-Productividad

Productividad Comunicación	Nivel Tecnológico	Tasa de Trabajo	Ganancia por Colaborador	Tasa de Absentismo	Tasa de Rotación	Capacidad Productiva
Emociones Transmitidas	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Orientación del Mensaje	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Inclusión en Decisiones	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Nivel de Tecno-Estresores	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Claridad de Objetivos	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Frecuencia de Interacciones	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1

Nota. Elaboración propia.

6. Modelo de trabajo Propuesto

El modelo de regresión propuesto para evaluar un sistema de comunicación organizacional con las variables más representativas se formula de la siguiente manera:

Ecuación.1. Ecuación índice del Sistema comunicación. (I.S.C)

$$I.S.C = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6 + \beta_7$$

$$I.S.C = \beta_0 + \beta_1 (\text{Emociones Transmitidas}) + \beta_2 (\text{Orientación del Mensaje}) + \beta_3 (\text{Inclusión en Decisiones}) + \beta_4 (\text{Nivel de Tecno-Estresores}) + \beta_5 (\text{Claridad de Objetivos}) + \beta_6 (\text{Frecuencia de Interacciones}) + \beta_7 (\text{Topología de la Red}) + \epsilon$$

Este modelo bajo la cuantificación de las variables permite generar una relación directamente proporcional entre el valor máximo del I.S.C y la robustez del sistema de comunicación, es decir entre mas alto sea el valor del índice más robusto será el sistema evaluado.

7. Conclusiones

La revisión de la literatura sugiere que una comunicación organizacional bien diseñada puede tener un impacto significativo en la productividad empresarial.

Los estudios revisados destacan la importancia de los mensajes positivos y

orientados colectivamente para fomentar comportamientos deseados, así como el uso adecuado de la tecnología y su influencia en la organización.

También se señala la relevancia de la frecuencia y la cantidad de interacciones entre los miembros de un grupo de trabajo como factores que influyen en la productividad.

No obstante, es necesario llevar a cabo estudios futuros para explorar la aplicación de estas estrategias en diferentes contextos y con diversas tecnologías de comunicación. Además, se debe investigar la relación entre estos elementos de la comunicación y diversos indicadores de productividad, con el fin de comprender cómo afecta la comunicación a la productividad.

Es fundamental aplicar instrumentos que ayuden a las organizaciones a diseñar sistemas de comunicación eficientes y que pueda adaptarse a las necesidades específicas de cada empresa.

El desarrollo del modelo propuesto permite a posteriori pasar a un modelo de optimización que involucre los coeficientes de correlación que podrá servir de insumo para producir estándares de mayor eficiencia en el sistema de comunicación, en función de la productividad.

8. Referencias Bibliográficas

Dutta, A., Steiner, E., Proulx, J., Berisha, V., Bliss, D. W., Poole, S., & Corman, S. (2021). Analyzing the relationship between productivity and human communication in an organizational setting. *PLoS One*, 17.

Hagemann, V., Watermann, L., Klonek, F., & Heinicke, C. (2023). Communication quality affects performance of astronauts and support teams through increased workload: Insights from the AMADEE-20 analog Mars mission. *Acta Astronautica*, 14.

Hoffmann, C., & Thommes, K. (2024). Can leaders motivate employees' energy-efficient behavior with thoughtful communication? *Journal of Environmental Economics and Management*, 24.

Mmutle, s. (2021). (Re-)Positioning and recognising the influence of internal communication on employee engagement for maximum organisational performance. *Communicare: Journal for Communication Studies in Africa*, 17.

Shi, S., Chen, Y., & Cheung, C. M. (2023). How technostressors influence job and family satisfaction: Exploring the role of work-family conflict. *Information Systems Journal*, 33.

Fecha de recepción: 13/02/2025

Fecha de aceptación: 22/02/2025



Aplicación de investigación de operaciones en
RECOLECCIÓN TEXTIL
con logística inversa y programación lineal

APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH IN TEXTILE COLLECTION
WITH REVERSE LOGISTICS AND LINEAR PROGRAMMING

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg.Ing. Manuel Méndez Flórez

Tecnológico de Costa Rica
manmendez@itcr.ac.cr



Est. Camila Isabel Ulate Chaves

Tecnológico de Costa Rica
caulate@estudiantec.cr



Est. Fabiana Arias Rosales

Tecnológico de Costa Rica
fabiana0744@estudiantec.cr



Est. Ian de Jesús Calvo Madrigal

Tecnológico de Costa Rica
iacalvo@estudiantec.cr



Est. Yurgen Isack Cambronero Mora

Tecnológico de Costa Rica
ycambronero@estudiantec.cr



1. Resumen

La industria textil se enfrenta a serios desafíos ambientales, especialmente por el modelo de “Fast Fashion” que se caracteriza por la producción masiva de ropa con un ciclo de vida corto. Este modelo promueve la cultura de “usar y tirar” que genera gran cantidad de desechos textiles y desafía los principios de la economía circular cuyo objetivo es prolongar la vida útil de los productos y reincorporar materiales al sistema industrial. Este artículo propone la logística inversa como solución para mitigar este problema enfocándose en estrategias como la remanufactura y el reciclaje. Por medio del uso de la programación lineal aplicado al problema de ruteo de vehículos (VRP), se analiza cómo optimizar las rutas de recolección de textiles posconsumo. Los resultados muestran que una planificación eficiente de las rutas puede reducir costos y mejorar la recolección, contribuyendo significativamente a la reducción de desechos y el impacto ambiental. El estudio muestra la importancia de implementar estrategias de logística inversa en la industria textil para seguir los principios de la economía circular y mitigar los efectos negativos de la moda rápida.

Palabras claves: economía circular, moda rápida, impacto ambiental, industria textil, logística inversa, programación lineal, ruteo de vehículos.

1.1. Abstract

The textile industry faces serious environmental challenges, particularly due to the “Fast Fashion” model, which is characterized by the mass production of clothing with a short lifecycle. This model promotes a “use-and-dispose” culture that generates a significant amount of textile waste and challenges the principles of the Circular Economy, which aims to extend the life of products and reincorporate materials into the industrial system. This article proposes reverse logistics as a solution to mitigate this problem, focusing on strategies such as remanufacturing and recycling. Through the use of linear programming applied to the Vehicle Routing Problem (VRP), it examines how to optimize post-consumer textile collection routes. The results show that efficient route planning can reduce costs and improve collection, significantly contributing to waste reduction and environmental impact. The study highlights the importance of implementing reverse logistics strategies in the textile industry to adhere to Circular Economy principles and mitigate the negative effects of fast fashion.

Keywords: circular economy, environmental impact, fast fashion, textile industry, reverse logistics, linear programming, vehicle routing

2. Introducción

En la actualidad, uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta la sociedad moderna es el consumismo desenfrenado, especialmente visible en la industria textil, con la moda como un actor central. Un modelo paradigmático de este fenómeno es el “Fast Fashion” o “Moda Rápida”, que se refiere a la producción masiva de ropa a bajo costo, diseñada para ser utilizada por un breve periodo antes de ser desechada.

Este modelo promueve un ciclo de vida extremadamente corto para las prendas, lo que resulta en un aumento significativo de los desechos textiles y agrava los problemas medioambientales (Jaamaa & Kaipia, 2022). La moda rápida fomenta la cultura del “usar y tirar”, incentivada por la venta masiva a precios bajos (Sumo et al., 2023).

Esta tendencia contraviene los principios de la Economía Circular (EC), cuyo objetivo es prolongar los ciclos de vida de los productos y reincorporar los materiales al sistema industrial (Acosta Calderón & Velandia Sarmiento, 2022). Actualmente, la gestión predominante de los residuos textiles se basa en la incineración o en su disposición en vertederos, métodos que no maximizan el valor inherente de los textiles ni su durabilidad a largo plazo (Jaamaa & Kaipia, 2022).

Ante los efectos perjudiciales de la moda rápida en el mercado, surge la necesidad de enfocar la logística inversa en la industria textil, con el fin de explorar formas de maximizar la reutilización de materiales, aumentar la durabilidad de los productos y mitigar las consecuencias derivadas del alto consumo de productos textiles. Para que esto sea posible se necesitan un conjunto de políticas para abordar las causas iniciales y las posteriores de la incineración o desecho de productos y de esta manera que se promueva la reutilización, reparación y donación. (Roberts et al., 2023). La logística inversa promueve un equilibrio económico y ambiental, con el fin que esta industria sea más sostenible. (González-Castillo et al., 2023)

Considerando las implicaciones ambientales y de consumo de la moda rápida, la logística inversa se presenta como una solución viable para reducir los impactos negativos de la hiperproducción y el consumo en la industria textil. Este artículo propone la aplicación de programación lineal para optimizar el sistema de recolección domiciliar de prendas que han cumplido su ciclo de vida útil.

El objetivo es mejorar la eficiencia de la recolección de textiles posconsumo, reduciendo los costos y que promueva la

economía circular. Con la optimización de las rutas de recolección, se busca minimizar el impacto ambiental. Además, este sistema permitirá a los consumidores devolver prendas que ya no utilicen, facilitando así su reintegración en el ciclo de vida del producto y otorgándoles una segunda vida útil.

3. Metodología

1. Estrategia de búsqueda: La estrategia de búsqueda utilizada fue mediante palabras claves y conceptos principales para la investigación del tema, estas fueron: “logística inversa”, “programación lineal”, “transporte” e “industria textil”, combinando las palabras mencionadas antes, para abarcar la mayor cantidad de revistas posibles; así se identificaron los estudios más relevantes para la revisión y relacionados con la temática de la revisión bibliográfica. Se optó por revistas que fueran altamente citados y altas referencias.

2. Criterios de selección: Los artículos seleccionados fueron por medio de criterios de la relevancia con el tema relacionado en los que se analizara la logística inversa en la industria textil y la aplicación de la programación lineal en la misma. Se evaluó el resumen provisto por los autores para analizar la aplicabilidad en el contexto a investigar.

3. Recuperación de la Información: La búsqueda bibliográfica para la realización de la revisión se hizo por medio de las bases de datos Web of Science y Google Scholar, se obtuvieron las revistas científicas como la fuente principal de información. Para la realización y organización de las referencias se utilizó Mendeley.

4. Evaluación de la calidad de los artículos seleccionados: Se realizó una evaluación del resumen provisto por los autores para analizar la aplicabilidad en el contexto a investigar. Este paso permite poder encontrar información que sea de utilidad para el desarrollo de la revisión bibliográfica.

5. Análisis de la variabilidad, fiabilidad y validez de los artículos: El análisis utilizado para este trabajo fue una lectura exhaustiva

de las revistas científicas seleccionadas, analizando su contenido, resultado y conclusiones. De esta manera se puede asegurar que su contenido sea provechoso en la revisión bibliográfica.

4. Resultados

En la revisión se encontró la implementación de estrategias de logística inversa utilizadas en la industria textil incluyendo reciclaje, reutilización, remanufactura y reparación; esto permitió una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de mejorar la eficiencia de la operación en el transporte para minimizar costos y maximizar la carga.

Figura 1.
Ciclo de logística inversa en la industria textil



Nota. Elaboración propia.

La industria textil es una de las más contaminantes actualmente debido al consumo de energía y agua dulce, reducción de materia primas y uso de fertilizantes (Yavari, 2019). La utilización de ropa de segunda mano va a permitir una reducción considerable de las emisiones que promueven el efecto invernadero en un 53% además que la contaminación de las fábricas que las producen y los procesos de producción química tendrían una reducción del 45%. Tanto promover el reciclaje como la reutilización

va a fomentar una reducción del uso de los recursos naturales para la producción de nuevas prendas de ropa (García et al., 2020).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en la actualidad se reciclan 2.6 millones de toneladas de productos textiles por año. Se informó que el reciclaje de textiles ha tenido un gran impacto en la reducción del efecto invernadero, más que el reciclaje de otros productos más populares como lo es el plástico y el vidrio. Tanto la reutilización como el reciclaje de la ropa equivalen a retirar 1.3 millones de carros y sus emisiones de CO₂ de las carreteras de Estados Unidos según EPA (Yavari, 2019).

En la actualidad Brasil no ha logrado las metas del reciclaje la reutilización de los residuos textiles por ende debe recurrir a directamente su desecho o incineración. Brasil ha tenido una pérdida de 600 millones de dólares debido a su falta de un manejo correcto de los textiles (García et al., 2020).

Las cadenas de suministro de industria textil y de moda se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Se ha dejado de lado los objetivos de “Vida en el Agua y la Tierra”, “Fin de la Pobreza” y “Reducción de Desigualdades”, el manejo correcto de los desechos textiles puede ser la solución a estos objetivos que se tienen para el 2030. (Cai & Choi, 2020).

En la información mostrada anteriormente se puede recalcar la importancia de un plan de logística inversa de los textiles. Para abordar el problema de manera correcta, se propone cambiar el proceso actual de desechos de los productos textiles, centrando la interacción de los diferentes componentes textiles para aumentar la cantidad de materiales reciclados y devolverlos al proveedor considerando aspectos ambientales, económicos y sociales. (Dissanayake & Pal, 2023). Las siguientes son dos maneras en las que se aplica la logística inversa en la industria de los textiles de esta manera mitigar la alta cantidad de desechos y contaminación que estas provocan:

- **Remanufactura:** Es el proceso de la extensión del ciclo de la vida útil de un producto, esto se puede hacer por medio del desmontaje y limpieza de esta manera se va a obtener la reducción del uso de materias primas. Se enfoca en producir nuevos productos con el mismo propósito (Yavari, 2019).

- **Reparación y reutilización:** La reparación permite hacer modificaciones para arreglar productos textiles que estén dañados a su estado funcional. Reutilización se refiere a aprovechar un producto con la función que tenía antes o con una nueva y así obtener mayor vida del producto textil, también conocido como ropa de segunda mano. El problema radica en que la moda rápida es de menor calidad, y esto genera un desinterés de las personas en adquirir estos productos de segunda mano (Yavari, 2019).

- **Reciclaje:** El reciclaje y a la recuperación de textiles permiten reutilizar ropa desechada previamente (Oh & Jeong, 2014). El proceso involucra diferentes etapas desde la recolección de la ropa hasta el procesamiento al finalizar. Primeramente, se recolecta, seguidamente se clasifica en tipos, colores y condición para facilitar el proceso que sigue. Seguidamente se limpian para eliminar cualquier tipo de contaminación y finalmente se transforman los textiles en nuevas fibras para nuevos artículos, productos reciclados, materiales para el aislamiento, nuevo tejidos y relleno para muebles.

Esto se considera mucho mejor que la incineración debido a la reducción de los efectos ambientales, ya que la reutilización de ropa consume un pequeño porcentaje de la energía que es necesaria para fabricar nueva ropa (Paras et al., 2018). En Finlandia se utilizan tres métodos principales para el reciclaje textil a textil: recuperación de fibra, recuperación de polímeros y recuperación de monómeros. Estos diferentes métodos permiten un mayor aprovechamiento del residuo de los textiles dependiendo de su material. (Hinkka et al., 2023).

- **Incentivación a donaciones:** Los consumidores han mostrado últimamente una

tendencia a donar ropa cara pero la ropa barata la desechan fácilmente. Debido a esta situación las empresas han empezado a estudiar y adoptar estrategias que ayuden a la fomentación de la donación y reciclaje de prendas, dando como recompensa promociones o productos especiales (Yavari, 2019).

Las organizaciones sin fines de lucro en Finlandia están luchando en un entorno competitivo que es la industria textil, estas han aumentado su actividad comercial para que de esta manera se puedan generar ingresos y financiar el trabajo humanitario que realizan. Las cadenas de suministros inversas no solo ayudan a reducir los desechos y protección del ambiente, sino que las organizaciones sin fines de lucro en Finlandia se usan como fuente de recaudación de fondos para obras humanitarias. Estas organizaciones recogen donaciones textiles y se identifican los artículos de alto valor y las venden a tiendas de segunda mano, para obtener fondos; el resto se exporta para donaciones, reciclaje o si está en pésimas condiciones se desecha (Zhuravleva, 2024).

Es importante recalcar también las soluciones para la recolección de textiles posconsumo, luego de que el cliente haya consumido por totalidad el producto. Actualmente existen una serie de estrategias utilizadas: recolección a domicilio, puntos de entrega en tiendas o recolección en la acera. En Europa específicamente en Francia existen soluciones al transporte que incluye la recolección de textiles reutilizables como no reutilizables (Jaamaa & Kaipia, 2022).

Uno de los desafíos actuales para la planificación de las rutas para la recolección de textiles es debido a la distribución geográfica. Uno de los objetivos que la Unión Europea estableció a partir del 2025 es recoger de manera separada los textiles, de esta manera poder mejorar la remanufactura, reutilización y el reciclaje. Para que este objetivo sea cumplido de manera exitosa es de suma importancia minimizar los costos y maximizar la eficiencia en el recorrido de los transportes por los diferentes puntos de recolección y entrega del producto (Yavari, 2019).

Para poder solucionar este problema se va a aprovechar y utilizar la programación lineal, la cual nos permite diseñar rutas óptimas para los camiones recolectores, para de esta forma minimizar los costos y maximizar la eficiencia del proceso.

La Programación Lineal se refiere al conjunto de técnicas que permiten crear, analizar y resolver modelos matemáticos de carácter lineal. Estos modelos son normativos y están formados por un grupo de restricciones que deben cumplir las variables de decisión para ser válidas, junto con una función objetivo que permite evaluar la idoneidad de las posibles soluciones que satisfacen dichas restricciones (Larrañeta, 1987).

Con lo anterior definido se puede ver el problema como un Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), este problema consiste en diseñar la ruta para un conjunto de vehículos idénticos, donde el vehículo inicia la ruta en un depósito o almacén y termina la ruta en el mismo punto de salida, para esto se selecciona un camino, el cual se encuentra conformado por un conjunto de arcos que pasan por los puntos de entrega de mercancías o bienes por los que el vehículo debe pasar, asignándole un peso de entrega sin sobrepasar la capacidad de carga (Machuca-de-Pina et al., 2018).

El problema planteado en el caso será el siguiente, hay un vehículo que es un camión recolector, que saldrá de un punto inicial (depósito o almacén de las prendas), este camión visitará varios puntos en la ciudad donde recogería los textiles (que podrían ser vecindarios y tiendas) y volverá al punto de partida para entregar todos los textiles recolectados. Ahora se buscará diseñar la ruta de tal manera que:

- Se minimice la distancia total recorrida, ya que en este tipo de problemas buscamos que el recorrido sea lo más corto posible, para así reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental.
- Se cumpla con las restricciones de capacidad, ya que el camión tiene un límite de

capacidad por lo que no puede recolectar más prendas de las que puede transportar.

- Se optimice el tiempo de servicio, otro punto importante es minimizar el tiempo total de la ruta para así garantizar que la recolección se haga dentro de un tiempo razonable.

Como se mencionaba anteriormente, en un modelo de programación lineal, cada punto de recolección y cada conexión entre ellos se representará como una variable. La programación lineal les da uso a estas variables para así determinar cuál es la mejor secuencia de visitas a los puntos de recolección para así lograr el objetivo de optimización que se desea.

Al aplicar la programación lineal para resolver el problema VRP para recolección de textiles, se llegan a obtener varios beneficios tanto para la situación o problema en sí como para la empresa:

- **Reducción de costos**, al estar minimizando la distancia total del recorrido, se reduce adicionalmente los gastos tanto en combustible como en mantenimiento de los vehículos (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Eficiencia en tiempo**, ya que, al estar optimizando el tiempo de ruta, esto permite realizar más ciclos de recolección en una menor cantidad de tiempo, lo que aumenta la capacidad operativa (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Sostenibilidad**, al tener rutas más eficientes se contribuye también a reducir las emisiones de carbono, algo que es crucial para la gestión ambiental (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Mejor gestión de recursos**, ya que la solución a este problema nos permite una planificación más efectiva del uso de la flota de los camiones, además de que se logra evitar recorridos innecesarios y se llega a maximizar la carga que se va a recolectar (Machuca-de-Pina et al., 2018).

Con lo anterior, se puede recalcar que la programación lineal es una herramienta robusta para abordar este problema de recolección de textiles ya que no solo va a optimizar la operación, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al ayudar a reducir la huella de carbono y, por el problema actual, fomentar el reciclaje eficiente de materiales textiles.

5. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado la efectividad de la programación lineal como herramienta para optimizar las rutas de recolección de textiles posconsumo en la industria textil, alineada con los principios de la economía circular. Los resultados obtenidos refuerzan la hipótesis de que una planificación eficiente de las rutas de recolección puede reducir significativamente los costos operativos, mejorar la eficiencia en el tiempo de servicio y contribuir a la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de carbono.

La implementación de estrategias de logística inversa, como la remanufactura y el reciclaje, se presenta como una solución viable para mitigar los impactos negativos del modelo de “Fast Fashion”. Este estudio también subraya la importancia de integrar enfoques matemáticos en la gestión de la cadena de suministro inversa para maximizar la reutilización de materiales y minimizar el desperdicio textil. En resumen, la investigación valida la necesidad de adoptar prácticas de logística inversa en la industria textil para cumplir con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia, promoviendo así un cambio hacia un modelo más circular y responsable.

6. Referencias Bibliográficas

AcostaCalderón, S. N., & VelandiaSarmiento, D. F. (2022). Metodología para la aplicación de economía circular y logística inversa en el algodón para la industria textil en Bogotá. <https://repository.uamerica.edu.co/items/903ceed5-77d0-4301-a1ad-0b349e7abb6b>

Cai, Y.-J., & Choi, T.-M. (2020). A United Nations’ Sustainable Development Goals perspective for sustainable textile and apparel supply chain management. *TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102010>

Dissanayake, K., & Pal, R. (2023). Sustainability dichotomies of used clothes supply chains: a critical review of key concerns and strategic resources. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS MANAGEMENT*, 34(7), 75–97. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2022-0410>

Garcia, S., Naas, I. de A., Neto, P. L. de O. C., dos Reis, J. G. M., Polvora, V. N., de Lima, L. A., Martinez, A. A. G., & Lessa, V. S. (2020). Sustainability in Fabric Chains and Garments for a Circular Economy. En B. Lalic, U. Marjanovic, D. Romero, V. Majstorovic, & G. VonCieminski (Eds.), *ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS: THE PATH TO DIGITAL TRANSFORMATION AND INNOVATION OF PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, PT I* (Vol. 591, pp. 531–537). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_60

González-Castillo, N. S., Núñez-Rodríguez, J., & Ramírez-Rojas, M. S. (2023). Implicación de la logística inversa en la sostenibilidad del sector textil: una revisión sistemática. *I+ D Revista de Investigaciones*, 18(1), 16–44.

Hinkka, V., Aminoff, A., Palmgren, R., & Heikkilä Pirjo and Harlin, A. (2023). Investigating postponement and speculation approaches to the end-of-life textile supply chain. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138431>

Jaamaa, L., & Kaipia, R. (2022). The first mile problem in the circular economy supply chains-Collecting recyclable textiles from consumers. *WASTE MANAGEMENT*,

Larrañeta, J. (1987). Programación lineal y grafos (Número 1). Universidad de Sevilla.

Machuca-de-Pina, J. M., Dorin, M., & García-Yi, A.-I. (2018). Evaluación experimental de un modelo de programación lineal para el problema de ruteo de vehículos (VRP). *Interfaces*, 011, 103–117.

Oh, J., & Jeong, B. (2014). Profit Analysis and Supply Chain Planning Model for Closed-Loop Supply Chain in Fashion Industry. *SUSTAINABILITY*, 6(12), 9027–9056. <https://doi.org/10.3390/su6129027>

Paras, M. K., Ekwall, D., Pal, R., Curteza, A., Chen, Y., & Wang, L. (2018). An Exploratory Study of Swedish Charities to Develop a Model for the Reuse-Based Clothing Value Chain. *SUSTAINABILITY*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041176>

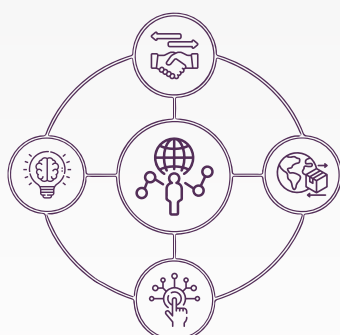
Roberts, H., Milios, L., Mont, O., & Dalhammar, C. (2023). Product destruction: Exploring unsustainable production-consumption systems and appropriate policy responses. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, 35, 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.009>

Sumo, P. D., Alimo, P. K., Agyeman, S., Sumo, D. Z., Cai, L., & Ji, X. (2023). RESEARCH OPPORTUNITIES IN TEXTILE REVERSE LOGISTICS: A SYSTEMATIC REVIEW. *LOGFORUM*, 19(2), 303–315. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.841>

Yavari, R. (2019). Analysis of a Garment-oriented Textile Recycling System via Simulation Approach.

Zhuravleva, A. (2024). Reverse supply chains of non-profit organizations for textile reuse. *JOURNAL OF HUMANITARIAN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2023-0018>

Fecha de recepción: 21/11/2024
Fecha de aceptación: 25/02/2025



Análisis de la percepción de **COMPETENCIAS DIGITALES** *por parte de los aprendices de los programas de* **Gestión Administrativa** del Centro de Comercio y Servicios

ANALYSIS OF THE PERCEPTION OF DIGITAL SKILLS BY APPRENTICES OF THE ADMINISTRATIVE MANAGEMENT PROGRAMS OF THE TRADE AND SERVICES CENTER

Esp. Lina María Moreno Rivas

SENA, Centro de Comercio y Servicios de Risaralda
limoreno@sena.edu.co



Mg. Luz Adriana Sanz Cardona

SENA, Centro de Comercio y Servicios de Risaralda
lasanzc@sena.edu.co



Mg. Maritza Marín Díaz

SENA, Centro de Comercio y Servicios de Risaralda
mmarin@sena.edu.co



Econ. Martha Cecilia Mesa Palacio

SENA, Centro de Comercio y Servicios de Risaralda
mcmesap@sena.edu.co



Mg. Miguel Ángel Seclen Medina

SENA, Centro de Comercio y Servicios de Risaralda
meseclen@sena.edu.co



1. Resumen

Las tecnologías de información y la comunicación TIC, constituyen una herramienta fundamental en actividades desarrolladas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las diferentes disciplinas del conocimiento. En la cuarta revolución industrial es indispensable el uso de las TIC en este proceso, con el fin de que éstas se integren de manera significativa; para beneficio de los aprendices.

Las TIC desempeñan un papel importante en los negocios, ya que favorecen el éxito de las empresas y el uso de las herramientas tecnológicas y permiten un mayor control de las operaciones de estas. Los agentes implicados como aprendices SENA experimentan directamente los efectos de la nueva era digital, mediante cambios en sus prácticas de trabajo, a través de las modificaciones de su poder de decisión y su integración en el mundo laboral. La adopción de las TIC representa nuevos retos importantes, tanto para las empresas a través de la transformación digital empresarial, como para los aprendices desde su rol como ciudadanos digitales del mundo.

La presente investigación pretendió identificar la percepción frente a la apropiación de las TIC, por parte de los aprendices de programas: Técnicos y Tecnólogos en Gestión Administrativa, como medio para proponer estrategias fortalecedoras de sus habilidades digitales, en el Centro de Comercio y Servicios de la Regional Risaralda.

Mediante esta investigación se evidenció que la percepción frente al manejo de las TIC relacionadas con las habilidades digitales están presentes, no solo entre aprendices, sino también entre instructores, por lo cual se requiere el fortalecimiento y formación en competencias digitales, entre ambos.

Palabras Clave: Tecnologías de la Información y la Comunicación, habilidades digitales, aprendices, Sena, ciudadanos digitales, transformación digital empresarial, aprendiz digital, aprendizaje digital, cuarta revolución digital.

1.1. Abstract.

Information and communication technologies (ICT) constitute a fundamental tool in activities developed in the teaching-learning process of the different disciplines of knowledge. In the fourth industrial revolution, the use of ICT is essential in this process, so that they are integrated in a meaningful way; for the benefit of the apprentices.

ICT plays an important role in business, since it favors the success of companies and the use of technological tools and allows greater control of their operations. The agents involved as SENA apprentices directly experience the effects of the new digital era, through changes in their work practices, through modifications in their decision-making power and their integration into the world of work. The adoption of ICT represents important new challenges, both for companies through the digital business transformation, and for apprentices from their role as digital citizens of the world.

This research aimed to identify perception in the learning and appropriation of ICT by

apprentices of the programs: Technicians and Technologists in Administrative Management, as a means to propose strategies to strengthen their digital skills, in the Center for Commerce and Services of the Risaralda Region.

Through this research it was shown that ICT perception related to digital skills are present, not only among apprentices, but also among instructors, which is why strengthening and training in digital skills is required, between both.

Keywords: Information and Communication Technologies, digital divide, digital skills, apprentices, Sena, digital citizens, business digital transformation, digital apprentice, digital learning.

2. Introducción

La nueva era de la transformación digital y lo que consigo trae, a nivel mundial, empresarial y personal llegó al mundo para quedarse en la post pandemia, momento crucial, en el cual cada ciudadano del mundo, cada aprendiz y/o estudiante de cualquier institución, así como cada empresario y docente e instructor moderno, debieron aprender e interiorizar habilidades digitales, que les permitieran insertarse en este proceso transformacional.

De acuerdo con Bucheli, MG, Galán, J., Cáceres Mesa, ML, y López Catalán, L. (2024); las tecnologías digitales son esenciales para transformar los entornos educativos, especialmente en la educación superior. Estas herramientas han revolucionado el acceso a la información y posibilitan enfoques flexibles dentro del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA).

Según Martínez Aguiló, J. (2019); el uso herramientas tecnológicas conlleva beneficios tangibles, tales como la personalización del proceso de aprendizaje y la ampliación del acceso a la información. No obstante, la integración de herramientas digitales enfrenta desafíos, como la falta de infraestructura, la resistencia al cambio y la desigualdad en el acceso a la tecnología. En síntesis, se enfatiza la necesidad de una estrategia educativa sólida y una inversión adecuada para asegurar que

estas herramientas beneficien a todos los estudiantes y mejoren la eficacia del entorno educativo en la era digital.

Álvarez, R.R., Sarmiento, R.R. y Amaya, T.R. (2021); por su parte, argumentan que, si no se integran pertinentemente las TIC en la práctica docente y los procesos educativos, no se impulsa la implementación de nuevas didácticas y no se potencian los enfoques pedagógicos asumidos por los docentes, esto puede repercutir en la escasa generación de ambientes de aprendizaje que estimulen el interés y la motivación de los estudiantes.

De otro lado, P. Sánchez, Claudia E. Saavedra, C. Figueroa (2020); indican que es necesario un cambio de paradigma en el proceso educativo, así como, renovar el proceso de enseñanza, considerar los diferentes estilos de aprendizaje y elegir las diversas estrategias que permitan el logro de los aprendizajes esperados. Además, debe promoverse el desarrollo de habilidades de comunicación, lectoras, de expresión oral y escrita, para una mejor interpretación y comprensión de los textos y plasmarlas en los diversos medios de enseñanza, haciendo uso de los recursos tecnológicos de la actualidad.

En el Marco del Plan estratégico institucional del Sena y según Encuesta Nacional de Calidad de Vida (DANE, 2019) se afirma que, sólo el 44,9% de personas en Colombia mayores a 5 años usó un computador y sólo el 64,1% ingresó a Internet desde cualquier dispositivo.

Según Prince (2021), fortalecer el uso de herramientas digitales representa una oportunidad para implementar un modelo que cambie los viejos esquemas y brinde a los estudiantes las herramientas necesarias para enfrentar los futuros retos laborales en la era Post-Pandemia. Este problema va más allá del simple acceso a las comunicaciones, pues también refleja una división socioeconómica entre las distintas comunidades.

Desde la perspectiva presentada por Zakharevych, M. y Hryhorenko, V. (2024); se

resalta que los estudiantes de educación superior deben contar con un sistema de aprendizaje específico, basado en actividades, informativo y eficaz que les ayude a desarrollar habilidades digitales durante sus estudios.

Por lo cual la dificultad en el uso de herramientas digitales es un reflejo de la falta de acceso a equipos y redes de calidad en TIC, lo cual se evidencia en muchas regiones del País. Esto se traduce en una educación con recursos y metodologías obsoletas que no preparan adecuadamente a los estudiantes para los desafíos de la quinta revolución industrial.

La formación de la alfabetización en el campo de la competencia digital acumula las siguientes habilidades: conocimiento de las habilidades operativas básicas, capacidad de buscar y evaluar información, capacidad de procesar y analizar datos, creatividad y capacidad de trabajar en equipo, conciencia de la seguridad de la información y protección de la privacidad.

La propuesta de identificar la percepción de los aprendices frente al manejo de herramientas tecnológicas surge como parte de la presente investigación y como un camino a través del cual se pretende formar aprendices del Sena con mayor posibilidad de inclusión en los entornos laborales.

Como planteamiento del problema se ha propuesto la siguiente pregunta:

¿Cuál es la percepción de los aprendices de los programas Tecnólogo en Gestión Administrativa y Técnico en Asistencia Administrativa del Centro de Comercio y Servicios de la Regional Risaralda con respecto al uso de herramientas TIC en su proceso de formación?

Las TIC han ido ganando terreno y vienen desempeñando un papel importante en los negocios, ya que han favorecido el éxito de las empresas y el uso de las herramientas tecnológicas, las cuales permiten mantener un mejor control de las principales operaciones de estas, ya que su adecuada administración

conlleva el poder tomar mejores decisiones que faciliten la consecución de sus objetivos.

Como objetivo General se tiene, Identificar la percepción frente al uso de herramientas TIC por parte de los aprendices de los programas Tecnólogo en Gestión Administrativa y Técnico en Asistencia Administrativa, del Centro de Comercio y Servicios de la Regional Risaralda.

Como objetivos específicos, se definen:

Establecer la percepción de los aprendices y existencia de infraestructura y herramientas TIC en el Centro de Comercio y Servicios de la Regional Risaralda.

Un segundo objetivo específico fue: Determinar las condiciones actuales por parte de los aprendices frente a las condiciones ideales para el acceso a herramientas TIC.

Y como tercer objetivo específico se definió: Identificar acciones que permitan a los aprendices superar las situaciones existentes frente al uso de herramientas TIC.

3. Metodología

La presente investigación se basó en un estudio de caso aplicado a los aprendices Técnicos en Asistencia Administrativa y Tecnólogos en Gestión Administrativa del SENA Centro de Comercio y Servicios.

Tipo de investigación: Descriptiva

El tipo de investigación seleccionada para el presente estudio fue de tipo descriptivo teniendo en cuenta que este permitió describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades abordados y que fueron objeto de análisis. A grandes rasgos, las principales etapas a seguir en esta investigación de tipo descriptivo fueron: examinar las características del tema a investigar, definirlo y formular hipótesis, seleccionar la técnica para la recolección de datos y las fuentes a consultar.

Método: No experimental

El método científico seleccionado fue el No Experimental, el cual se realizó sin manipular deliberadamente variables. Se basó fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dieron en su contexto natural para analizarlos con posterioridad. En este tipo de investigación no hubo condiciones, ni estímulos a los cuales se hayan expuesto los sujetos del estudio. Estos fueron observados en su ambiente natural.

Técnica e instrumentos: Encuesta

Para la recolección de información el instrumento seleccionado fue la encuesta, la cual es un procedimiento dentro de los diseños de una investigación descriptiva a través de la cual los investigadores recopilaron datos mediante un cuestionario previamente diseñado, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recogió la información, para entregarla en forma de gráfico o tabla.

Tipo de muestreo: Aleatorio Simple.

Población: Aprendices en etapa lectiva y productiva de los Programas: Técnico en Asistencia Administrativa y Tecnólogo en Gestión Administrativa del Centro de Comercio y Servicios Regional Risaralda.

Variables de estudio

Variable independiente: Percepción de los aprendices respecto al uso de las herramientas tecnológicas

Variable dependiente: Aprendices de los programas del Técnico en Asistencia Administrativa y Tecnólogos en gestión Administrativa en etapas lectiva y productiva.

4. Resultados

Según los resultados obtenidos se identificó que las herramientas tecnológicas ayudaron a ser más eficientes y productivos a los aprendices. Se destacó la importancia del acceso a los recursos tecnológicos en el Centro de Formación.

De acuerdo con los programas de formación se evidenció que más del 50% tienen un excelente grado de desempeño el manejo de herramientas tecnológicas, como se muestra en el gráfico 1 esto significa que su desempeño en el sector productivo es eficiente y propositivo.

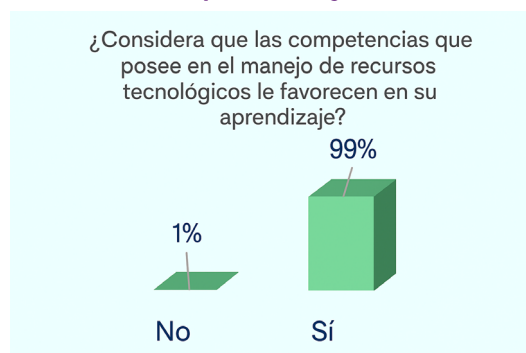
Gráfico 1.
Calificación en su grado desempeño herramientas TICS



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Respecto a la pregunta relacionada en el gráfico 2, que muestra la percepción de los aprendices de etapa lectiva frente al reconocimiento de las competencias que favorecen su aprendizaje, se evidencia que, un 99% de los aprendices considera que efectivamente el manejo de los recursos tecnológicos favorece su aprendizaje, mientras que un 1% no lo considera así.

Gráfico 2.
¿Considera que las competencias que posee en el manejo de recursos tecnológicos le favorecen en su aprendizaje?

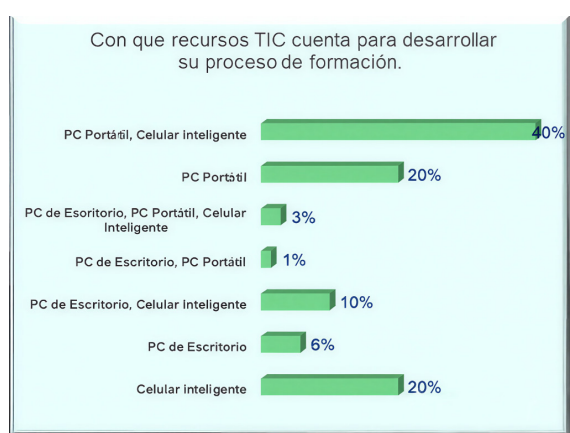


Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

En el gráfico 3, se observa que un 40% de los aprendices cuenta con computador portátil y celular inteligente para desarrollar sus actividades de formación, un 20% cuenta con celular inteligente o computador portátil, un 10% cuenta con celular inteligente y computador de escritorio, un 6% sólo con PC de escritorio, un 1% cuentan con PC de escritorio y portátil y sólo un 3% cuenta con todos los recursos para desarrollar sus actividades como son: celular inteligente, computador portátil y de escritorio.

Gráfico 3.

¿Con qué recursos TIC cuenta para desarrollar su proceso de formación?

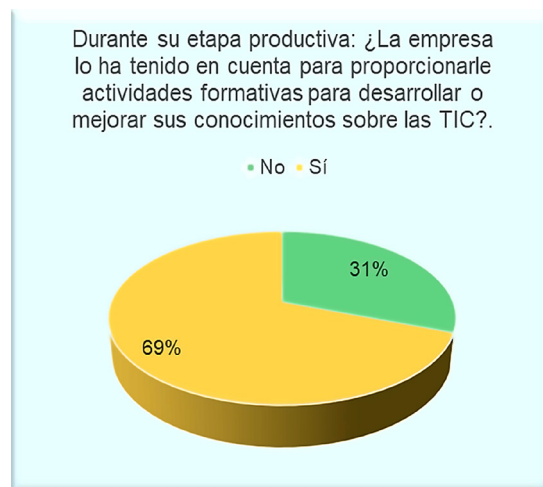


Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

De otro lado, en el gráfico 4, se refleja, el porcentaje de actividades formativas proporcionadas por la empresa para mejorar conocimientos TIC de los aprendices en etapa práctica, se puede observar que un 69% de las empresas si está proporcionando formación en este aspecto para los aprendices, lo que puede contribuir al fortalecimiento de estas habilidades que también repercuten en su desempeño dentro de la misma y en su propia habilidad para el manejo de las herramientas TIC.

Gráfico 4

Durante su etapa productiva, ¿la empresa lo ha tenido en cuenta para proporcionarle actividades formativas para desarrollar o mejorar sus conocimientos sobre las TIC?

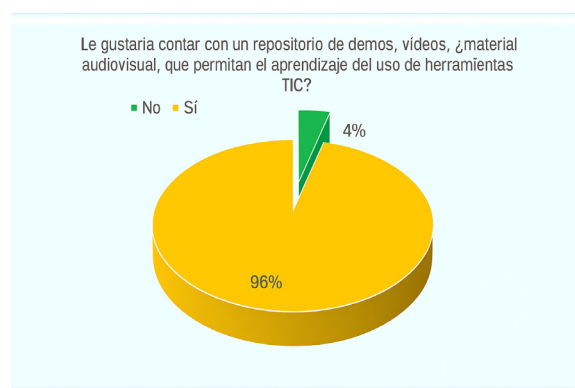


Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Por último, del total de los aprendices encuestados, el 96% afirma que le gustaría contar con un repositorio de demos, videos, material audiovisual, que les permita el aprendizaje del uso de herramientas TIC y un 4% no lo considera necesario en su proceso de formación, esto se muestra en el gráfico 5.

Gráfico 5

¿Le gustaría contar con un repositorio de demos, videos, material audiovisual que permitan el aprendizaje del uso de herramientas TIC?



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

5. Discusión de resultados

Según De Jesús Gonzales y Gallur Santorum (2023) manifiesta en su investigación que el uso de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de los contenidos de clases es bien percibido por los estudiantes, pero, los resultados evidenciaron que algunos de estos no consideran la importancia de utilizar estos medios, lo que sugiere que en la implementación de herramientas digitales y tecnológicas se promueva un aprendizaje integral y significativo en el abordaje de los contenidos curriculares oficiales en estos estudiantes.

Como lo expresan Suárez Guerrero, C., Revuelta Domínguez, F.-I., & Rivero Panaqué, C. (2020); estos revelan que los aspectos de las competencias digitales son menos valorados, son propios de los factores “alfabetización tecnológica” y “acceso y uso de la información”, mientras que los aspectos más valorados están asociados a la “creatividad e innovación” y “ciudadanía digital.”

Para el estudio de caso de esta investigación, la mayoría de los encuestados (80%) considera que sus competencias en el manejo de recursos tecnológicos les favorecen en su aprendizaje. Esto puede estar relacionado con la alta disponibilidad de recursos tecnológicos, como se muestra en el Gráfico 3, donde el 40% de los encuestados cuenta con una combinación de PC portátil y celular inteligente y otro 20% cuenta solo con PC portátil.

La diversidad de recursos tecnológicos disponibles (PC de escritorio, PC portátil, celular inteligente), sugiere que los encuestados tienen acceso a múltiples herramientas que pueden facilitar su aprendizaje, lo cual puede contribuir a la percepción positiva de sus competencias tecnológicas.

Las estrategias de aprendizaje deben adaptarse a las preferencias de los aprendices para maximizar la efectividad del aprendizaje. Si los aprendices prefieren ciertos recursos tecnológicos, las estrategias deben incorporar estos recursos para facilitar la apropiación de las herramientas TIC.

La versatilidad de las estrategias de aprendizaje es crucial, para asegurar que todos los aprendices, independientemente de sus preferencias tecnológicas, puedan beneficiarse del proceso de formación. Esto implica diseñar estrategias que sean accesibles y efectivas para una variedad de dispositivos y recursos tecnológicos.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian el interés y la necesidad latente en el Centro de Formación de ofertar formación complementaria durante la etapa lectiva para fortalecer las habilidades en el manejo de diferentes aplicaciones que apoyan la ejecución de la etapa productiva de los aprendices, tales como: Excel, Word, Bases de Datos, Access, Navegación, internet y correo electrónico, Páginas Web, Redes sociales, Presentaciones en línea, entre otras.

La dificultad en el desarrollo de competencias TIC, relacionadas con las habilidades digitales no sólo están presentes entre los aprendices del Centro, sino también entre los instructores, esto se evidencia en los resultados obtenidos por los aprendices, quienes son la materia prima del proceso de enseñanza aprendizaje. Para fortalecer dichas competencias, el Sena cuenta con herramientas dispuestas relacionadas con las habilidades digitales como: los cursos complementarios que se orientan de forma presencial y virtual, infraestructura medios tecnológicos, software y bases de datos en biblioteca, entre otros.

Finalmente, de acuerdo con los hallazgos identificados en este proyecto, es importante resaltar que el fortalecimiento, uso, e implementación de estrategias para el manejo de herramientas TIC, tanto desde su etapa lectiva, como productiva, abrirá caminos para lograr una mayor posibilidad de inserción en el mercado laboral para nuestros aprendices.

7. Referencias bibliográficas

- Álvarez, R.R., Sarmiento, R.R. y Amaya, T.R. (2021).** Incorporación y apropiación de las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje en el nivel de educación media. *Scientia et Technica* 26(1). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/24191/16484>
- Alfie Grabiela y Veloso, Claudio E. (2011).** Computación práctica para docentes. Competencias en TIC para dar clases. Alfaomega Grupo Editor.
- Ángeles Cocha, M. N.** Una mirada al uso de las tecnologías de información y comunicación en la práctica pedagógica. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 9, 2021 (Ejemplar dedicado a: SEPTIEMBRE 2021), págs. 2355-2374. En: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094495>
- Atehortúa Rico, G. A., & Rojas García, Ángel A. (2020).** Diseño e implementación de un prototipo didáctico de aprendizaje activo intranets: Estrategia para mitigar la brecha digital en los centros de formación del nororiente amazónico (EN ADELANTE PDAA). *Vía Innova*, 1(1), 19-30.
- Bello-Pintado, A., & Bianchi, C. (2020).** Workforce education diversity, work organization and innovation propensity. *European Journal of Innovation Management*, doi:10.1108/EJIM-10-2019-0300
- Bernabé, J. G., Martínez, A. Y. M., Escobar, A. D. O., & Benítez, R. Á. G. (2018).** Simuladores de negocios como herramienta de enseñanza-aprendizaje en la educación superior. *Apertura: Revista de Innovación Educativa*, 10(2), 36-49.
- Bucheli, MG, Galán, J., Cáceres Mesa, ML, y López-Catalán, L. (2024).** Tecnologías digitales como facilitadoras del diseño universal para el aprendizaje: Percepciones de los estudiantes de educación superior en el contexto del ODS 4. *Discover Sustainability*, 5 (1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00699-0>
- Callejas Varón, J. y Méndez Otalora, M. (2019).** Estrategia didáctica basada en un objeto virtual de aprendizaje para apoyar los procesos de comprensión lectora. (Tesis de Maestría). Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia.
- Campos Posada, R., Boulet Martínez, R., & Campos Posada, G. E. (2020).** Miradas a las tendencias y desafíos de la educación mediada por TIC según reportes internacionales. *Opuntia Brava*, 12(4), 283-292.
- Díaz-Barahona, J., Molina-García, J., & Monfort-Pañego, M. (2020).** El conocimiento y la intencionalidad didáctica en el uso de TIC del profesorado de educación física. *Retos: Nuevas Perspectivas de Educación Física, Deporte y Recreación*, 38, 497-504.
- E-learning in higher education in latin America (2015).** Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Retrieved from
- Fajardo Pascagaza, E., & Cervantes Estrada, L. C. (2020).** Modernización de la educación virtual y su incidencia en el contexto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). *Academia y Virtualidad*, 13(2), 103-116.
- Felicié Soto, A. M. (2006).** Biblioteca pública, sociedad de la información y brecha digital. Buenos Aires, Alfagrama Ediciones. P. 41.
- Fedorova, N., y Nikiforova, E. (2024).** Modelo de evaluación de competencias profesionales de estudiantes de derecho en el contexto de la digitalización de la educación y el entorno laboral. 4.ª Conferencia Internacional sobre

Aprendizaje Mejorado por la Tecnología en la Educación Superior (TELE), 2024, 148-152. <https://doi.org/10.1109/TELE62556.2024.10605645>.

Estudios Educativos, 50 (ESPECIAL), 13–40. <https://doi.org/10.48102/rlee.2020.50.ESPECIAL.95>

Fernández Piqueras, R. (2009). Factores antecedentes en el uso de Entornos Virtuales de Formación y su efecto sobre el Desempeño Docente. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.

García Ponce, F. J (2012). Accesibilidad, TIC y educación. Madrid: Ministerio de Educación y Formación Profesional de España. p. 14.

Guerra Marcela, S. (2013). La tecnología y la educación personalizada: teoría y práctica. Alfaomega Grupo Editor.

Guzmán Ortiz, J. L. (2018). Las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la formación para el trabajo: un relato desde el Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Colombia. Revista RETO, 5(5), 32–38.

Ibarra Sixto, J. I. (2013). Manual sistema operativo, búsqueda de la información: Internet/intranet y correo electrónico. Madrid, Spain: Editorial CEP, S.L. p. 24

Issa Fontalvo, S. M. (2016). TIC para el desarrollo de las Competencias Laborales. Revista Electrónica Gestión de Las Personas y Tecnologías, 10(26), 24–31.

Josep M. Mominó de la Iglesia y Sigalés, C (2016). El impacto de las TIC en la educación: más allá de las promesas. Barcelona: Editorial UOC. p. 11.

Kennya Guzmán Huayamave, Patricia, A. H., & Alison Cobos Díaz. (2020). Las TIC y su influencia en el desarrollo psicosocial. Apuntes Universitarios, 10(2), 17-29.

Miguel Román, J. A. (2020). La educación superior en tiempos de pandemia: una visión desde dentro del proceso formativo. Revista Latinoamericana De

Marín-Pareja; N.) et al. (2020) MODUM. Edición 2. Explorando Ideas. Mayo 2020. 1-263.

Martínez Sánchez, Y. M. (2017). Uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y de estrategias como la simulación en la formación del personal de enfermería. Ciencia, Tecnología E Innovación En Salud, 2, 42-52.

Martínez Castro, R. (2018). Evolución y tendencias de la formación a distancia y virtual. INVESTICGA: Revista De Investigación En Gestión Administrativa Y Ciencias De La Información, 2. <https://doi.org/10.23850/25907662.1851>

Martínez Aguiló, J. (2019). Industria 4.0: la transformación digital en la industria. Barcelona, Editorial UOC. P. 42.

Monteagudo-Fernández, J., Rodríguez-Pérez, R. A., Escribano-Miralles, A., & Rodríguez-García, A. M. (2020). Percepciones de los estudiantes de Educación Secundaria sobre la enseñanza de la historia, a través del uso de las TIC y recursos digitales. Revista Electrónica Interuniversitaria De Formación Del Profesorado, 23(2), 67–79.

Prince, A. (2021). La brecha digital como obstáculo al derecho universal a la educación en tiempos de pandemia. Journal of the Academy, 4, 26-41. En: <https://doi.org/10.47058/joa4.3>

Peña Rosario, C. (2013). Como enseñar utilizando las redes sociales. Alfaomega Grupo Editor.

Peñalvo, F. J. G., & Safont, L. V. (2013). ASPECTOS PEDAGÓGICOS EN LA INFORMÁTICA EDUCATIVA. Teoría De La Educación; Educación y Cultura En La Sociedad De La Información, 14(2), 371-375.

- Ramos Toledano, J. (2018).** Propiedad digital: la cultura en internet como objeto de cambio. Madrid, Editorial Trotta, S.A. p.56
- Riascos Erazo, S. C., & Castro, A. A. (2011).** Herramientas TIC como apoyo a la gestión del talento humano. Cuadernos de Administración, 27(46), 141–154.
- Rodríguez Bermúdez, J. R (2015).** Usos estratégicos de las TIC. Barcelona: Editorial UOC. p. 30.
- Salazar Sánchez, M. E., Enríquez Cuadro, A. C., & Guevara Espinoza, J. C. (2020).** Tics e-learning y el impacto social en la educación superior. Opuntia Brava, 12(3), 53–61.
- Sánchez, P., Saavedra, C. E. & Figueroa, C. (2020).** Efectos de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación en Colombia. Espacios. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n48p22>
- Treviranus, Jutta; et al. (2011).** Inclusión e innovación educativa con uso de tic: accesibilidad y adaptabilidad. Revista Internacional Magisterio No. 52 septiembre - octubre de 2011.
- Vizuite Villar, J. (2014).** Ayúdalos a usar las TIC de forma responsable. Alfaomega Grupo Editor.
- Valentín López, G. M. (2016).** Ofimática (MF0233_2). Madrid, Spain: Editorial CEP, S.L.p 34
- Varón-Serna, D. R., Frasca-Rodríguez, D. M., Gamboa-Andrade, E., Benavides Sánchez, D. D., & Vargas Polanco, H. (2017).** La disrupción digital (I): modelos de negocio, innovación, conocimiento y tecnología. Vector (1909-7891), 12, 22–31.
- World Economic Forum. (2020, enero).** Schools of the Future [archivo PDF]. Recuperado de https://www3.weforum.org/docs/WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019.pdf.
- Zakharevych, M. y Hryhorenko, V. (2024).** Se adquiere la competencia digital y la alfabetización digital de la educación superior. Збірник Наукових Праць Уманського Державного Педагогічного Університету Імені Павла Тичини. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2024.302215>

Fecha de recepción: 13/11/2024
Fecha de aceptación: 16/03/2025



Impacto socioambiental de la **IO Y LOGÍSTICA INVERSA** *en la industria textil*

SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACT OF IO AND REVERSE
LOGISTICS IN THE TEXTILE INDUSTRY

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg.Ing. Manuel Méndez Flórez

Tecnológico de Costa Rica
manmendez@itcr.ac.cr



Est. Sigifredo Chacón Balladares

Tecnológico de Costa Rica
sjchaconballadares@gmail.com



Est. JeAustin Obando Arias

Tecnológico de Costa Rica
obandojustin@gmail.com



Est. Mariano Oconitrillo Vega

Tecnológico de Costa Rica
mariano21803@gmail.com



Est. Brandon Rodríguez Vega

Tecnológico de Costa Rica
brandonerv438@gmail.com



1. Resumen

La industria textil es una de las más contaminantes a nivel global, debido a su alto consumo de recursos, emisiones de gases de efecto invernadero y la generación masiva de residuos textiles. Con la creciente preocupación por la sostenibilidad, la logística inversa emerge como una solución viable para mitigar estos impactos ambientales.

Este enfoque implica la recolección, clasificación y reciclaje de productos textiles desechados, provocando un modelo de economía circular que minimiza los desechos en vertederos, reduce la demanda de materias primas y disminuye las emisiones de carbono. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos significativos, como la falta de infraestructura adecuada y la inconsistencia en la calidad de los materiales reciclados. A través del uso de técnicas avanzadas de toma de decisiones, es posible identificar y seleccionar a los socios adecuados para implementar efectivamente la logística inversa. Este artículo examina cómo esta estrategia puede transformar la industria textil hacia un modelo más sostenible, resaltando los beneficios ambientales, económicos y sociales de su integración en las cadenas de suministro globales.

Palabras Clave: logística inversa, sostenibilidad, industria textil, investigación de operaciones, economía circular.

1.1. Abstract.

The textile industry is one of the most polluting sectors globally due to its high resource consumption, greenhouse gas emissions, and massive generation of textile waste. With growing concerns about sustainability, reverse logistics emerges as a viable solution to mitigate these environmental impacts.

This approach involves the collection, sorting, and recycling of discarded textile products, promoting a circular economy model that minimizes landfill waste, reduces the demand for virgin raw materials, and decreases carbon emissions. However, its implementation faces significant challenges, such as the lack of adequate infrastructure and inconsistencies in the quality of recycled materials. By using advanced multi-criteria decision-making techniques, such as Data Envelopment Analysis (DEA) and fuzzy methods, it is possible to identify and select suitable partners for effectively implementing reverse logistics. This article examines how this strategy can transform the textile industry towards a more sustainable model, highlighting the environmental, economic, and social benefits of integrating it into global supply chains.

Keywords: reverse logistics, sustainability, textile industry, operations research, circular economy.

2. Introducción

La industria textil es una de las más contaminantes a nivel global, afectando al medio ambiente en todas las etapas de su cadena de suministro, desde la producción de materias primas hasta el desecho de productos finales. Esta industria consume grandes cantidades de agua, emite gases de efecto invernadero, utiliza productos químicos tóxicos y genera una acumulación masiva de residuos textiles, en gran parte debido al “fast fashion” que impulsa la producción rápida y

barata de ropa a costa del medio ambiente (Janeiro et al., 2020).

Un desafío clave en sostenibilidad es la gestión de residuos, ya que gran parte de los textiles desechados termina en vertederos o es incinerada. Para mitigar estos impactos, la logística inversa ha surgido como una estrategia fundamental. Esta se refiere a la recolección de productos desechados, como textiles, para su reciclaje, recuperación o eliminación adecuada (OMAR et al., 2023).

La logística inversa no solo reduce los desechos en vertederos y disminuye el uso de recursos naturales, sino que también promueve un modelo de economía circular al regresar materiales recuperados en la producción (Dwicahtyani et al., 2023).

Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la falta de tecnología e infraestructura adecuada y estándares variables de calidad de materiales reciclados (Kebenei et al., 2016). A pesar de estos obstáculos, la integración de técnicas avanzadas de toma de decisiones basadas en múltiples criterios puede ayudar a evaluar y seleccionar a los fabricantes más sostenibles y eficientes. Estas herramientas permiten a las empresas tomar decisiones informadas que mejoran tanto la sostenibilidad como la eficiencia de la cadena de suministro, facilitando así una transición hacia una industria textil más responsable. (Wang et al., 2021).

3. Metodología

3.1. Búsqueda bibliográfica.

La estrategia principal utilizada en la elaboración de este artículo se basó en una búsqueda de palabras clave específicas que permitieran abordar los temas relevantes. Entre las palabras clave más destacadas se incluyen: “Logística inversa”, “Sostenibilidad”, “Industria textil”, “Investigación de operaciones” y “Economía circular”. La selección de estas palabras clave permitió estructurar el contenido de manera correcta y alineada con los objetivos de la investigación.

3.2. Criterios de selección.

Los criterios de selección utilizados en la creación de este artículo fueron:

- **Fecha de publicación:** Se eligieron artículos publicados entre 2013 y la actualidad, con el fin de garantizar que el contenido ofreciera un amplio contexto sobre el tema en la última década.

- **Idioma:** Se consideraron únicamente artículos en inglés o español para evitar posibles confusiones de traducciones.

- **Acceso:** Se seleccionaron artículos de libre acceso para facilitar el acceso a la información.

- **Relevancia:** Se incluyeron solo artículos directamente relacionados y centrados en el tema seleccionado, asegurando así que el contenido del artículo sea de alta calidad.

3.3. Recuperación de la información.

La búsqueda de las palabras clave se realizó exclusivamente en bases de datos de alta calidad, como “Web of Science”, “Mendeley” y “Google Scholar”. Esta selección se hizo con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los artículos revisados, asegurando que las fuentes consultadas provengan de investigaciones reconocidas.

3.4. Método para la evaluación de la calidad de los artículos seleccionados.

La evaluación de la calidad de los artículos seleccionados se realizó mediante la lectura detallada de los resúmenes e introducciones de los mismos. Este proceso permitió verificar que los artículos seleccionados mencionan temas provechosos que pudieran contribuir en la investigación. La revisión del resumen proporcionó una visión general del enfoque de cada estudio, mientras que la introducción permitió comprender el contexto y la relevancia de la investigación.

3.5. Análisis de variabilidad, fiabilidad y validez de los artículos.

Para evaluar la variabilidad de los artículos, se utilizaron diferentes bases de datos que garantizaron una amplia perspectiva del tema, al incluir estudios con distintos enfoques, metodologías y contextos de aplicación. Por otro lado, la fiabilidad y validez de los artículos se aseguraron mediante una exhaustiva lectura de los textos seleccionados, lo que permitió garantizar la consistencia, precisión y relevancia de los hallazgos para la investigación.

4. Desarrollo

Los documentos utilizados para este artículo destacan el impacto negativo de la industria textil en el medio ambiente, ya que esta puede contaminar el suelo, el agua y el aire. Para abordar este problema, se propone la implementación de la logística inversa, que no solo puede beneficiar al medio ambiente, sino también a la sociedad en general.

La logística inversa permite reducir el desecho de productos textiles, evitando así métodos perjudiciales como la incineración, el procesamiento químico o el simple desecho en vertederos (Valls Valls, 2013). Es importante considerar que la contaminación no solo proviene del desecho de textiles, sino también de su fabricación. Por ejemplo, solo en España se generan 185,1 toneladas de residuos como resultado de la producción textil, y solo se recicla entre el 8% y el 10% de lo que se produce (González-Castillo et al., 2023). En este contexto, la moda rápida o 'fast fashion' ha agravado estos problemas debido a la rápida rotación de prendas, que contribuye a la acumulación de textiles desechados (López Barrios, n.d.). Esto evidencia la importancia del problema, y que no puede ser ignorado.

Un ejemplo destacado en los documentos es Finlandia, el país que más ha implementado la logística inversa, no sólo para contrarrestar la contaminación, sino también para apoyar a las organizaciones sin fines de lucro (OSFL) (Zhuravleva, 2024).

Estas organizaciones dependen del apoyo gubernamental y de actividades benéficas para subsistir. En Finlandia, se ha encontrado una forma de que las OSFL aprovechen el mercado de segunda mano en la industria textil, cuyo valor global actual se estima en aproximadamente 119.000 millones de dólares estadounidenses (Zhuravleva, 2024), un sector predominantemente utilizado por organizaciones con fines de lucro. Además, se ha observado que la implementación de la logística inversa en países en desarrollo, como El Salvador, puede ofrecer beneficios significativos, pero también requiere un compromiso de adaptación de procesos para maximizar el valor recuperado (Alexander et al., n.d.).

Las OSFL aplican la logística inversa principalmente a través de donaciones de empresas textiles y, en mayor medida, de personas que desean contribuir a la mejora ambiental y a la ayuda social. Estas organizaciones recolectan textiles y los someten a un proceso de selección para escoger las prendas en mejores condiciones, aplicando criterios específicos de reutilización y reciclaje, ya que no pueden manejar grandes volúmenes de prendas debido a la falta de infraestructura (Pazmiño Unda et al., 2023). Este proceso de selección se centra en adaptarse a las tendencias actuales de la moda (lo cual es complicado debido al "Fast Fashion") y en analizar los patrones de compra de varios años en tiendas de segunda mano. Esta cuidadosa selección asegura ingresos beneficiosos para las OSFL, lo que les permite continuar con su labor social y, al mismo tiempo, contribuir a la sostenibilidad ambiental.

¿Qué sucede con la ropa que no se vende o no pasa el proceso de selección?

Surge entonces la pregunta de qué ocurre con las prendas que no logran venderse o que no superan el proceso de selección. Es importante entender que las OSFL no sólo almacenan la ropa en sus instalaciones, sino que también deben gestionar su transporte y almacenamiento. Este proceso, financiado por ingresos generados de otras actividades o por fondos gubernamentales, a menudo no cubre todos los costos.

Por lo tanto, se realiza una segunda selección de las prendas que no fueron aceptadas, decidiendo cuáles serán incineradas o enviadas a vertederos (la incineración puede utilizarse para generar energía y se delega a empresas especializadas en este proceso) y cuáles pueden ser donadas a personas en países necesitados. Los fondos para esta redistribución de textiles son gestionados por las propias OSFL, que suelen contar con áreas específicas para recibir donaciones monetarias que ayuden a financiar este proceso. Gracias a este enfoque, el porcentaje de ropa desechada es considerablemente menor en comparación con el volumen inicial.

Las OSFL pueden verse tanto beneficiadas como afectadas por las regulaciones de la Unión Europea (UE) que buscan regular el mercado de segunda mano de la industria textil (Zhuravleva & Aminoff, 2021). Estas regulaciones obligan a una adaptación forzosa en los procesos de recolección de textiles, lo que puede tener efectos tanto positivos como negativos. Por un lado, pueden fomentar mejores prácticas y transparencia, por otro, aumentan la cantidad de procedimientos necesarios y, por lo tanto, los costos de operar en el mercado de segunda mano.

Una manera de colaborar con la solución de este problema puede ser mediante la utilización de la logística inversa, la cual involucra la recolección, clasificación, reutilización, reciclaje o disposición final de productos textiles (Paras et al., 2018), por lo que la Investigación de Operaciones puede ayudar a diseñar una cadena de suministro inversa más eficiente y que se adapte a los nuevos reglamentos de la UE mediante modelos de programación lineal que minimicen los costos de transporte, almacenamiento y procesamiento.

Esto puede incluir la creación de rutas óptimas para la recolección de textiles usados o la asignación de recursos para maximizar la reutilización de materiales reciclados.

También se debe tener en cuenta que uno de los principales problemas radica en que la industria textil, una de las más contaminantes a nivel global, es impulsada por empresas de

renombre. Este consumo desmedido genera un gran volumen de productos no vendidos que se acumulan en almacenes, lo que plantea desafíos significativos para su gestión eficiente y sostenible.

Según estudios, aunque se proponen soluciones como la logística inversa y la expansión del mercado de segunda mano para reutilizar y reciclar estos productos, la adopción de estas estrategias ha sido mínima debido a barreras como la falta de infraestructura, las regulaciones inconsistentes y las limitaciones del mercado (Dissanayake & Pal, 2023). Como consecuencia, gran cantidad de prendas permanece sin utilizar, en gran medida debido a hábitos generados por las grandes empresas, que llevan a un uso muy escaso de ciertos productos y, por lo tanto, a la continua acumulación de residuos textiles.

¿Esto conlleva a un sobreconsumo de materiales?

La respuesta es sí. La industria textil implica un uso masivo de recursos para el cultivo de algodón y otros textiles. Este proceso de monocultivo excesivo daña los minerales del suelo y deteriora los territorios donde se cultivan estos recursos. Además, el consumo de agua se ve gravemente afectado debido a los tratamientos de color aplicados a los textiles, cuyos tintes a menudo terminan contaminando el agua, haciéndola no apta para el consumo humano.

Este impacto se amplifica por la baja tasa de reciclaje de residuos textiles, que no supera el 5% en muchas regiones, lo que incrementa la demanda de materiales vírgenes y exacerba el deterioro ambiental (Aguirre González, n.d.).

Es por esto por lo que la implementación de la logística inversa junto con técnicas de investigación de operaciones se vuelve vital en la industria textil. La combinación de estas estrategias no solo tiene la capacidad de optimizar la economía de las empresas, reduciendo costos mediante el reciclaje y la reutilización de materiales, sino que también presenta un impacto positivo en

la sostenibilidad ambiental. Al incorporar modelos de programación lineal, es posible diseñar cadenas de suministro más eficientes, minimizando el uso de recursos y la generación de residuos. Esto contribuye no solo a mitigar los efectos negativos de la producción y el consumo excesivo, sino también a promover prácticas más responsables y sostenibles a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

5. Conclusión

La revisión de la literatura sobre la logística inversa en la industria textil destaca que esta industria es una de las más contaminantes debido al consumo intensivo de recursos, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos. La logística inversa se presenta como una solución para mitigar estos impactos, promoviendo una economía circular que reduce los desechos y la demanda de materias primas. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la falta de infraestructura adecuada y el desconocimiento de la calidad de los materiales que serán reciclados.

A pesar de estos retos, la combinación de logística inversa con técnicas avanzadas de investigación de operaciones puede optimizar las cadenas de suministro y promover prácticas sostenibles que benefician tanto al medio ambiente como a la economía. Además, las organizaciones sin fines de lucro juegan un papel crucial en la gestión de textiles de segunda mano, lo que no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también apoya causas sociales y fomenta la reutilización responsable de los recursos.

6. Referencias bibliográficas

AguirreGonzález, Á. M. (n.d.). AguirreAngela_2024_LogisticalInversaDrivers.

Alexander, W., Melara, J., Julissa, K., & Palacios, M. (n.d.). "INCURSIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA COMO ESTRATEGIA ECOLÓGICA-COMERCIAL EN LA INDUSTRIA TEXTIL DE EL SALVADOR" PRESENTADO POR.

Dissanayake, K., & Pal, R. (2023). Sustainability dichotomies of used clothes supply chains: a critical review of key concerns and strategic resources. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS MANAGEMENT*, 34(7), 75–97. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2022-0410>

Dwicahyani, A. R., Pujawan, I. N., & Widodo, E. (2023). Managing the Material Flow in Textile and Clothing Closed-loop Supply Chain with Product, Material, and Energy Recoveries: A Conceptual Framework. *E3S Web of Conferences*, 465. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346502064>

González-Castillo, N. S., Núñez-Rodríguez, J., & Ramírez-Rojas, M. S. (2023). Implicación de la logística inversa en la sostenibilidad del sector textil: una revisión sistemática. *I+D Revista de Investigaciones*, 18(1). <https://doi.org/10.33304/revinv.v18n1-2023002>

Janeiro, R., Pereira, M. T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Silva, F. J. G. (2020). New conceptual model of reverse logistics of a worldwide fashion company. *Procedia Manufacturing*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.232>

Kebenei, P., Ayuma, C., & Kimutai, G. (2016). Effects of Green Supply Chain Management on Organizational Productivity: A Survey of Textile Industries in Eldoret. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(9). <https://doi.org/10.22161/ijaers/3.9.18>

López Barrios, M. C. (n.d.). l impacto ambiental del * fash fashion pronta moda The environmental impact of rapid fashion fash.

OMAR, M. O., KITUKU, G., & KITHINJI, M. (2023). INFLUENCE OF REVERSE LOGISTICS ON ORGANIZATIONAL PERFORMANCE OF TEXTILE AND APPAREL FIRMS IN NAIROBI COUNTY. *Strategic Journal of Business & Change Management*, 10(3). <https://doi.org/10.61426/sjbcm.v10i3.2696>

Paras, M. K., Ekwall, D., Pal, R., Curteza, A., Chen, Y., & Wang, L. (2018). An Exploratory Study of Swedish Charities to Develop a Model for the Reuse-Based Clothing Value Chain. SUSTAINABILITY, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041176>

Pazmiño Unda, A. M., Rosado Cedeño, M. A., Echeverría Padilla, M. I., & Benítez Hidalgo, E. S. (2023). Propuesta de logística inversa de los remanentes textiles de la empresa Hilvanando Sueños, Santo Domingo, 2023. Boletín Científico Ideas y Voces. <https://doi.org/10.60100/bciv.v3ie1.69>

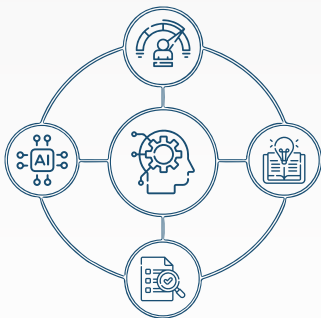
Valls Valls, À. (2013). El papel de la logística inversa en el sector Fast Fashion (Master's thesis). Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/117433>

Wang, C.-N., Pham, T.-D. T., & Nhieu, N.-L. (2021). Multi-Layer Fuzzy Sustainable Decision Approach for Outsourcing Manufacturer Selection in Apparel and Textile Supply Chain. AXIOMS, 10(4). <https://doi.org/10.3390/axioms10040262>

Zhuravleva, A. (2024). Reverse supply chains of non-profit organizations for textile reuse. JOURNAL OF HUMANITARIAN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2023-0018>

Zhuravleva, A., & Aminoff, A. (2021). Emerging partnerships between non-profit organizations and companies in reverse supply chains: enabling valorization of post-use textile. INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYSICAL DISTRIBUTION & LOGISTICS MANAGEMENT, 51(9, SI), 978–998. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2020-0410>

Fecha de recepción: 28/11/2024
Fecha de aceptación: 13/02/2025



Fase de análisis de modelos de
APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
implementados en pruebas académicas estandarizadas

ANALYSIS PHASE OF MACHINE LEARNING MODELS
IMPLEMENTED IN STANDARDIZED ACADEMIC TESTS

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Esp. Nathalia Orozco Morales

Corporación Universitaria Minuto de Dios
nathalia.orozco@uniminuto.edu



Esp. Ing. Luis Fernando Rincón Amarillo

Corporación Universitaria Minuto de Dios
luis.rincon-am@uniminuto.edu



Esp. Claudia Liliana Piedrahita Castaño

Corporación Universitaria Minuto de Dios
claudia.piedrahita@uniminuto.edu



Esp. Jeferson Daniel Gallego Agudelo

Corporación Universitaria Minuto de Dios
jeferson.gallego@uniminuto.edu



Esp. Laura Sarita Gallego Martínez

Corporación Universitaria Minuto de Dios
laura.gallego-m@uniminuto.edu



Modelos Predictivos Enfocados a la Ejecución y Mejoras de Resultados Académicos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Este proyecto se centra en el desarrollo de modelos predictivos con algoritmos de aprendizaje automático enfocados a la mejora del desempeño académico de los estudiantes de diferentes Instituciones de Educación Superior (IES), tomando como referencia los resultados de las pruebas Saber Pro suministrados por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Calidad de la Educación - ICFES entre los periodos 2021-2 a 2023-1.

Palabras clave: aprendizaje automático, inteligencia artificial, educación, rendimiento académico, aprendizaje.

1.1. Abstract.

The Ministry of National Education (MEN) of Colombia measures the quality of higher education by applying standardized tests, more specifically the Saber Pro tests, with which the cognitive, communicative, mathematical and socioeconomic skills of final year students are evaluated. propaedeutic cycles of programs at this level.

Nowadays, artificial intelligence (AI) algorithms have been developed that focus on machine learning models based on databases in which patterns and relationships between variables are identified or thereby generating a design base of descriptive and predictive analytical models.

In this article, a bibliographic and conceptual review is made about machine learning algorithms and their applications in the academic sector and then present the initial stage (descriptive analysis) and its associated partial results of the project developed by students of the specialization in Artificial Intelligence belonging to the research hotbed Predictive Models Focused on the Execution and Improvement of Academic Results of the Minuto de Dios University Corporation.

1. Resumen

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) de Colombia realiza la medición de la calidad de educación superior aplicando pruebas estandarizadas, más concretamente las pruebas Saber Pro, con las cuales se evalúan las habilidades cognitivas, comunicativas, matemáticas y socioeconómicas de los estudiantes de últimos ciclos propedéuticos de programas de este nivel.

Ahora bien, en la actualidad se han desarrollado algoritmos de inteligencia artificial (IA) que se enfocan en modelos de aprendizaje automático partiendo de bases de datos en las cuales se identifican patrones y relaciones entre variables o bien, generando con esto una base de diseño de modelos analíticos descriptivos y predictivos.

En este artículo se hace una revisión bibliográfica y conceptual acerca de algoritmos de aprendizaje automático y sus aplicaciones en el sector académico para luego presentar la etapa inicial (análisis descriptivo) y sus resultados parciales asociados del proyecto desarrollado por estudiantes de la especialización en Inteligencia Artificial pertenecientes al semillero de investigación

The project focuses on the development of predictive models with machine learning algorithms focused on improving the academic performance of students from different Higher Education Institutions (IES), taking as reference the results of the SABER – PRO tests provided by the Institute. Colombian for the Evaluation of the Quality of Education - ICFES between the periods 2021-2 to 2023-1.

Keywords: machine learning, artificial intelligence, education, academic performance, learning.

2. Introducción

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) de Colombia, oficializa la medición de la calidad de la educación superior de las Instituciones de Educación Superior (IES) mediante la aplicación de pruebas académicas estandarizadas a sus estudiantes, de carácter oficial y obligatorio, llamadas Pruebas Saber Pro, las cuales se toman como instrumento para la medición de la calidad de la educación formal que los estudiantes que culminan los programas académicos recibieron en su proceso de formación (Ministerio de Educación Nacional – MEN, 2009).

El Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) emplea los resultados de las pruebas Saber Pro como modelos psicométricos para evaluar a los estudiantes de pregrado que se encuentran sobre el 75% de su plan de estudios, con el fin de evidenciar la calidad en sus habilidades académicas adquiridas para emprender su vida laboral y los factores conexos asociados su aprendizaje.

Las pruebas evalúan y miden de forma cuantitativa (entre 0 y 300 puntos) cada competencia genérica y específica del estudiante en diferentes áreas de conocimiento, que se asumen como saberes mínimos propuestos en el pregrado, además de un cuestionario socioeconómico que aporta información adicional del estudiante como características del núcleo familiar y su hogar, estrato, acceso a internet y tiempo dedicado al entretenimiento

deportivo (Guías de orientación examen Saber Pro, 2023), y es de allí de donde se obtiene la información para realizar el análisis y medición del rendimiento académico de los estudiantes y por ende, inferir la calidad del programa académico de la IES a la que pertenece.

Según Gómez, 2013 las competencias generales en la educación superior que se establecen desde las diferentes áreas del conocimiento se definen como las habilidades intelectuales que fomentan el aprender a aprender, habilidades sociales que suelen utilizarse para el trabajo en equipo, competencias de aprendizaje o educativas (comunicativas, interpretativas, argumentativas y propositivas), sin embargo, este tipo de evaluaciones estandarizadas presentan desafíos como la subjetividad en la corrección, la falta de retroalimentación y la capacidad de adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes.

Los autores Gil-Vera y Quintero-López, 2021 y Zárate-Valderrama, et al. 2021 demuestran que los resultados de este tipo de pruebas se ven afectados por temas relacionados al contexto personal del estudiante, tales como culturales, sociales, tecnológicos, económicos y de bases académicas que a su vez son importantes para evitar la deserción escolar y el aprendizaje sin fundamento.

Por tal motivo, en este artículo se realiza en primer lugar una revisión bibliográfica y conceptual de los modelos de aprendizaje automático o Machine Learning que pueden ser implementados en las bases de datos generados a partir de los resultados de las pruebas Saber Pro y que sirvan específicamente para realizar un análisis estadístico descriptivo sobre las variables de entrada, hallar una correlación entre las mismas y realizar una evaluación de dicha relación para identificar patrones en los datos que sirvan como base de un modelo predictivo dependiente de entradas como la calificación obtenida en las habilidades del estudiante así como su contexto social y factores de su entorno que puedan llegar a influenciar en la valoración cuantitativa que se obtiene en la prueba.

Luego, se presentará la descripción y resultados parciales de la fase inicial (análisis descriptivo) del proyecto Machine Learning que se está desarrollando dentro del semillero de investigación adscrito a la Corporación Universitaria Minuto de Dios: Modelos Predictivos Enfocados a la Ejecución y Mejoras de Resultados Académicos, en donde se implementan algoritmos de aprendizaje automático, tomando como insumo la base de datos de los resultados de las pruebas Saber Pro de los estudiantes de varias IES que presentaron la prueba en el periodo 2021-2 y 2023-1 y que sirven para el entrenamiento de dichos modelos.

Lo anterior tiene como fin generar un modelo descriptivo y predictivo que permita determinar patrones de relación en las variables de entrada para generar una variable de salida relacionada con el rendimiento académico del estudiante y así poder implementar estrategias más precisas y decisiones organizacionales orientadas a fortalecer su desempeño al momento de la presentación de la prueba y así responder a la pregunta: ¿Es viable implementar un modelo de Machine Learning que permita relacionar variables objetivas y subjetivas de un estudiante que presenta una prueba estandarizada para obtener información que permita determinar su rendimiento?

Al final del artículo se pretende discutir el objetivo general del mismo: Evaluar la viabilidad de un modelo Machine Learning que permita relacionar los resultados cuantitativos con las variables cualitativas relacionadas a un estudiante de IES que presenta una prueba académica estandarizada, para poder obtener información sobre su rendimiento académico.

3. Metodología

Para el presente artículo y sus respectivos resultados y discusión, se presenta un tipo de investigación con enfoque mixto, puesto que para desarrollar modelos analíticos y de aprendizaje automático en la IA, se toma como insumo información proveniente de datos tanto cuantitativos como lo son las calificaciones numéricas de las pruebas Saber Pro como datos cualitativos como los usados

para determinar el contexto social, cultural y económico, entre otros, de cada estudiante que presenta la prueba.

Lo anterior también se argumenta con el hecho de que se parte de un problema bien definido el cual es el de la necesidad de poder realizar un análisis estadístico preliminar sobre una base de datos confiable para luego poder desarrollar un modelo usando algoritmos de Machine Learning o aprendizaje automático que pueda relacionar variables tanto cuantitativas como cualitativas de cada estudiante que presenta una prueba estandarizada de medición de desempeño académico y así definir un modelo que logre realizar una descripción y predicción en los resultados obtenidos por los estudiantes que presentan la prueba o bien, permita identificar patrones para diseñar estrategias de aprendizaje a implementar en los estudiantes para mejorar su rendimiento académico, relacionando directamente las habilidades analíticas de los estudiantes y la inferencia que tiene su contexto económico, social y cultural sobre los resultados obtenidos en la prueba.

La metodología que se aplica en esta fase preliminar del proyecto es de carácter experimental puesto que se parte de un trabajo explicativo haciendo una revisión bibliográfica de lo conceptual para luego aplicar dicho conocimiento sobre un proceso que no tiene casos vistos hasta el momento. Con ello se pretende determinar la relación causa – efecto que se tiene entre las variables independientes o causales y la variable dependiente de ellas (Lerma, 2016).

Para la fase inicial del proyecto se establecieron las siguientes etapas:

- **Etapas de revisión bibliográfica y conceptual:** Esta tiene como base el contexto de la inteligencia artificial aplicada al campo de la educación, y como fin, identificar los algoritmos o modelo de IA más convenientes a implementar en el contexto académico a abordar. Se realizó una búsqueda de los modelos de Machine Learning a nivel global y local, clasificando los algoritmos que son más relevantes para la aplicación en el proyecto. Es importante mencionar que las

pruebas estandarizadas tipo Saber Pro solo se aplican en el contexto local y aunque hay un número variado de estudios a nivel de educación que aportan a los instrumentos del proyecto, esta revisión se centró en la búsqueda de modelos que puedan cumplir el objetivo principal propuesto.

- **Etapas de obtención de base de datos:** En esta fase se utilizó como base de datos la información de los resultados de las competencias genéricas y específicas de la prueba Saber Pro de estudiantes de las diferentes IES del país en el periodo 2021-2 a 2023-1 y suministradas por el ICFES. En total se contaron con 5 bases de datos correspondientes a los periodos de estudio las cuales suman un total de 754.029 registros (estudiantes con sus respectivos datos). Dicha fuente de información es insumo más que suficiente para desarrollar un modelo analítico descriptivo de las variables de estudio.

- **Etapas de procesamiento de la base de datos:** En esta fase se realiza un proceso clave y fundamental en cuanto al manejo y presentación de los datos para modelamiento Machine Learning, que es el procesamiento de los datos, en el cual se estructuran los datos en tablas con el mismo formato, se concatenan dichas tablas, se identifica y hace limpieza de los datos errados, se identifican los datos faltantes y dependiendo de su cantidad se eliminan o imputan, y por último se hace una estandarización de su formato de presentación. Esta base de información procesada es el insumo adecuado para un futuro entrenamiento de los algoritmos Machine Learning a implementar.

- **Etapas de Análisis:** En esta fase se diseña y establece el modelo estadístico descriptivo y se hace una identificación y aproximación de la correlación entre las variables de interés.

4. Resultados y discusión

4.1. Revisión bibliográfica.

En el artículo de García-González et al. 2019 se pretende desarrollar una herramienta que aplique la metodología de descubrimiento

del conocimiento en bases de datos (KDD) y utilice la minería de datos para correlacionar la información del historial académico de los estudiantes con los resultados de la prueba Saber Pro. Se presentan los resultados de un estudio que utilizó redes neuronales para predecir con alta precisión los resultados de la prueba Saber Pro en Colombia.

La investigación se basó en la extracción de conocimiento de una base de datos que incluye el desempeño académico de los estudiantes en áreas relacionadas con la prueba. Se encontró una correlación entre el desempeño académico y los resultados de Saber Pro, lo que sugiere que esta metodología es útil para identificar patrones en los datos y mejorar los resultados de la prueba.

Tras la construcción de la herramienta y la realización de las pruebas en diferentes escenarios (reales, artificiales y uso de datos masivo) se resaltan los siguientes hechos: (1) En todos los casos analizados la herramienta pudo relacionar las asignaturas y pudo calcular el promedio ponderado de cada estudiante; (2) En todos los casos analizados el algoritmo aplicó la correlación y pudo predecir de manera satisfactoria los puntajes de la prueba de razonamiento cuantitativo, comparándolo con el resultado real del estudiante; (3) En algunos casos la predicción no fue exacta, pero los resultados son acordes con el desempeño del estudiante.

En el documento de Contreras, et al. 2023 se proporciona una visión general sobre como el Machine Learning (aprendizaje automático) puede ser usado para identificar condiciones no satisfactorias y predecir el rendimiento académico de los estudiantes en educación superior.

El objetivo es identificar algoritmos de Machine Learning existentes para la evaluación del rendimiento académico. Se concluye que al ingresar técnicas de aprendizaje automático se determinan factores y variables que influyen en el rendimiento de los estudiantes. En última instancia, este enfoque refleja la creciente importancia de la tecnología avanzada en la mejora de la educación y el proceso de aprendizaje.

Froment y de-Besa Gutiérrez, 2022 se centran en cómo las opiniones de los estudiantes sobre el comportamiento de sus profesores en el aula tienen un impacto significativo en su proceso de aprendizaje. Esto afecta aspectos importantes como su motivación académica, que se considera uno de los factores clave para el éxito de los estudiantes. En otras palabras, si los estudiantes tienen una buena percepción de sus profesores, es más probable que estén motivados para aprender y tengan un mejor rendimiento académico. La conclusión principal de este estudio es que existe una relación positiva entre la credibilidad del profesorado, y que esta influye de manera significativa en el compromiso, la satisfacción y la motivación académica en estudiantes universitarios de Educación Infantil y Educación Primaria en la Universidad de Cádiz.

En el artículo Jurado, 2020 la investigación se basa en la creación de un modelo tecnológico que utiliza una red neuronal artificial (NN) y un algoritmo de procesamiento de lenguaje natural. Este modelo busca automatizar la revisión crítica en las evaluaciones virtuales de los estudiantes de pregrado, con el propósito de mejorar el proceso educativo en respuesta a la contingencia que ocasionó la pandemia global del COVID-19. Estas innovaciones se han implementado a través de la plataforma Virtual Moodle, que hoy en día es un recurso esencial para la enseñanza y el aprendizaje en la Universidad Privada Domingo Savio en todas sus carreras.

Igualmente, esta NN desempeña una función adicional al evaluar a los estudiantes para lograr identificar a aquellos con un perfil psicológico adecuado para especializarse en asignaturas de alto nivel. Las redes neuronales artificiales se utilizan como herramienta de clasificación y predicción en la educación virtual, un área de estudio que es aplicable para diversos campos de la educación superior, basándose en el procesamiento, modelado, pruebas y validación estadística, probabilidad y matemáticas puras, dejándonos ver que la tecnología artificial garantiza la calidad de las evaluaciones en

proyectos académicos, alineándose con el concepto del triángulo del conocimiento.

En la comparativa hecha por Mercado Polo, et al. 2015 de las redes neuronales artificiales, se emplearon dos enfoques: el primero es sobre el perceptrón multicapa (MLP) y el segundo sobre las funciones de base radial (RBF), utilizando el algoritmo resilient backpropagation para el MLP y una combinación del algoritmo de los K-Means y el método de la matriz pseudoinversa para la RBF.

La implementación de estas redes se llevó a cabo mediante un sistema de cliente-servidor con vistas a su posible integración en aplicaciones en tiempo real en el futuro. Para la evaluación de estas redes, se utilizaron conjuntos de datos con diversas características y tamaños. Según los resultados obtenidos, se concluye que, para la integración de técnicas de inteligencia computacional en sistemas web, las RBF son preferibles debido a su mejor rendimiento en tiempos de ejecución, aunque es importante destacar que ambos tipos de redes neuronales ofrecen resultados similares en cuanto a la calidad de las respuestas. Los resultados de RBF y MLP son muy similares, respaldados por herramientas estadísticas que indican con un 95% de confianza que no existe una diferencia significativa entre ambos métodos.

4.2. Revisión conceptual.

Algoritmo de Aprendizaje Automático

Este término se refiere al sistema de IA que aprende a través de datos expuestos por un experto y suele mejorar su desempeño en una tarea específica a través del tiempo (Vuralli, et al, 2023). Los modelos de Machine Learning utilizan métodos de clasificación, regresión y agrupamiento para realizar sus predicciones, dentro de estos se pueden encontrar los algoritmos Naive Bayes, Random Forest, Árboles de Decisión, Clusterización y Redes Neuronales Artificiales, cada uno de estos modelos suele ser utilizado según el número de datos y el problema a solucionar (Rojas Rubio & Meneses Villegas, 2022).

Tipos de aprendizaje automático

El aprendizaje automático ofrece muchas ventajas en el contexto educativo comparado con otros métodos tradicionales. Este tipo de algoritmos pueden ser utilizados debido a los avances tecnológicos y a los datos que se reflejan desde los dispositivos electrónicos que se evidencian actualmente (Valero, 2017). Las técnicas utilizadas en la actualidad han permitido a los investigadores modelar problemas de rendimiento académico, análisis de sentimientos y comportamiento social que sirven para automatizar los procesos estudiantiles y analizar los comportamientos sociales (Selwyn, 2019), es así como se explican los tres tipos de AA utilizados:

- Según Pérez del Barrio, et al. 2022 el aprendizaje reforzado es un algoritmo que ejecuta acciones utilizando el proceso de ensayo y error.
- El Aprendizaje automático no supervisado contiene data que no está etiquetada, por lo cual, el algoritmo se centra en encontrar características similares en el conjunto de datos y realizar agrupación.
- En el aprendizaje automático supervisado los datos se encuentran etiquetados, por tal motivo, el algoritmo genera una clasificación o regresión según lo disponga el problema. Según Mamani-Coaquira, et al. 2021 la clasificación se refiere a asignar a los datos de entrada categorías específicas binarias o multiclase, mientras que la regresión se utiliza para hallar la relaciones entre variables.

Desarrollo de competencias digitales

P. Gómez, et al. 2023 indica que la formación de competencias digitales en estudiantes universitarios es muy importante para mejorar las capacidades de la Inteligencia Artificial (IA) en la personalización del aprendizaje. La adaptación de la IA conlleva a que las necesidades individuales de cada estudiante están alineadas con la premisa de que los estudiantes deben adquirir habilidades tecnológicas para mantenerse al día con los avances en la educación.

Esto implica el aumento de la capacidad de los sistemas de tutoría inteligente para proporcionar retroalimentación y recursos personalizados, generando mejoras sustanciales en la eficacia del proceso de aprendizaje. Sin embargo, la implementación de la IA en la educación superior plantea preocupaciones y desafíos, entre ellos la necesidad de adaptar los sistemas a las diversas realidades y necesidades de las instituciones universitarias, así mismo, surge la inquietud por la posible sustitución de la enseñanza humana por sistemas de aprendizaje basados en computadoras.

Inteligencia Artificial (IA)

Ruíz, 2023. La inteligencia artificial (IA) ha experimentado un rápido desarrollo en los últimos años, impulsado por avances en la potencia informática, la disponibilidad de grandes conjuntos de datos y la evolución de nuevos algoritmos. La IA se define como la capacidad de las máquinas para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la planificación y con ello ha transformado diversos aspectos de nuestra vida cotidiana, desde la forma en que compramos en línea hasta cómo interactuamos con nuestros dispositivos móviles.

A medida que la IA continúa avanzando, es probable que veamos aún más aplicaciones innovadoras en diversas industrias, con un impacto significativo en la eficiencia, la personalización y la calidad de los servicios ofrecidos. Sin embargo, también plantea desafíos éticos y sociales que deben abordarse para garantizar un desarrollo y aplicación responsable de esta tecnología. Algunas aplicaciones clave de la inteligencia artificial se expresan a continuación:

- **Búsquedas en la Web:** Los motores de búsqueda aprovechan la IA para mejorar la relevancia de los resultados, aprenden de la enorme cantidad de datos generados por los usuarios ajustando constantemente sus algoritmos para proporcionar respuestas más precisas y personalizadas.

- **Asistentes Personales Digitales:**

Los Smartphone emplean la IA para ofrecer experiencias personalizadas a los usuarios. Los asistentes virtuales, mediante el procesamiento del lenguaje natural y el aprendizaje automático, responden preguntas, brindan recomendaciones y ayudan a organizar las actividades diarias de los usuarios.

- **Traducciones Automáticas:**

Los programas de traducción de idiomas hacen uso de la IA, tanto para texto escrito como oral. Este enfoque mejora la calidad de las traducciones y permite una comunicación más fluida entre hablantes de diferentes idiomas. Además, la IA también se aplica en tareas como el subtitulado automático, mejorando la accesibilidad y la comprensión en entornos multilingües.

La Inteligencia Artificial en el aprendizaje

El impacto de la IA en los entornos de aprendizaje personal de los estudiantes universitarios es un tema de creciente interés en la educación. En el artículo “Inteligencia artificial y ambientes personales de aprendizaje: atentos al uso adecuado de los recursos tecnológicos por estudiantes universitarios” de Castillejos López, 2022 se hace reflexión en el uso de hacks académicos y herramientas de inteligencia artificial que facilitan prácticas poco éticas en el aula.

El objetivo principal del artículo es dar un alcance frente al impacto de la inteligencia artificial con relación a los entornos de aprendizaje para estudiantes universitarios, específicamente en relación a las herramientas para uso de mejores prácticas, resaltando la ética. La metodología utilizada es principalmente de análisis y reflexión sobre las implicaciones de estas prácticas en el pensamiento crítico y creativo de los estudiantes (Salas & Tello, 2023).

En cuanto a la necesidad de generar un proyecto enfocado a enseñar la IA en las instituciones con la finalidad de contribuir a la integración de los aspectos humanos en programas de formación dirigidos a los jóvenes, se tiene lo siguiente:

“Debemos renovar este compromiso, ya que nos acercamos a una época en que la inteligencia artificial – la convergencia de tecnologías emergentes – transformará todos los aspectos de nuestras vidas” (La Inteligencia Artificial y su uso en la Educación Inclusiva, 2023).

Pruebas de Estado Saber Pro

Son exámenes estandarizados administrados a nivel estatal o nacional para evaluar el rendimiento educativo a nivel superior. Los estudiantes de educación superior en Colombia deben presentar las pruebas Saber Pro sobre un 75% de su nivel de pregrado y se constituye como un instrumento estandarizado para la evaluación externa de la calidad de la educación superior. El examen se ofrece en modalidad electrónica en un sitio de aplicación definido por el ICFES y para su aplicación, el estudiante debe dirigirse a su Universidad/Facultad para realizar la preinscripción certificada, posteriormente, el ICFES le proporcionará un usuario y clave para darse de alta en la plataforma y realizar la inscripción vía formulario (Guías de orientación examen Saber Pro, 2023).

La Inteligencia Artificial en la Transformación Digital

En gran variedad de estudios se demuestra que la utilización de la IA constituye una herramienta muy importante y de gran relevancia para el éxito de los negocios, ya que evalúa una serie de características que no son tan perceptibles pero que generan valor y conllevan a un aumento en la capacidad para el aprendizaje de los modelos de negocios digitales (Rojas Rubio & Meneses Villegas, 2022).

En la nueva revolución industrial (Industrias 4.0) se retan nuestras prácticas comunes al ser comparadas con la nueva era digital para la integración sistemática de objetos inteligentes (Internet de las Cosas – IoT), sistemas de cómputo con mayores prestaciones, como lo son particularmente los servicios de nube y la utilización de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), entre otras. Lo anterior no plantea un gran

interrogante sobre aquellas buenas o mejores prácticas que podemos relucir para que haya una mayor generación de beneficios con lo que nos ofrecen las nuevas tecnologías emergentes (Rojas Rubio & Meneses Villegas, 2022).

4.3. Obtención de base de datos.

En esta etapa se logró obtener una generosa base de datos provenientes de 5 fuentes de información suministradas por el ICFES y que corresponde a los periodos académicos de estudio (del 2021-2 al 2023-1) y detalladas de la siguiente manera:

1. SaberPro_2021.txt, con un total de registros de 246498.
2. SaberPro_Específicas_20212.txt con un total de registros de 198167.
3. SaberPro_2022-1.TXT con un total de registros de 42734.
4. DATA_ICFES_SABERPROPROFESIONAL_2022-2.TXT con un total de registros de 127342.
5. DATA_ICFES_SABERPROPROFESIONAL_20231.TXT con un total de registros de 139288.

Se consolido un total de 754.029 registros, es decir, ficheros de estudiantes con sus respectivos datos. La presentación de la información proveniente de las fuentes se presenta en formatos TXT como se muestra en la figura 1:

Figura 1.
Presentación y formato de las fuentes de información obtenidas



Nota. ICFES 2021

4.4. Procesamiento de Base de Datos.

Para realizar el procesamiento de la información de la base de datos y en sí, la normalización del formato de la base de datos (.txt) se emplean las herramientas de desarrollo del lenguaje de programación de Python y sus respectivas librerías, todo dentro del entorno de desarrollo Google Colaboratory (servicio en la nube prestado por Google).

En esta etapa, se realizó el procedimiento de concatenación de los 5 archivos de la base de datos obtenida en la fase anterior, es decir, se unieron los 5 archivos en uno solo y se estandarizó la información del nuevo archivo, a tal punto de que los datos de interés tuvieran el mismo formato y fueran compatibles. Luego, con librerías y funciones propias del lenguaje Python se procede a hacer la limpieza o cleaning de la información.

En dicho proceso se identifican los datos erróneos o mal digitados, los datos faltantes o perdidos y se proceden a eliminar puesto que la cantidad de estos datos no es significativa en comparación con la base de datos total y por consiguiente, no alterará el resultado final. A continuación, en la figura 2 se muestra la base de datos limpia que se obtuvo:

Figura 2.
Base de datos obtenida después del proceso de cleaning realizado

Column	ESTU_TIPDOCUMENTO	ESTU_NACIONALIDAD	ESTU_GENERO	ESTU_FECHANACIMIENTO	ESTU_EXTERIOR	PERIODO	ESTU_CONSECUATIVO	ESTU_ESTUDIANTE	ESTU_PAIS_RESIDE	...
0	0	CC	COLOMBIA	F	14/01/2000	NO	2012	EK002120038705	ESTUDIANTE	COLOMBIA
1	1	CC	COLOMBIA	F	09/11/1984	NO	2012	EK002120032222	ESTUDIANTE	COLOMBIA
2	2	CC	COLOMBIA	F	22/12/1987	NO	2012	EK002120070304	ESTUDIANTE	COLOMBIA
3	3	CC	COLOMBIA	F	16/09/1993	NO	2012	EK002120035227	ESTUDIANTE	COLOMBIA
4	4	CC	COLOMBIA	M	28/02/1996	NO	2012	EK002120054325	ESTUDIANTE	COLOMBIA
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
452015	130283	CC	COLOMBIA	F	19/10/2001	NO	2031	EK002120236306	ESTUDIANTE	COLOMBIA
452016	130284	CC	COLOMBIA	M	25/01/1999	NO	2031	EK002120239645	ESTUDIANTE	COLOMBIA
452017	130285	CC	COLOMBIA	M	24/01/1996	NO	2031	EK002120115566	ESTUDIANTE	COLOMBIA
452018	130286	CC	COLOMBIA	M	30/03/2001	NO	2031	EK002120111790	ESTUDIANTE	COLOMBIA
452019	130287	CC	COLOMBIA	F	15/07/1999	NO	2031	EK002120174486	ESTUDIANTE	COLOMBIA

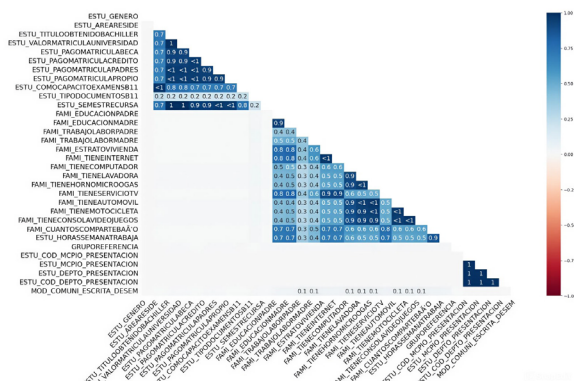
Nota. Elaboración propia.

4.5. Análisis Descriptivo.

Al disponer de una base de datos limpia, sólida y confiable (sin errores ni valores perdidos), se procede a realizar una serie de pruebas de funciones estadísticas que poseen las librerías Python que por excelencia manejan modelos estadísticos. Estas librerías son Pandas y NumPy.

Con las funciones mencionadas se procede a hacer una correlación general de las variables contenidas en la base de datos. En la figura 3 se muestra la matriz de correlación de variables:

Figura 3.
Matriz de correlación general de las variables de la base de datos obtenida

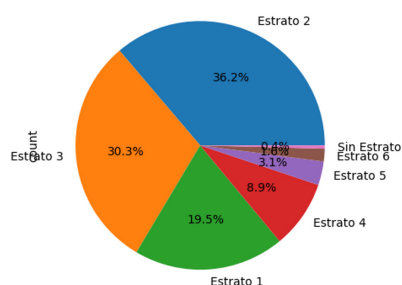


Nota. Elaboración propia.

En esta matriz relaciona una variable con las demás y se asigna un número entre cero y uno que indica el grado de relación entre estas variables. Entre más próximo sea el valor a 1, mayor correlación existirá entre dichas variables.

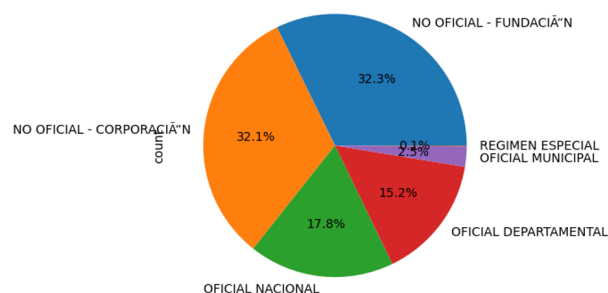
Luego se procede a realizar pruebas iniciales sobre la base de datos y algunas de sus variables con funciones analíticas obteniendo gráficas estadísticas que describen el comportamiento de las variables en cuestión. A continuación, se presenta una serie de figuras que sirven como ejemplo de descripción de variables:

Figura 4.
Distribución del estrato socioeconómico de los estudiantes que presentaron la prueba Saber Pro entre el periodo 2021-2 y 2023-1



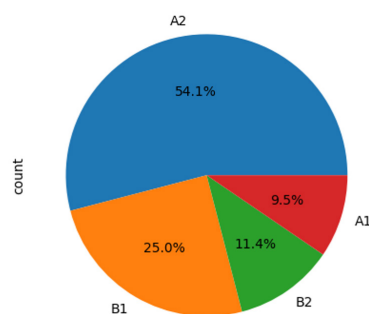
Nota. Elaboración propia.

Figura 5.
Distribución del tipo de IES de la que provienen los estudiantes que presentaron la prueba Saber Pro entre el periodo 2021-2 y 2023-1



Nota. Elaboración propia.

Figura 6.
Distribución del nivel de inglés que poseen los estudiantes que presentaron la prueba Saber Pro entre el periodo 201-2 y 2023-1



Nota. Elaboración propia.

4.6. Discusión.

Diferentes investigaciones coinciden en que diferentes factores influyen sobre los resultados de las pruebas Saber Pro ya que el rendimiento académico entre los estudiantes se asocia al estrato social, variables demográficas, la calidad del sueño y el uso de dispositivos electrónicos (Adelantado-Renau, et al, 2019).

Además, Plant, et al. 2005 menciona que la cantidad de tiempo invertido en el estudio es un predictor del éxito académico, por tanto, entre más tiempo se dedique a la retroalimentación de los saberes, mejores serán las calificaciones del estudiante, sin embargo, es importante mencionar que todo estudiante debe fortalecer sus habilidades personales.

En Colombia las pruebas Saber Pro se sustentan en bases teóricas que buscan evaluar habilidades cognitivas, matemáticas, comunicativas entre otras asociadas a cada carrera, sin embargo, es importante revisar un cuestionamiento frente a evaluar la eficacia y adecuación de estas bases teóricas (Amalia & Sanabria, 2013).

En primer lugar, es necesario considerar que las habilidades cognitivas y comunicativas son aspectos fundamentales en la formación de cada estudiante y es así como se pretende que con estas pruebas se pueda evaluar la oportunidad y eficacia, además de que los estudiantes hayan adquirido dichas habilidades que son necesarias para desenvolverse en el ámbito académico y profesional.

En segundo lugar, la inclusión de la evaluación de estas habilidades obtenidas durante el transcurso de la carrera evaluadas en las pruebas Saber Pro refleja una preocupación por formar profesionales con un sólido conocimiento, sin embargo, Corvalán, 2018 indica que existe una serie de variables a tener en cuenta que están afectando esta medición y evaluación y he aquí donde se encuentra que a través de la inteligencia artificial podemos apalancarnos para detectar y determinar aquellos aspectos en los cuales debemos fortalecer o profundizar.

Así, al entrelazar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) emergentes con procesos y métodos académicos, se logra abordar aspectos relevantes en cuanto al desarrollo de las habilidades académicas e identificación de estilos de aprendizaje en el entorno educativo, donde se puede ofrecer a los estudiantes experiencias de aprendizaje adaptadas a cada población, lo que se traduce en una mayor calidad en la formación, compromiso y retención estudiantil.

La necesidad de identificar estas habilidades que pueden ser innatas o adquiridas por el estudiante dentro del entorno educativo puede ayudar a identificar variables no tan perceptibles por el docente

que pueden llegar a ser un aporte importante para identificar las falencias en cuestión de aprendizaje y por tanto garantizar una educación adecuada para cada individuo del sistema educativo (Giró-Gracia, et al, 2022).

También se tiene en cuenta que los elementos que conforman este estudio se basaron en la premisa de que los modelos IA puede revolucionar la forma de determinar y fortalecer la calidad de la educación superior al proporcionar herramientas analíticas que puedan definir estrategias más personalizadas y efectivas para el aprendizaje, lo que beneficia a los estudiantes y a las IES al garantizar un enfoque claro y medible logrando un mejor resultado del rendimiento estudiantil (Rojas, et al, 2022) y por resorte, mejorar los indicadores de medición de la calidad en la formación.

Además, es necesario analizar la efectividad de la utilización de la inteligencia artificial sin perder el factor humano pero sí aprovechando estos nuevos mecanismos para fortalecer aquellas posibles variables que no son tan perceptibles, pero que sí generan un gran valor al momento de la aplicabilidad en las pruebas Saber Pro, lo anterior, ya que estas pruebas como herramienta para evaluar la calidad de la educación superior pueden proporcionar información sobre el desempeño individual de los estudiantes, los programas educativos y las instituciones.

Ahora bien, dentro de la inteligencia artificial, el desarrollo de modelos Machine Learning puede llevar al uso de algoritmos robustos y adaptables, y su implementación en el contexto de las pruebas estandarizadas Saber Pro necesita ser cuidadosamente evaluado, ya que se requiere una discusión profunda sobre cómo estos modelos pueden complementar o mejorar las bases teóricas establecidas, sin comprometer la equidad, la validez de las pruebas y el factor humano.

5. Conclusiones

Con la digitalización de los entornos educativos, incluyendo los métodos de enseñanza aprendizaje el número de datos

es cada vez mayor y por tanto los procesos que se pueden realizar con estos, por tanto, es una puerta para el análisis y la predicción de los datos.

Los resultados de la búsqueda bibliográfica permiten identificar modelos de IA utilizados en la educación, así como el impacto de estos algoritmos en la búsqueda de patrones y tendencias que podrían reflejarse en estudios futuros.

El análisis descriptivo realizado en las etapas iniciales del proyecto permitió identificar variables clave, como el estrato socioeconómico, el tipo de IES de procedencia del estudiante y su nivel de inglés. Estas variables resultan fundamentales para entender mejor los factores que influyen en el rendimiento académico y deberían ser consideradas en futuros análisis más exhaustivos para profundizar en las causas y correlaciones observadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, más precisamente, la base de datos obtenida y su respectiva organización, es totalmente viable la aplicación de un modelo estadístico y descriptivo sobre las variables cualitativas y cuantitativas de la misma base, para posteriormente desarrollar un modelo de entrenamiento Machine Learning e implementar los algoritmos adecuados en la obtención de una relación entre ellas e identificar patrones que permitan idealizar estrategias enfocadas al mejoramiento del rendimiento académico de los estudiantes de las Instituciones de Educación Superior.

6. Referencias Bibliográficas

Ministerio de Educación Nacional - MEN. Decreto Numero 3963: Examen de Estado de Calidad de la Educación Superior. En: Ley 1324. República de Colombia (2009).

Adelantado-Renau, M., Diez-Fernandez, A., Beltran-Valls, M. R., Soriano-Maldonado, A., & Moliner-Urdiales, D. (2019). The effect of sleep quality on academic performance is mediated by Internet use time: DADOS study. *Jornal de Pediatria*, 95(4), 410–418. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2018.03.006>

Amalia, C., & Sanabria, C. (2013). Una Mirada A Los Resultados De Aprendizaje. *Edu.Co*. https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2022-07/Una%20mirada%20a%20los%20resultados%20de%20aprendizaje

Aznarte, J. L. (2020). Consideraciones éticas en torno al uso de tecnologías basadas en datos masivos en la UNED. *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 23(2), 237. <https://doi.org/10.5944/ried.23.2.26590>

Bonami, B., Piazzentini, L., & Dala-Possa, A. (2020). Education, Big Data and Artificial Intelligence: Mixed methods in digital platforms. *Comunicar*, 28(65), 43–52. <https://doi.org/10.3916/c65-2020-04>

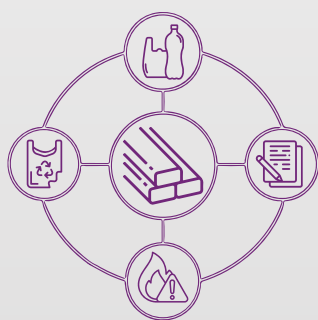
Castillejos López, B. (2022). Inteligencia artificial y los entornos personales de aprendizaje: atentos al uso adecuado de los recursos tecnológicos de los estudiantes universitarios. *Educación*, 31(60), 9–24. <https://doi.org/10.18800/educacion.202201.001>

Contreras, L. E., Tarazona Bermúdez, G. M., & Alemán Cardona, A. P. (2023). Machine Learning aplicado al rendimiento académico en educación superior: factores, variables y herramientas. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Corvalán, J. G. (2018). Inteligencia artificial: retos, desafíos y oportunidades – Prometea: la primera inteligencia artificial de Latinoamérica al servicio de la Justicia. *Revista de Investigações Constitucionais*, 5(1), 295. <https://doi.org/10.5380/rinc.v5i1.55334>

- Escandón Barbosa, D. M., & Ayala, A. H. (2017).** El compromiso exportador en Colombia: un análisis de redes neuronales. 24, 362–388. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/el-compromiso-exportador-en-colombia-un-analisis/docview/2013604511/se-2>
- Froment, F., & de-Besa Gutiérrez, M. (2022).** La predicción de la credibilidad docente sobre la motivación de los estudiantes: el compromiso y la satisfacción académica como variables mediadoras. *Revista de psicodidáctica*, 27(2), 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.04.003>
- García-González, J. R., Sánchez-Sánchez, P. A., Orozco, M., & Obredor, S. (2019).** Extracción de Conocimiento para la Predicción y Análisis de los Resultados de la Prueba de Calidad de la Educación Superior en Colombia. *Formación Universitaria*, 12(4), 55–62. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062019000400055>
- Gil-Vera, V. D., & Quintero-López, C. (2021).** Predicción del rendimiento académico estudiantil con redes neuronales artificiales. *CIT Informacion Tecnologica*, 32(6), 221–228. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600221>
- Giró-Gracia, X., Universidad de Barcelona, Sancho-Gil, J. M., & Universidad de Barcelona. (2022).** La Inteligencia Artificial en la educación: Big data, cajas negras y solucionismo tecnológico. *Revista latinoamericana de tecnología educativa*, 21(1), 129–145. <https://doi.org/10.17398/1695-288x.21.1.129>
- Gómez, B. R. (2013).** Fundamentos teóricos de la evaluación por competencias: trazabilidad histórica del concepto/. 13(2), 14–23. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/fundamentos-teoricos-de-la-evaluacion-por/docview/1495407097/se-2?accountid=48797>
- Gómez, P., Martínez, D., Delgado, R., Lopez, R., & Freire, P. (2023).** Desarrollo de Competencias Digitales Docentes en el Ecuador. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 62, 157–165. <https://www.proquest.com/docview/2880950505?parentSessionId=J2RZw33b8KX2I2sL5I8%2BRHrSPjN%2B7XiaHCL6uegACM8%3D&pq-origsite=summon&accountid=48797>
- Guías de orientación examen Saber Pro. (2023).** ICFES. <https://www.icfes.gov.co/gu%C3%ADas-de-orientaci%C3%B3n-examen-saber-pro>
- Jurado, H. F. M. (2020).** Modelos De Redes Neuronales Artificiales, Como Sustento Evaluativo Al Crecimiento Pedagógico Virtual En Educación Superior. *Revista Científica de Publicación del Centro Psicopedagógico y de Investigación en Educación Superior*, 7(2), 11–11. <https://ojs.cepies.umsa.bo/index.php/RCV/article/view/61>
- La Inteligencia Artificial y su uso en la Educación Inclusiva. (2023, noviembre 22).** Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/andis/la-inteligencia-artificial-y-su-uso-en-la-educacion-inclusiva>
- Mamani-Coaquira, Y., Ibarra, M. J., Vilca, E. M., Ramos, E. O., & Cruz, M. A. (2021).** Identificar Sentimientos en Cuarentena por la Covid-19 mediante Clasificador Léxico y Aprendizaje Supervisado. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 19, 618–631. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/identificar-sentimientos-en-cuarentena-por-la/docview/2493869956/se-2>
- Mercado Polo, D., Pedraza Caballero, L., & Martínez Gómez, E. (2015).** Comparación de Redes Neuronales aplicadas a la predicción de Series de Tiempo. *Prospectiva*, 13(2), 88. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.491>

- Pérez Del Barrio, A., Menéndez Fernández-Miranda, P., Sanz Bellón, P., Lloret Iglesias, L., & Rodríguez González, D. (2022).** Artificial Intelligence in Radiology: an introduction to the most important concepts. *Radiología (English Edition)*, 64(3), 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2022.03.005>
- Pérez del Barrio, A., Menéndez Fernández-Miranda, P., Sanz Bellón, P., Lloret Iglesias, L., & Rodríguez González, D. (2022).** Inteligencia artificial en Radiología: introducción a los conceptos más importantes. *Radiología*, 64(3), 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2022.03.003>
- Plant, E. A., Ericsson, K. A., Hill, L., & Asberg, K. (2005).** Why study time does not predict grade point average across college students: Implications of deliberate practice for academic performance. *Contemporary Educational Psychology*, 30(1), 96–116. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2004.06.001>
- Ruíz Ramírez, E. (2023).** Avances y desafíos de la inteligencia artificial en el mundo laboral. Una visión desde el sector público y privado. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9015608>
- Raschka, S., & Mirjalili, V. (2023).** Python machine learning - (2a ed.). Packt Publishing.
- Rojas Rubio, L., & Meneses Villegas, C. (2022).** Una comparación empírica de algoritmos de aprendizaje automático versus aprendizaje profundo para la detección de noticias falsas en redes sociales. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 30(2), 403–415. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052022000200403>
- Rojas, S., González, J., Suárez, M., & González, J. (2022).** Fortalecimiento de canales de comunicación para personas con discapacidad fono-auditiva en ambientes de educación básica mediante captura de movimientos usando lenguajes de señas. *Ingeniería y Competitividad*, 25(1). <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i1.12066>
- Salas, N. D., & Tello, M. B. (2023).** La Inteligencia Artificial en la Educación: Herramientas de Aprendizaje y Evaluación de la Escritura (en L1). *Revista de logopedia, foniatría y audiolología (Internet)*, 43(4), 100328. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2023.100328>
- Selwyn, N. (2019).** ¿Deberían los robots sustituir al profesorado? La IA y el futuro de la educación. Morata.
- Valero, C. S. (2017).** Aplicación de métodos de aprendizaje automático en el análisis y la predicción de resultados deportivos (Application of automated learning methods for analyzing and predicting sports outcomes). *Retos digital*, 34, 377–382. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i34.58506>
- Vuralli, D., Polat, S., Isök, E. I., Öksüzler, M., & Göker, A. S. Ö. & (2023).** Crista Galli Morphometry and Morphology: An Anatomical, Radiological, and Machine Learning Application Study.
- Zárate-Valderrama, J., Bedregal-Alpaca, N., & Cornejo-Aparicio, V. (2021).** Modelos de clasificación para reconocer patrones de deserción en estudiantes universitarios. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1), 168–177. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052021000100168>
- Fecha de recepción:** 27/11/2024
Fecha de aceptación: 11/03/2025



Protocolo de ensayos
Mecánicos y Físicos para
MADERAS PLÁSTICAS
según normas Colombianas

PROTOCOL OF MECHANICAL AND PHYSICAL TESTS FOR
PLASTIC LUMBER ACCORDING TO COLOMBIAN STANDARDS

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Ing. José Daniel López Chica

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
jdlopezc@sena.edu.co



Ing. Diego Alejandro Ramírez Cardona

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
daramirez@sena.edu.co



Ing. Haider Steven Taborda Arroyave

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
htabordaa@sena.edu.co



1. Resumen

Este artículo presenta un protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas, desarrollado conforme a las normas técnicas colombianas NTC: 595, 6296, 6355, 943 y 467. La investigación surge en respuesta a la problemática ambiental en Colombia derivada del manejo inadecuado del plástico, donde la mayoría de los residuos termina en vertederos o ríos. La creación de nuevos materiales a partir de plásticos reciclados, como la madera plástica, ofrece una solución sostenible.

El objetivo del estudio es desarrollar un protocolo para caracterizar mecánica y físicamente madera plástica para su uso en construcción civil y cumplir con los requisitos legales en Colombia. La evidencia obtenida a través de análisis de laboratorio demostrará su capacidad para cumplir con la norma de sismorresistencia NSR-10, clave para su adopción. El protocolo incluye ensayos de tracción, compresión, dureza Shore D, impacto IZOD y flexión, siguiendo normas técnicas colombianas, así como ensayos de inflamabilidad y densidad volumétrica.

El estudio ha dado como resultado un protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas, enfocado en caracterizar el material para su uso en construcciones civiles. Esto, representa un avance en la solución de retos ambientales asociados al manejo inadecuado de residuos plásticos. Su implementación facilita el uso de maderas plásticas en la construcción y apoya la transición a un futuro sostenible.

Palabras clave: madera plástica, flexión, tracción, compresión, impacto IZOD, inflamabilidad, densidad volumétrica.

1.1. Abstract.

This article presents a protocol for mechanical and physical testing of plastic lumber, developed in accordance with Colombian technical standards NTC: 595, 6296, 6355, 943 and 467. The research arises in response to the environmental problems in Colombia derived from the inadequate management of plastic, where most of the waste ends up in landfills or rivers. The creation of new materials from recycled plastics, such as plastic lumber, offers a sustainable solution.

The objective of the study is to develop a protocol to mechanically and physically characterize plastic lumber for use in civil construction and comply with legal requirements in Colombia. The evidence obtained through laboratory analysis will demonstrate its ability to comply with the earth-quake standard NSR-10, key for its adoption. The protocol includes tensile, compression, Shore D hardness, IZOD impact and flexural tests, following Colombian technical standards, as well as flammability and volumetric density tests.

The study has resulted in a protocol for mechanical and physical testing of plastic lumber, focused on characterizing the material for use in civil construction. This represents an advance in the solution of environmental challenges associated with the inadequate management of plastic waste. Its implementation facilitates the use of plastic lumber in construction and supports the transition to a sustainable future.

Keywords: plastic lumber, flexion, tensile strength, compression, IZOD impact, flammability, volumetric density.

2. Introducción

Ante la creciente crisis ambiental en Colombia, donde cada persona desecha 24 kilos de plástico anuales, de los cuales el 74%

de envases termina en rellenos sanitarios, contaminando mares y ríos (GREENPEACE, 2024); la necesidad de soluciones sostenibles es apremiante. Una de estas es el desarrollo de madera plástica, un producto extruido de mezcla de polímeros reciclados.

La importancia radica en el potencial del material para innovar en la construcción. La madera plástica, comparada con la madera estructural, ofrece varios beneficios, entre ellos: mayor impermeabilidad, baja absorción de humedad, ausencia de astillamiento, entre otros, (Ruiz et al., 2019). Estas características la posicionan como sustituto de la madera tradicional en diversas aplicaciones. Sin embargo, en Colombia, los requisitos legales para su adopción exigen evidencias de laboratorio para demostrar que el material cumple con el estándar de la norma sismorresistente colombiana NSR-10. Esto representa un obstáculo para su uso en la construcción.

En respuesta a la problemática, se desarrolló un protocolo para caracterizar mecánica y físicamente madera plástica, fundamentado en las normas técnicas NTC 595: método de ensayo para determinar las propiedades de tracción en plásticos, NTC 6296: método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles, NTC 6355: métodos de ensayo estándar para la determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada y productos relacionados, NTC 943: determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo del izod, NTC467: propiedades del caucho. determinación de dureza con durómetro. Además, este protocolo incluye pruebas de inflamabilidad y densidad volumétrica.

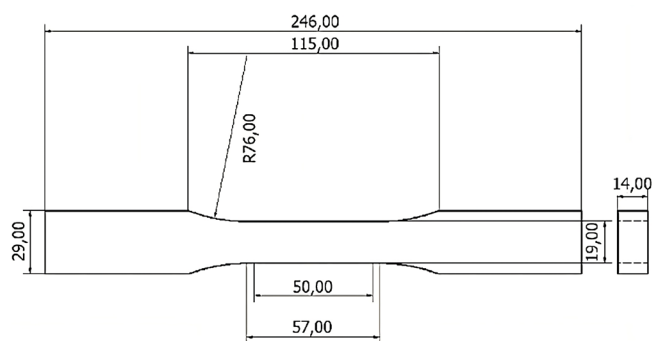
El objetivo principal es proporcionar una metodología estandarizada para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de madera plástica. A través de este protocolo, se espera generar una base de datos que respalde la selección y uso de esta, garantizando su seguridad en aplicaciones de construcción civil.

3. Marco conceptual.

3.1 Ensayo de tracción.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 595. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que el espesor del ítem de ensayo no debe superar 14 mm, si los supera, este debe ser mecanizado a los 14 mm (NTC 595, 2024). Los ítems de ensayo deben tener las dimensiones (en mm) y forma del esquema de la figura 1. Además, con base en las características de la máquina universal de ensayos (MUE), se debe utilizar la velocidad mínima de la norma que produzca rotura en un tiempo entre 0,5 y 5 min.

Figura 1.
Esquema del ítem de ensayo de tracción



Nota. Adaptado de NTC 595 (2024).

Luego, en el ensayo se obtiene la resistencia a la tracción, que es la medida de la capacidad del material para soportar tensiones (NTC 595, 2024). Esta se calcula utilizando la ecuación 1.

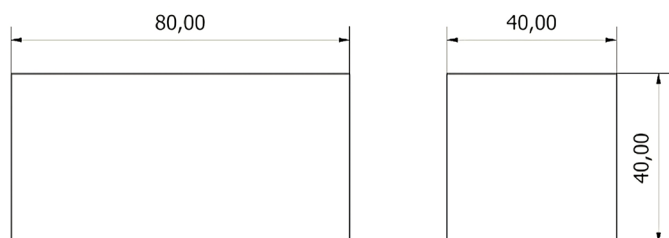
$$\text{Resist. tracción} = \frac{\text{Carga máx aplicada}}{\text{Área sección transversal}} \quad (1)$$

3.2 Ensayo de compresión.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 6296. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que el ítem de ensayo debe ser cortado del perfil tal como se fabricó, el único mecanizado permitido es para garantizar caras paralelas. La altura del ítem debe ser dos (2) veces el ancho

del producto (NTC 6296, 2018). Los ítems de ensayo deben tener las dimensiones en mm y forma del esquema de la figura 2. Además, con base en las características de la MUE, se debe utilizar la velocidad mínima de la norma, que garantice un tiempo de ensayo de 1 a 5 min.

Figura 2.
Esquema del ítem de ensayo de compresión



Nota. Elaboración propia.

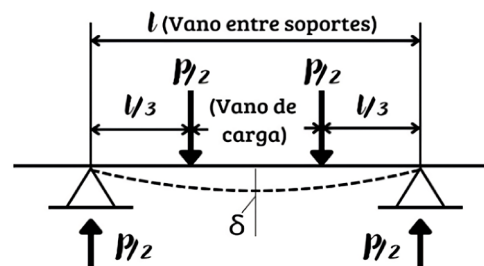
Luego, en el ensayo se obtiene la resistencia a la compresión, que es la medida de la capacidad del material para soportar fuerzas de aplastamiento o corte sin deformarse o romperse (NTC 6296, 2018). Esta se calcula utilizando la ecuación 2.

$$\text{Resist. compresión} = \frac{\text{Carga máx aplicada}}{\text{Área sección transversal}} \quad (2)$$

3.3 Ensayo de flexión.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 6355. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro esta se especifica que los ítems de ensayo deben ser cortados del perfil tal como se fabricó y que se debe cortar a una longitud suficiente con la que se garantice que sobresalga en la distancia entre apoyos (NTC 6355, 2019). Para este caso en específico la distancia entre soportes debe ser de 300 mm, y la longitud del ítem de ensayo debe ser de 600 mm. En la figura 3 se presenta la configuración del ensayo. Además, con base en las características de la MUE, se debe utilizar la velocidad mínima de la norma, que garantice un tiempo de ensayo entre 1 a 5 min.

Figura 3.
Configuración de ensayo de flexión



Nota. Elaboración propia

Luego, en el ensayo se obtiene el módulo de ruptura, que es la medida de la capacidad del material para soportar fuerzas de doblado sin fracturarse (NTC 6355, 2019). Este se calcula utilizando la ecuación 3.

$$\text{Módulo de Ruptura} = \frac{3P_R L}{2bh^2} \quad (3)$$

Dónde:

PR: fuerza de ruptura

L: longitud de apoyos

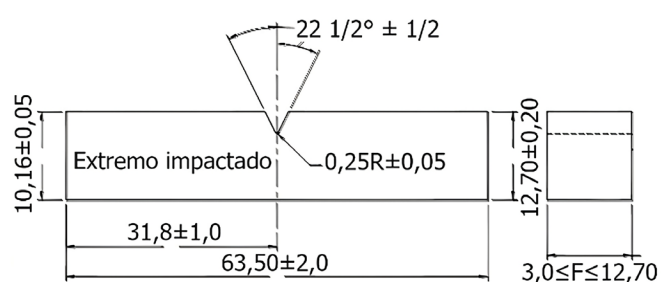
b: base sección transversal

h: altura sección transversal

3.4. Ensayo de impacto IZOD.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 943. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo de impacto en materiales plásticos. Dentro de esta se especifica que los ítems deben cumplir con las dimensiones en mm y el esquema presentado en la figura 4 (NTC 943, 2003).

Figura 4.
Esquema ítem de ensayo impacto IZOD



Nota. Adaptado de NTC 943 (2003).

El equipo de ensayo permite obtener una medición directa de la energía absorbida por el ítem, asegurando consistencia y reproducibilidad en los resultados.

3.5. Ensayo de dureza.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 467. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que los ítems de ensayo deben tener un espesor mínimo de 6,0 mm, a menos que se demuestre que un ítem más delgado reproduce resultados equivalentes (NTC 467, 2006).

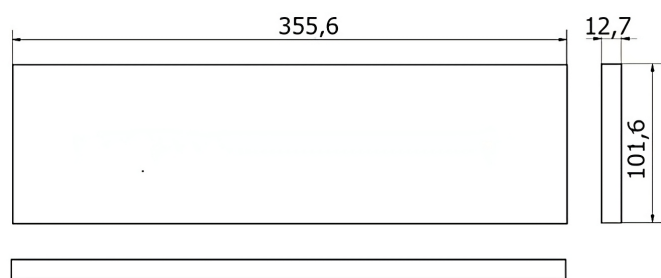
Para garantizar un ensayo reproducible, el ítem debe tener una superficie lisa, plana y libre de imperfecciones o contaminantes. Los métodos de preparación, como corte, lijado o pulido, deben preservar las propiedades superficiales del material. El equipo de medición está diseñado para aplicar presión uniformemente, proporcionando una lectura directa y precisa de la dureza, asegurando resultados consistentes.

3.6. Ensayo de inflamabilidad

Para ejecutar el ensayo se debe tener en cuenta el instructivo CDITICL-LMI-I010 instructivo ensayo inflamabilidad maderas. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de este se especifica que los ítems de ensayo deben tener un espesor máximo de 12,7 mm y cumplir con las

dimensiones en mm y el esquema presentado en la figura 5, (SENA, 2024).

Figura 5.
Esquema ítem de ensayo de inflamabilidad



Nota. Elaboración propia.

Luego, en el ensayo se obtiene la tasa de propagación de la llama: relación entre la distancia recorrida por la llama y el tiempo necesario para que esto ocurra. Esta se calcula utilizando la ecuación 4.

$$R_f = \frac{L}{t} \quad (4)$$

Dónde:

R_f: tasa de propagación de la llama en mm/min.

L: distancia que la llama ha recorrido a lo largo del material en mm.

t: tiempo en el que la llama recorre la distancia **L**, expresado en minutos (min).

3.7. Ensayo de densidad volumétrica.

Para ejecutar el ensayo se debe tener en cuenta el instructivo CDITICL-LMI-I008 ensayo densidad volumétrica maderas plásticas. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de este se especifica que las caras del ítem deben ser paralelas planas. (SENA, 2023). Luego, en el ensayo se obtiene la densidad del material: medida de masa por unidad de volumen. Esta se calcula utilizando la ecuación 5.

$$\varphi = \frac{m}{v} \quad (5)$$

Dónde:

φ: densidad volumétrica en kg/m³

m: masa del ítem en kg

v: volumen en m³

4. Marco procedimental

4.1. Inspección de los ítems.

Consiste en revisar visualmente el material, para verificar que los ítems no presenten las siguientes características: rasguños o imperfecciones, cuerpos extraños como tornillos o clavos, entallas o cortes dejados por las operaciones de obtención, exceso de porosidad, ni evidencia fracturas.

4.2. Toma y control de las condiciones del medio.

En los ensayos de tracción, compresión y flexión, se debe verificar una temperatura de laboratorio de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$. En los ensayos de dureza y densidad volumétrica, se debe verificar una temperatura de laboratorio de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa entre 50%-80%. Esto se debe cumplir a menos que la norma o el cliente indique algo diferente.

4.3. Equipos e instrumentos necesarios para la ejecución.

4.3.1. Ensayos de tracción, compresión y flexión.

Se debe contar con una MUE para desarrollar las sollicitaciones de carga y fuerza, que cumplan los requisitos de las normas técnicas ver figura 6. Además, se debe contar con un pie de rey para medir las dimensiones de los ítems ver figura 7. También, se debe contar con una cinta métrica para medir la longitud de los ítems, ver figura 8. Por último, se debe contar con un termohigrómetro para registrar humedad relativa y temperatura. ver figura 9.

Figura 6.
Máquina universal de ensayos (MUE)



Nota. Elaboración propia.

Figura 7.
Pie de rey digital



Nota. Elaboración propia.

Figura 8.
Cinta métrica



Nota. Elaboración propia.

Figura 9.
Termohigrómetro

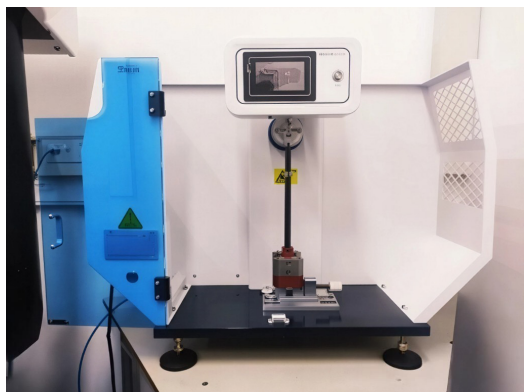


Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Ensayo de impacto IZOD.

Se debe contar con el probador de impacto IZOD, un equipo diseñado para determinar la resistencia al impacto de materiales no metálicos. Ver figura 10.

Figura 10.
Probador de impacto IZOD



Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Ensayo de dureza.

Se debe contar con un durómetro que cumpla con especificaciones para determinar dureza en escala shore D, ver figura 11. Además, se debe contar bloques patrón para verificar el funcionamiento del durómetro, comprobando que arroje mediciones confiables. Ver figura 12.

Figura 11.
Durómetro



Nota. Elaboración propia.

Figura 12.
Bloques patrón dureza shore

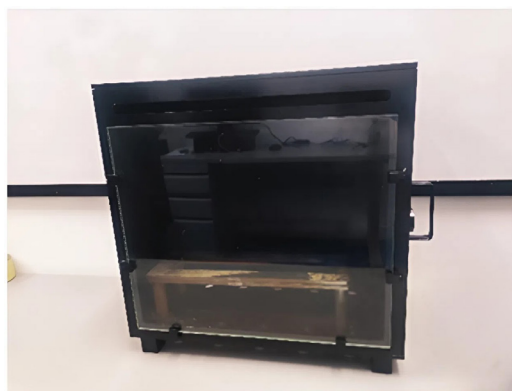


Nota. Elaboración propia.

4.3.4. Ensayo de inflamabilidad.

Se debe contar con la cabina de prueba, que es una estructura que ofrece un entorno controlado para evaluar como los materiales responden a la ignición y propagación del fuego. Ver figura 13. Además, se debe contar con un mechero Busen para producir una llama controlada que incida directamente sobre la superficie del ítem. Ver figura 14.

Figura 13.
Cabina de prueba



Nota. Elaboración propia.

Figura 14.
Mechero Bunsen



Nota. Elaboración propia.

4.3.5. Ensayo de densidad volumétrica.

Se debe contar con una balanza analítica para medir la masa de los ítems de ensayo. Ver figura 15.

Figura 15.
Balanza analítica



Nota. Elaboración propia.

4.4. Ejecución ensayo de tracción.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo de tracción a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho, espesor y longitud calibrada del ítem con un pie de rey, registre los datos. Ajuste la velocidad de ensayo, coloque las mordazas planas en la MUE y asegure la longitud de agarre y la alineación para evitar deslizamientos.

Ejecute el ensayo hasta la rotura, monitoreando los datos, asegurando una ejecución correcta. Al finalizar, libere el ítem,

mida su longitud final y registre los datos en el formato correspondiente, para su análisis.

4.5. Ejecución ensayo de compresión.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo de compresión a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho y el espesor del ítem con un pie de rey y registre los datos. Ajuste la velocidad de ensayo y coloque las placas de compresión en la MUE. Ubique el ítem en la superficie de las placas, asegurando alineación con respecto al eje central de la máquina. Ajuste el cabezal móvil de la MUE hasta hacer contacto con el ítem.

Ejecute el ensayo hasta la deformación por aplastamiento, monitoreando los datos, asegurando una ejecución correcta. Al finalizar, libere el ítem retirando la carga, desplazando el cabezal en dirección opuesta al ensayo. Registre los datos en el formato correspondiente para su análisis.

4.6. Ejecución ensayo de flexión.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo flexión a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho y espesor del ítem con un pie de rey y registre los datos.

Ajuste la velocidad de ensayo. Coloque los accesorios de flexión en la MUE, asegúrese que los apoyos y el punzón tengan un diámetro de 30 mm o mayor. Alinee las puntas de aplicación de carga, verificando que los apoyos estén paralelos y que el punto de aplicación de carga este en medio del espacio entre soportes. Mida la distancia entre apoyos, regístrela en el formato correspondiente. Ejecute el ensayo hasta la rotura, monitoreando continuamente los datos para asegurar la correcta ejecución. Registre los datos en el mismo formato, para su análisis.

4.7. Ejecución ensayo de impacto IZOD.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Encienda el visualizador para acceder a la interfaz de ensayo, levante el péndulo y sujételo con la palanca, realice una prueba sin ítem para conocer las pérdidas por fricción.

Coloque el ítem en la prensa sujetadora y guíe su ubicación. Levante nuevamente el péndulo y asegúrelo con la palanca. Con el péndulo en posición y el ítem instalado, ejecute el ensayo presionando el botón que libera el péndulo. Registre los datos en el formato correspondiente, para su análisis.

4.8. Ejecución ensayo de dureza shore D.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Verifique el durómetro con los patrones de referencia, seleccionando uno de los tres bloques patrón y tomando tres indentaciones, registrándolas en el formato correspondiente. Para completar el ensayo, realice cinco indentaciones a lo largo del ítem de ensayo y regístrelas en el mismo formato para su análisis.

4.9. Ejecución ensayo de inflamabilidad.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Realice dos trazos en el largo del ítem, uno a 38,1 mm y otro a 76,2 mm desde el extremo.

Ubique el ítem sobre el marco en forma de U y coloque encima como contrapeso la platina en forma de U. Encienda el mechero y colóquelo en el extremo del ítem, exponiéndolo a la llama durante 15 segundos. Reconfigure el temporizador a cero y comience a cronometrar cuando la llama alcance la primera línea. Registre el tiempo que le toma a la llama llegar a la segunda línea o hasta apagarse antes de llegar a ella. Si la llama no alcanza la segunda línea en 5 minutos, suspenda el ensayo y mida la distancia recorrida entre las dos líneas. Registre el tiempo de combustión y las observaciones en el formato correspondiente para su análisis.

4.10. Ejecución ensayo de densidad volumétrica.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Encienda la balanza al menos 30 minutos antes de tomar las mediciones para permitir su estabilización térmica y verifique el nivel trasero. Una vez estabilizada, calibre la balanza usando un bloque patrón de un juego de masas, realizando tres mediciones y asegurándose de que la desviación no supere tres veces la división de escala. Además, verifique el funcionamiento del pie de rey, para asegurar mediciones confiables.

Ubique el ítem en el plato de la balanza, espere a que el valor se estabilice y registre la masa; repita este proceso cinco veces, anotando los datos en el formato correspondiente. Luego, mida las dimensiones del ítem cinco veces cada una, y registre los datos en el mismo formato para calcular el volumen del ítem. Complete los campos del formato para su análisis.

5. Conclusiones

El protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas presentado en este artículo representa un paso significativo hacia la solución de los desafíos ambientales asociados con el manejo inadecuado de residuos plásticos en Colombia. Este protocolo, diseñado conforme a las normas técnicas colombianas, ofrece una metodología detallada y estandarizada para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de las maderas plásticas.

La importancia de estos ensayos radica en su capacidad de proporcionar datos confiables sobre la resistencia y durabilidad de las maderas plásticas, fundamentales para su aplicación en la construcción. Este protocolo de ensayos representa una herramienta para impulsar la adopción de materiales alternativos en la construcción sostenible en Colombia. Su aplicación ofrece la oportunidad de transformar la gestión de residuos plásticos y promover prácticas de construcción responsables.

6. Referencias bibliográficas

Greenpeace Colombia. (2024). Día de la Tierra 2024: este debe ser el año que comience el fin de los Plásticos para proteger nuestros océanos. - Greenpeace Colombia. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org>

Ruiz A., J. C., Lozano O., D. A., & González M., J. S. (2019). propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica para uso en estructura de atención y prevención de desastres de la “ESMIC”. Revista Ingeniare, (27), 31+. Recuperado de: <http://dx.doi.org.bdigital.sena.edu.co/10.18041/1909-2458/ingeniare.27.6616>

ICONTEC., (2024). Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción en los plásticos (NTC 595). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2018). Método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles (NTC 6296). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2019). Métodos de ensayo estándar para determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada y productos relacionados (NTC 6355). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2003). Determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo IZOD (NTC 943). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2006). Propiedades del caucho, determinación de dureza con durómetro (NTC 467). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)., (2024, febrero). Instructivo Ensayo Inflamabilidad Maderas Plásticas CDITICL-LMI-I010; V:01., documento interno laboratorios servicios tecnológicos Dosquebradas, Risaralda.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)., (2023, octubre). Instructivo Ensayo Densidad Maderas Plásticas CDITICL-LMI-I008; V:01., documento interno laboratorios servicios tecnológicos Dosquebradas, Risaralda.

Fecha de recepción: 01/12/2024
Fecha de aceptación: 03/05/2025

Comité Científico

MSc. Ing. Martha Elizabeth Cortes Rico, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia.
mcortesr@sena.edu.co

Msc. Ing. Lesli Biviana Acosta, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia.
lbacosta@sena.edu.co

Msc. Ing. Blanca Ines Martinez Lopez, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia.
bimartinezl@sena.edu.co

Mg. Lic. Aurora Sofia Redondo Ramirez, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia.
aredondo@sena.edu.co

Msc. Ing. Juan Carlos Garcia Buitrago, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia.
jcgarcia@sena.edu.co

Comité Editorial

Doctor en Física. Ing. Andrés Arias Durán, Universidad del Valle
duran@correounivalle.edu.co

Doctora en Física. Ing., Lina María Franco, Universidad del Valle
ariaslmfrancoa@correounivalle.edu.co

MSc.Ing. Cynthia López Valerio, Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Unidad Desconcentrada de Alajuela
cylopez@itcr.ac.cr

MSc.Ing. Lucero Trujillo Casallas, Universidad de los Llanos,
ltrujillo@unillanos.edu.co

MSc.Ing. Carlos Arturo Blandón Jaramillo, Empresa Progresando Co,
carlos.blandon@progrezando.com

MSc.Ing. Juan Carlos García Buitrago, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA
jcgarcia@sena.edu.co

Comité Evaluador

PhD. Manuel Pinzón Candelario

mapinzon@sena.edu.co

MSc.Ing. Martha Elizabeth Cortés Rico

mcortesr@sena.edu.co

MSc.Ing. Lucero Trujillo Casallas

ltrujillo@unillanos.edu.co

MSc.Ing. Lesli Biviana Acosta

bivianaacosta42@gmail.com

MSc.Ing. Leonor Rosa Rojas Marmolejo

lrojasm@sena.edu.co

MSc.Ing. Juan Carlos García Buitrago

jcgarcia@sena.edu.co

Mg.Ing. Yosip van León Zapata

Yleon@sena.edu.co

Mg.Ing. Carlos Arturo Blandón

carlos.blandon@progrezando.com

Mg.Ing. Blanca Inés Martínez López

bimartinezl@sena.edu.co

Mg.Ing. Diomer Hernán Aristizabal Buitrago

dhernab@sena.edu.co

Mg.Ing. Cynthia Lopez Valerio

cynthia2020.lopez@gmail.com

Mg Lic. Aurora Sofía Redondo

aredondo@sena.edu.co

Lic. Rita Vanessa Meleccio Chito

rmelecioc@sena.edu.co

Ing. Yuly Paulín Sáenz Agudelo

ysaenz@sena.edu.co

Ing. Walter Hernán Londoño Ramírez

wlondono@sena.edu.co

Ing. Viviana Ramírez Ramírez

vramirezr@sena.edu.co

Ing. Raúl Antonio Rodríguez Osorio

rarodriguezo@sena.edu.co

Ing. Niryda Marín Flórez

nmarinf@sena.edu.co

Ing. Luis Fernando Rincón Amarillo

flrincona@sena.edu.co

Ing. Lina Marcela Cortes Velasquez

lmcortesv@sena.edu.co

Ing. Luis Edier Gañán Gañán

lganan@sena.edu.co

Ing. Jorge Luis Raigosa Barahona

jltraigosar@sena.edu.co

Ing. Jhon Jairo Cano Botero

jhonjairocb2012@gmail.com

Ing. Jhon Freddy Franco Yela

jffrancoy@sena.edu.co

Ing. Iván Andrés Ríos Guirales

iaros@sena.edu.co

Ing. Henry Arévalo Espinosa

harevalo@sena.edu.co

Ing. Diego Fernando Pineda Carmona

dpineda@sena.edu.co

Ing. Ángel Andrés Vásquez Ospina

avasquezo@sena.edu.co

Ing. Andrés Tafur Piedrahita

atafurp@sena.edu.co

Ing. Alejandro Ozaeta Eidelman

aozaeta@sena.edu.co

Dra. Adriana Chica Giraldo

achicag@sena.edu.co

Dra. Alejandra María Plazas Santa

aplazass@sena.edu.co

Dr. Luis Camilo Estrada Patiño

camiloestrada@sena.edu.co

Adm. Enngi Lennik Correa López

ecorreal@sena.edu.co

Autoridades Académicas

PhD. Jorge Eduardo Londoño Ulloa,

Director General Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Mg. Carlos Alberto Palacios Chaverra,

Director Regional Regional Risaralda, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Mg. Sandra Yulieth García Gonzalez,

Subdirectora SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

MSc.Ing . Juan Carlos García Buitrago,

Dinamizador Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico Industrial e Innovación, Sennova SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI.

REVISTA
TEINNOVA