Volumen 10 Número 1 - 2026

REVISTA LOGINN

Investigación Científica y Tecnológica



REVISTA LOGINN
ISSN WEB: 2590-7441
Investigación Científica y Tecnológica

Periodicidad Semestral
ISSN WEB 2590-7441
Volumen 10 No. 1
2026

Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Regional Magdalena
Centro de Logística y Promoción Ecoturística del Magdalena
Innovación y Competitividad

Grupo de Investigación
"Innovadores Logísticos y Ecoturísticos del Magdalena - GILEM"

Avenida del Ferrocarril No. 27-97, Santa Marta
Teléfonos: (95) 4212064
http://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG
Email: revistaloginn@sena.edu.co

Santa Marta, Magdalena, Colombia

Equipo Editorial

Director

Julio Rafael Del Castillo Lozano. PhD.
SENA- Centro de Logística y Promoción
Ecoturística Regional del Magdalena
Santa Marta, Colombia.

Editora

Sugey Issa Fontalvo, PhD.
SENA - Centro de Logística y Promoción
Ecoturística Regional del Magdalena
Santa Marta, Colombia.

Comité Editorial

Francisco José Arias Aragonés, Dr.
Institución Tecnológica Colegio Mayor
de Bolívar. Colombia

Nidia Milena Moreno López, Dra.
Universidad Nacional Abierta y a
Distancia - UNAD. Colombia

Comité Científico

Carmen Paola Padilla Lozano, Dra.
Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil. Ecuador

Danny Arévalo Avecillas, Dr.
Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil. Ecuador

REVISTA LOGINN
ISSN WEB: 2590-7441
Investigación Científica y Tecnológica

Tabla de Contenido

EDITORIAL ……..4

HUELLA DE CARBONO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ CON DIFERENTES ESTÁNDARES DE CERTIFICACIÓN EN EL SUR DEL HUILA……...7
Karen Sirley Murcia Artunduaga, Yina Maria Silva Valenzuela, Maria del Rosario Castañeda

MEGAPORTACONTENEDORES ¿CUÁL ES EL LÍMITE?.....……...19
Alexander Eslava Sarmiento

LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN COMO ESTRATEGIAS DE APROPIACIÓN CURRICULAR Y MOTOR DEL DESARROLLO ENDÓGENO TERRITORIAL DESDE LA ACADEMIA ……..……...38
Sugey Marta Issa Fontalvo

REVISTA LOGINN
ISSN WEB: 2590-7441
Investigación Científica y Tecnológica

EDITORIAL

Al presentar el primer número del volumen 10 de la Revista LOGINN – Investigación Científica y Tecnológica, celebramos una década de trabajo editorial dedicada a fortalecer la difusión del conocimiento científico, la innovación y el desarrollo tecnológico como motores de transformación social y competitividad. Alcanzar este décimo volumen representa mucho más que un hito cronológico; constituye la consolidación de un proyecto editorial que ha promovido el diálogo entre la academia, el sector productivo, las instituciones públicas y la sociedad, favoreciendo la circulación de conocimiento pertinente para responder a los desafíos contemporáneos desde una perspectiva interdisciplinaria.

En una época caracterizada por profundas transformaciones impulsadas por la inteligencia artificial, la transición hacia economías sostenibles, la digitalización de los procesos productivos y la creciente complejidad de los problemas sociales, la investigación científica adquiere un papel estratégico. Hoy, más que nunca, generar conocimiento no es suficiente; resulta imprescindible garantizar que este sea abierto, reproducible, éticamente responsable y orientado a producir impacto real en los territorios, las organizaciones y las comunidades. En este escenario, las revistas científicas trascienden su función como vehículos de publicación para convertirse en plataformas de articulación del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación, promoviendo el intercambio de saberes, la cooperación internacional y la apropiación social del conocimiento.

Los trabajos que integran esta edición evidencian la riqueza y diversidad de las investigaciones desarrolladas en distintos contextos académicos y profesionales. Sus contribuciones reflejan el compromiso de investigadores, docentes, estudiantes y actores del sector productivo con la búsqueda de soluciones innovadoras sustentadas en evidencia científica. Desde enfoques metodológicos rigurosos y perspectivas multidisciplinarias, los artículos ofrecen respuestas a problemáticas relevantes y generan nuevas preguntas que impulsan la evolución del conocimiento, fortaleciendo la investigación aplicada como instrumento para el desarrollo económico, la sostenibilidad y el bienestar social.

En concordancia con las tendencias internacionales de publicación científica, LOGINN reafirma su compromiso con la excelencia editorial, la integridad en la investigación, el acceso abierto, la transparencia en los procesos de evaluación por pares y la mejora continua de sus estándares de calidad. Estos principios no solo fortalecen la credibilidad de los resultados publicados, sino que también contribuyen a incrementar la visibilidad, el impacto y la proyección internacional de la producción científica generada desde Colombia y América Latina.

Este nuevo volumen constituye igualmente una invitación a fortalecer las redes de colaboración entre investigadores, grupos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, empresas e instituciones gubernamentales, reconociendo que los grandes desafíos del siglo XXI demandan respuestas construidas desde la convergencia del conocimiento y la cooperación interdisciplinaria. La ciencia abierta, la innovación colaborativa y la transferencia de conocimiento representan hoy elementos esenciales para

acelerar la generación de soluciones que respondan a las necesidades de nuestros territorios y contribuyan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Expresamos nuestro sincero reconocimiento a los autores que han confiado sus investigaciones a esta publicación, a los pares evaluadores cuyo rigor académico garantiza la calidad científica de cada manuscrito, y a los integrantes del Comité Editorial y del Comité Científico por su permanente compromiso con la consolidación de LOGINN como un referente de divulgación científica. Su dedicación fortalece una comunidad académica que entiende la investigación como un bien público al servicio del desarrollo humano y la innovación.

Al iniciar esta nueva etapa editorial, renovamos nuestro compromiso con la construcción de una revista cada vez más visible, influyente e internacional, capaz de conectar la generación de conocimiento con la transformación de la sociedad. Invitamos a nuestros lectores a explorar esta edición con una mirada crítica y propositiva, convencidos de que cada artículo constituye una oportunidad para inspirar nuevas investigaciones, consolidar alianzas estratégicas y promover una cultura científica que contribuya al progreso sostenible de Colombia y del mundo.

PhD. Sugey Martha Issa Fontalvo
Editora
http://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG

Loginn / Vol. 10, No. 1 – 2026
https://doi.org/10.23850/25907441.7425

HUELLA DE CARBONO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ CON DIFERENTES ESTÁNDARES DE CERTIFICACIÓN EN EL SUR DEL HUILA

CARBON FOOTPRINT IN COFFEE PRODUCTION SYSTEMS WITH DIFFERENT CERTIFICATION STANDARDS IN SOUTHERN HUILA

Karen Sirley Murcia Artunduaga[1], Yina Maria Silva Valenzuela[2], Maria del Rosario Castañeda[3]

[1] Msc. Desarrollo sostenible y medio ambiente, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Email: karenmurcia2023@outlook.com
[2] Tcn. Producción Agropecuaria Ecológica, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Email: mariayinavalenzuelasilva@gmail.com
[3] Dra. Ciencias Agrarias, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Email: mdcastaneda@sena.edu.co

Para citar este artículo: Murcia Artunduaga, K. S., Silva Valenzuela, Y. M. & Castañeda M. R. (2026). Huella de carbono en sistemas productivos de café con diferentes estándares de certificación en el sur del Huila. LOGINN Investigación Científica Y Tecnológica, 10(1). https://doi.org/10.23850/25907441.7425

Recibido: 14 de junio de 2026
Aceptado: 8 de julio de 2026
Publicado en línea: 15 de julio de 2026

……
Palabras clave: caficultura sostenible, huella de carbono, certificaciones agrícolas, emisiones de gases de efecto invernadero.

JEL: Q00, Q56

Resumen

Este estudio evaluó la relación entre productividad y huella de carbono en sistemas de producción de café bajo distintos esquemas de certificación (orgánico, UTZ, Fairtrade y convencional), a partir de datos de 32 fincas cafeteras. La huella de carbono se estimó mediante análisis de ciclo de vida en la etapa agrícola (kg CO_2e por kg de café pergamino seco), y las diferencias entre sistemas se evaluaron con ANOVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre sistemas ($F = 161.78$; $p < 0.001$). El sistema orgánico presentó la menor huella de carbono (0.86 ± 0.11 kg CO_2e kg^{-1}), seguido por UTZ (1.14 ± 0.10) y Fairtrade (1.29 ± 0.19), mientras que el sistema convencional registró los valores más altos (2.15 ± 0.07). Los rendimientos oscilaron entre 1548 y 1852 kg ha^{-1}, siendo el sistema convencional el de mayor productividad, aunque asociado a mayores emisiones. Estos hallazgos indican que los sistemas certificados logran niveles de productividad comparables al convencional, con menores emisiones por unidad de producto. El estudio resalta la importancia de fomentar prácticas agrícolas sostenibles en la caficultura para reducir la huella de carbono sin sacrificar la productividad.

……
Keywords: sustainable coffee farming, carbon footprint, agricultural certifications, greenhouse gas emissions.

Abstract

This study evaluated the relationship between productivity and carbon footprint in coffee production systems under different certification schemes (organic, UTZ, Fairtrade, and conventional), based on data from 32 coffee farms. The carbon footprint was estimated using a life cycle assessment approach at the agricultural stage (kg CO_2e per kg of dry parchment coffee), and differences between systems were assessed using ANOVA and Tukey's multiple comparison test ($p \leq 0.05$). Results showed highly significant differences among systems ($F = 161.78$; $p < 0.001$). The organic system had the lowest carbon footprint (0.86 ± 0.11 kg CO_2e kg^{-1}), followed by UTZ (1.14 ± 0.10) and Fairtrade (1.29 ± 0.19), while the conventional system recorded the highest values (2.15 ± 0.07). Yields ranged from 1548 to 1852 kg ha^{-1}, with the conventional system showing the highest productivity, though associated with greater emissions. These findings indicate that certified systems can achieve productivity levels comparable to conventional farming while generating lower emissions per unit of product. The study highlights the importance of promoting sustainable agricultural practices in coffee farming to reduce the crop's carbon footprint without compromising productivity.

Introducción

El cambio climático es uno de los desafíos más críticos que enfrenta la agricultura a nivel global (Ariza et al., 2018). Colombia para el 2022, registro en el Inventario nacional y departamental de Gases efecto invenadero GEI, emisiones totales por valor de 258.8 Mton/CO2 eq de las cuales el sector Agropecuario genera 26% y el Forestal 36% (Panel Intergubernamental del Cambio ClimáticoIPCC,2022). En consecuencia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, priorizo áreas para el desarrollo de reducción de emisiones en los sectores de agricultura, silvicultura y uso de la tierra (AFOLU), dado que el sector AFOLU es responsable de la emisión del 59% de GEI del país (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 2024).

El cultivo de café en Colombia, particularmente en el departamento del Huila, es una actividad económica estratégica y una oportunidad significativa para implementar acciones de mitigación climática. Las emisiones totales de GEI para el departamento del Huila correspondieron a un total de 5.317 GgCO2 eq, de los cuales las emisiones para el sector agricultura representan el 24,5%, el uso de fertilizantes con compuestos nitrogenados y cales, en especial en cultivos de arroz y café, representan el 40% de las emisiones del sector (Gobernación del Huila, 2015). El café bajo sistemas tradicionales demanda en promedio 1200 kg/ha de fertilizantes (Sadeghian y Duque, 2017), lo que significa que para las 146.762 ha reportadas para el año 2022, representado en 84.000 familias cafeteras (Gobernación del Huila, 2023), se requirió una demanda total de 176.114.400 kg/ha de fertilizantes.

En la actualidad, se ha buscado incursionar en los mercados verdes internacionales, como los mercados de especialidad, que buscan incluir el término cafés sostenible, lo cual implica la protección del medio ambiente, mejorando las actividades agronómicas y comerciales, que favorezca la calidad socio económica de los productores (Ponte, 2004), dado que son valorados por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles, por los cuales se paga un precio más alto al productor (Jaramillo et al., 2017). Esto, es una oportunidad significativa para implementar acciones de mitigación climática.

Hoy el termino sostenibilidad está anclado a una serie de certificaciones que permiten establecer una relación de confianza entre el consumidor y el producto que comprado. Los diferentes sellos y estándares sostenibles se desarrollaron en función de la exigencia de los consumidores conscientes y el interés de tener un impacto neutral o positivo en su compra (United States Department of Agriculture USDA, 2022). Entre las principales certificaciones en el cultivo de café se encuentran orgánicos, UTZ/Rainforest Alliance y Fairtrade, promueven prácticas agrícolas sostenibles que incluyen el manejo de sombra, el uso de compost y la reducción de insumos sintéticos. Estas prácticas tienen el potencial de aumentar la fijación de carbono en biomasa aérea y suelos, al tiempo que reducen las emisiones relacionadas con el manejo del cultivo (Medina y Cristancho, 2008; Manchabajoy et al., 2022).

Cada vez tiene mayor importancia la posibilidad de implementar y desarrollar estrategias o modelos eficientes en el uso o captura de carbono con la potencialidad de recibir beneficios económicos por servicios ambientales en el cultivo del café (Manchabajoy et al., 2022). Sin embargo, aún existe una necesidad de generar evidencia científica que permita comprender con mayor claridad cómo los diferentes sistemas de producción y certificación influyen en la huella de carbono del café, particularmente en relación con la productividad del cultivo. En este sentido, el análisis de la relación entre la producción por hectárea y las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de producto

constituye un elemento clave para evaluar la eficiencia ambiental de los sistemas cafeteros.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre la productividad y la huella de carbono en sistemas de producción de café bajo diferentes esquemas de certificación, mediante el análisis de datos de fincas cafeteras y la aplicación de herramientas estadísticas para identificar diferencias significativas entre los sistemas productivos evaluados.

Materiales y métodos

Población de estudio

El estudio se desarrolló en la región cafetera del sur del departamento del Huila (Colombia), específicamente en los municipios de Saladoblanco, Oporapa, Pitalito, Timaná y San Agustín, zonas caracterizadas por sistemas productivos de café bajo diferentes esquemas de certificación. Se seleccionaron 32 fincas cafeteras mediante un muestreo estratificado según sistema productivo, distribuidas en cuatro categorías: producción orgánica, certificación Rainforest Alliance / UTZ Certified, certificación Fairtrade International y sistemas convencionales sin certificación. Cada grupo estuvo compuesto por ocho fincas. Las fincas fueron seleccionadas considerando criterios de homogeneidad en variables estructurales del sistema productivo, incluyendo altitud, edad del cafetal, densidad de siembra y manejo agronómico predominante, con el fin de reducir posibles sesgos en la comparación de emisiones y fijación de carbono.

Recolección de información productiva

Para cada finca se registraron datos relacionados con la producción de café pergamino seco (kg ha^{-1}) y los principales insumos utilizados durante el ciclo productivo. La productividad se expresó en kilogramos de café pergamino seco por hectárea, mientras que la huella de carbono se estimó en kilogramos de dióxido de carbono equivalente por kilogramo de café pergamino seco (kg CO_2e kg^{-1}).

Los sistemas productivos evaluados incluyeron: Sistema orgánico: caracterizado por el uso de fertilizantes orgánicos, control biológico de plagas y ausencia de agroquímicos sintéticos; Sistema UTZ/Rainforest Alliance: basado en buenas prácticas agrícolas, manejo responsable de insumos y criterios de sostenibilidad ambiental; Sistema Fairtrade: enfocado en comercio justo, prácticas sostenibles y condiciones socioeconómicas favorables para los productores y Sistema convencional: caracterizado por el uso de fertilizantes minerales, agroquímicos y manejo agronómico orientado a maximizar la productividad.

Estimación de la huella de carbono

Se calculó como la relación entre las emisiones totales de gases de efecto invernadero generadas durante el sistema productivo y la cantidad de café producida, expresada como kg CO_2 equivalente por kilogramo de producto (Ecuacion 1). Este enfoque sigue las metodologías adaptadas de evaluación de huella de carbono establecidas en normas internacionales como ISO 14067 (ISO, 2018) y en estudios de análisis de ciclo de vida de productos (Wiedmann y Minx, 2008; Pandey et al., 2011). Estas metodologías establecen que la huella de carbono de un producto es la suma de todas las emisiones de GEI asociadas a su ciclo de vida expresadas por unidad funcional del producto (kg de café pergamino seco).

$$CF = \frac{\sum Emisiones\ del\ ciclo\ de\ vida\ (CO_2e)}{Kg\ de\ café\ pergamino\ seco}$$ Ecuación 1

Donde, CF = huella de carbono; Unidad final: kg CO_2e / kg café.

Para calcular la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se tomaron en cuenta las principales fuentes de emisiones en sistemas agrícolas, los cuales provienen del uso de insumos, del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones derivadas del manejo de fertilizantes nitrogenados. Por esta razón, en el presente estudio se consideraron las siguientes variables: transporte de insumos, fertilización nitrogenada, aplicación de herbicidas, uso de combustibles fósiles en maquinaria agrícola y consumo de energía eléctrica (Tabla 1), siguiendo la metodología IPPC (2006), basado en la multiplicación de los datos de actividad por factores de emisión específicos (ecuación 2).

$$E_i = \sum A_i EF_i\ x\ EF$$ Ecuación 2

Donde, Ei =emisiones GEI, Ai = dato de actividad (consumo de combustible, fertilizante aplicado, energía consumida, distancia de transporte, etc.), EF = factor de emisión correspondiente.

Tabla 1.
Ecuaciones y factores de emisión de GEI.

Fuente	Ecuación	Factor IPCC
Transporte	CO_2 = distancia × carga × EF*	0.15 kg CO_2/t·km
Fertilización N	N_2O = N aplicado × 0.01	0.01 kg N_2ON/kg N
Combustible diésel	CO_2 = litros × EF*	2.68 kg CO_2/L
Gasolina	CO_2 = litros × EF*	2.31 kg CO_2/L
Electricidad	CO_2 = kWh × EF*	0.4 kg CO_2/kWh
Herbicidas	CO_2 = cantidad × EF*	6 kg CO_2/kg

Nota: IPPC, 2006. *Factor de emisión

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, considerando el sistema de producción como factor de clasificación. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$) para identificar diferencias significativas entre las medias de los sistemas evaluados, utilizando Microsoft Excel, empleando el complemento de análisis de datos (Data Analysis ToolPak). La representación gráfica de los resultados se realizó utilizando herramientas de visualización disponibles en Microsoft Excel y complementos como SankeyArt.

Resultados y discusión

La huella de carbono del café varió entre 0,81 y 2,16 kg CO_2e kg^{-1} de café pergamino seco dependiendo del sistema de manejo (Tabla 2). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en la huella de carbono entre los sistemas productivos evaluados (ANOVA, $F = 161.78$; $p < 0.001$). El sistema orgánico presentó la menor huella de carbono promedio (0.86 ± 0.11 kg CO_2e kg^{-1} de café pergamino seco), seguido por los sistemas UTZ (1.14 ± 0.10 kg CO_2e kg^{-1}) y Fairtrade (1.29 ± 0.19 kg CO_2e kg^{-1}). Por el contrario, el sistema convencional registró la mayor huella de carbono (2.15 ± 0.07 kg CO_2e kg^{-1}). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey indicó que el

sistema convencional difiere significativamente de todos los sistemas certificados ($p \leq 0.05$), mientras que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas UTZ y Fairtrade.

Estos resultados sugieren que la adopción de prácticas asociadas a certificaciones de sostenibilidad puede contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas cafeteros, particularmente mediante la optimización del uso de fertilizantes y agroinsumos. Estudios previos realizados por Medina y Cristancho (2008), quienes reportaron beneficios a nivel económico, social y ambiental, en la reforestación de sus áreas productivas, para conformar sistemas agroforestales cafeteros acorde a las exigencias de los certificados.

Igualmente, en estudios realizados por Manchabajoy et al, (2022), observó que en cultivos de café existe mayor captura de carbono tanto en la biomasa del suelo con 100,14 t ha1 como en la biomasa aérea con 190,42 t ha1 en sistemas bajo sombrío en comparación a sistemas a libre exposición solar. De igual forma, Daza y Andrade (2019), resaltan que los sistemas agroforestales (SAF) con especies como Inga densiflora y Cordia alliodora permiten una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con monocultivos convencionales, identificando que los SAF lograron un balance positivo de GEI de hasta 14.6 Mg CO_2e/ha/año, en contraste con 3.8 Mg CO_2e/ha/año en monocultivos. Asi se respalda la eficacia de incorporar árboles de sombra como estrategia clave para reducir la huella de carbono del café.

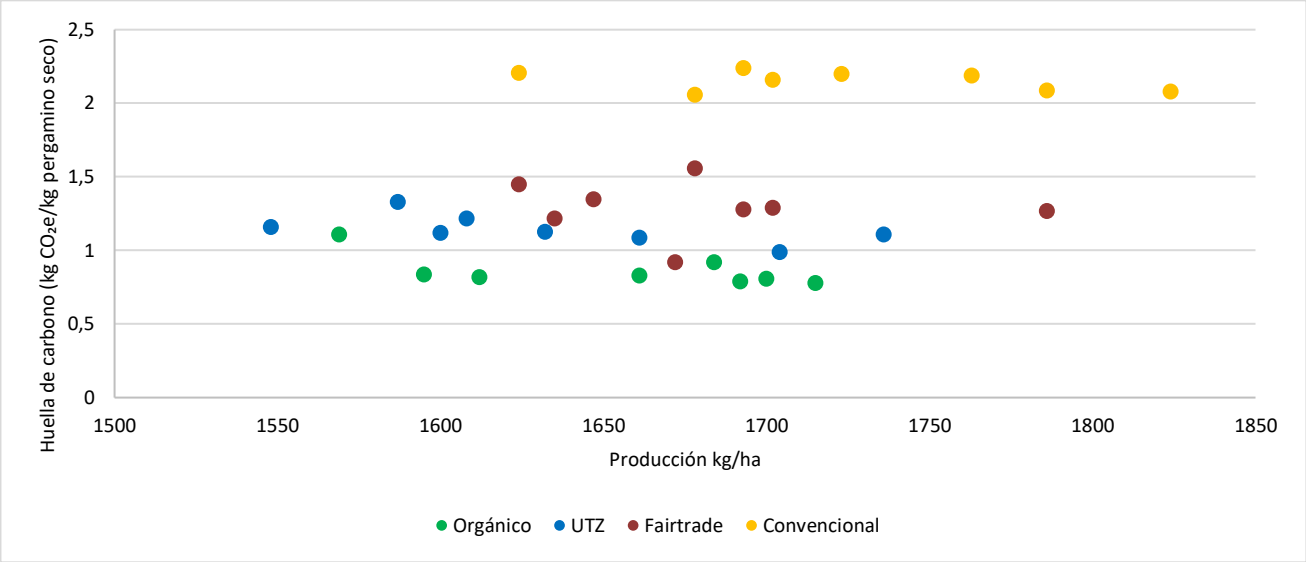
Tabla 2.
Huella de carbono promedio (kg CO_2e/kg pergamino seco) por esquema de certificación

Sistema	Media ± DE	EE	Tukey*
Orgánico	0,86 ± 0,11	0,007	a
UTZ	1,14 ± 0,10	0,011	b
Fairtrade	1,29 ± 0,19	0,011	b
Convencional	2,15 ± 0,07	0,021	c

Nota: elaboración propia. *Letras distintas en la columna Tukey HSD indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

La relación entre productividad y huella de carbono en sistemas cafeteros donde la producción osciló entre 1548 y 1852 kg ha^{-1}. El inventario muestra que la mayor productividad estuvo asociada con una mayor intensidad de emisiones. Aunque las fincas convencionales presentaron mayores rendimientos productivos por hectárea, los sistemas certificados presentan menores emisiones por unidad de producto en comparación con el sistema convencional (Figura 1). Este comportamiento ha sido documentado en estudios de análisis de ciclo de vida del café, donde aproximadamente 67 % de la huella de carbono del café se genera durante la etapa de cultivo, siendo las emisiones directas del suelo y el uso de fertilizantes las principales fuentes de gases de efecto invernadero y con ello el aumento significativo de la huella de carbono del cultivo (Noponen et al., 2012; Van der Feen et al.,2025).

Figura 1.
Relación entre huella de carbono y productividad por hectárea en sistemas de producción de café.



Nota: Elaboración propia.

El sistema orgánico registró una producción promedio cercana a 1653 kg ha^{-1} y la menor huella de carbono (0.86 kg CO_2e kg^{-1}). Aunque la productividad fue ligeramente inferior a la observada en sistemas convencionales, la reducción de emisiones se explica principalmente por la eliminación o reducción significativa del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, por el manejo de residuos y subproductos, factores influyentes en el balance de emisiones, el aprovechamiento de residuos como la pulpa o la cascarilla de café para bioenergía o biofertilizantes, que puede reducir la dependencia de agroinsumos y mejorar el desempeño ambiental del sistema productivo (Oliveira et al., 2025).

Los sistemas certificados UTZ y Fairtrade presentaron niveles de producción similares (1639 y 1679 kg ha^{-1} respectivamente), con huellas de carbono intermedias entre 1.14 y 1.29 kg CO_2e kg^{-1}. Aunque estos sistemas aún utilizan fertilizantes minerales, las certificaciones promueven prácticas de manejo sostenible que contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso de insumos y reducir las emisiones. Entre estas prácticas se incluyen la fertilización basada en análisis de suelo, el manejo integrado de plagas y la optimización del uso de energía en la finca (Hasan et al., 2024).

En contraste, el sistema convencional presentó los mayores niveles de producción promedio (1802 kg ha^{-1}) pero también la mayor huella de carbono (2.16 kg CO_2e kg^{-1}). Este patrón confirma que el incremento en la productividad asociado a sistemas intensivos puede implicar un mayor uso de fertilizantes, combustibles y agroquímicos, lo que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero.

La Tabla 3 presenta el inventario de emisiones de GEI por fuente para cada sistema productivo evaluado. Los resultados indican que la fertilización nitrogenada fue la principal fuente de emisiones en todos los sistemas analizados. En el sistema convencional esta fuente alcanzó aproximadamente 1944 kg CO_2e ha^{-1}, mientras que en las fincas orgánicas las emisiones fueron considerablemente menores (640 kg CO_2e ha^{-1}). Estas diferencias reflejan las distintas estrategias de manejo nutricional utilizadas en cada sistema productivo.

Tabla 3.
Emisiones promedio por fuente (kg CO_2e/ha)

Sistema	Transporte	Fertilizantes	Combustible	Electricidad	Herbicidas
Orgánico	128,0 ± 7,5	640,6 ± 23,1	321,6 ± 13,3	127,0 ± 4,6	64,4 ± 2,6
UTZ	193,0 ± 7,6	953,8 ± 28,1	477,0 ± 15,3	193,0 ± 9,1	96,5 ± 3,8
Fairtrade	209,1 ± 7,2	1033,1 ± 30,1	516,3 ± 15,6	209,1 ± 7,2	103,3 ± 3,9
Convencional	390,6 ± 12,2	1941,3 ± 67,2	987,1 ± 30,6	390,6 ± 12,2	194,3 ± 6,4

Nota: Elaboración propia. * Los valores corresponden a la media ± desviación estándar

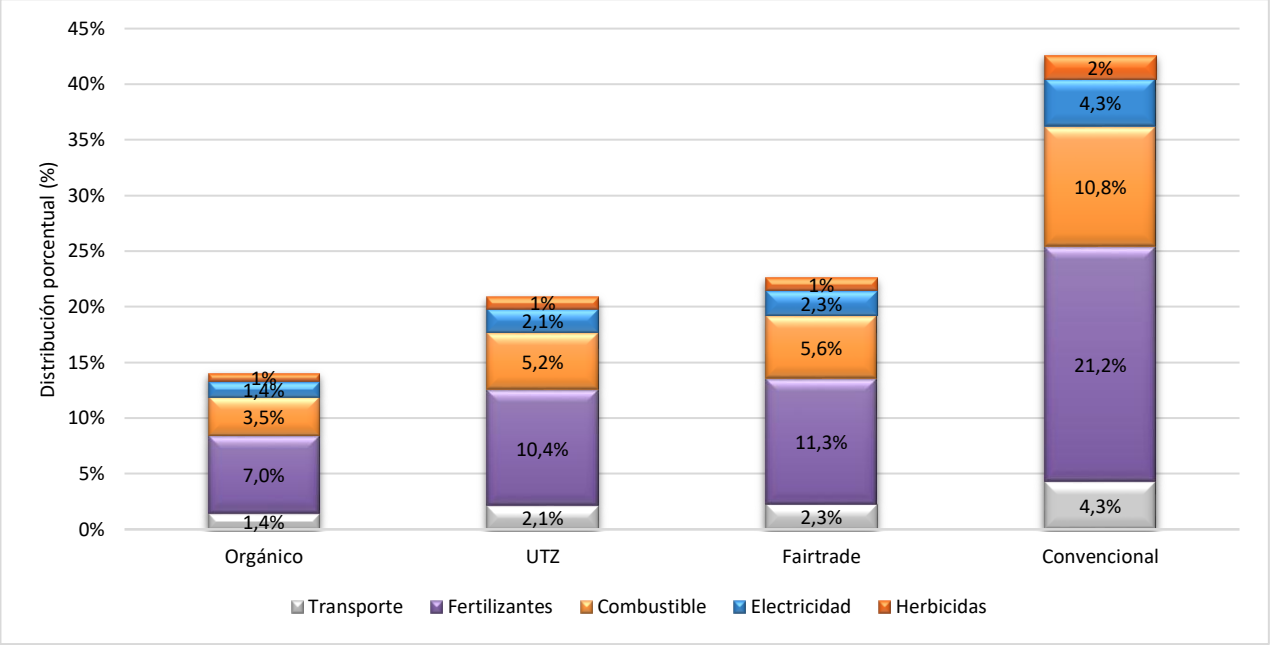
En variables como transporte de insumos, el uso de gasolina (maquinaria agrícola), herbicidas o el uso de uso de diésel (maquinaria), entre las fincas certificadas vs. las convencionales, no se encontraron diferencias significativas en kg CO_2e por kg de café. Esto se puede explicar por las similitudes en cuanto al uso de maquinaria agrícola para trabajos como labranza, cosecha y transporte local de insumos, dado que la mayoría de las fincas certificadas, aunque mejoran en aspectos como agroquímicos y fertilización, no sustituyen necesariamente el uso de maquinaria por alternativas de menor impacto, como herramientas manuales o eléctricas. Estudios de ciclo de vida del café muestran que la mecanización tiene una contribución fija y consistente a las emisiones, independientemente de la certificación (Aguirre y Garay, 2021; Nab, 2020; Camacho et al, 2018).

Aunque las fincas certificadas pueden reducir o eliminar el uso de herbicidas químicos (especialmente en la certificación orgánica), en otras certificaciones (UTZ, Rainforest Alliance), los agroquímicos no siempre se eliminan por completo, solo se reducen. Las emisiones relacionadas con la fabricación y aplicación de herbicidas siguen siendo relativamente bajas en comparación con los fertilizantes nitrogenados, lo cual minimiza su diferencia en sistemas certificados y convencionales (Nab, 2020). En términos de carbono, su impacto no fue lo suficientemente grande como para generar diferencias estadísticamente significativas.

Acorde a lo anterior, la Figura 2 muestra la contribución porcentual de cada fuente de emisión al inventario total de GEI para los diferentes sistemas productivos. Se evidencia que la fertilización nitrogenada representa la mayor proporción de emisiones en todos los sistemas evaluados, particularmente en el sistema convencional. Las fincas evaluadas, mostraron comportamientos similares en el uso de fertilizantes ricos en nitrógeno, tanto orgánicos (estiércol) como sintéticos (urea, nitrato de amonio). Un estudio realizado por Segura y Andrade (2012), encontró que es posible generar preocupantes emisiones con diferencias significativas en fincas con producciones orgánicas, si no se realiza un adecuado plan de fertilización, puesto que encontraron altas dosis de fertilizantes orgánicos aplicados (102 t/ha/año), que requieren gran uso de combustibles fósiles para su transporte a la plantación de café. La elevada contribución de la fertilización nitrogenada al inventario de emisiones se explica por los procesos microbiológicos que ocurren en el suelo después de la aplicación de nitrógeno.

Durante la nitrificación y desnitrificación, parte del nitrógeno aplicado se transforma en óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el dióxido de carbono. Según el IPCC, el N_2O posee un potencial de calentamiento global aproximadamente 273 veces mayor que el CO_2, lo que explica su fuerte contribución al impacto climático de los sistemas agrícolas (IPCC,2021). Se ha identificado la fertilización nitrogenada como el principal punto critico de emisiones en sistemas cafeteros. En evaluaciones de ciclo de vida de la producción de café, esta fuente puede representar entre el 40 % y el 80 % de las emisiones totales del sistema productivo (Hörtenhuber et al., 2014).

Figura 2.
Distribución porcentual de emisiones por fuente según sistema de producción (% del total por sistema)

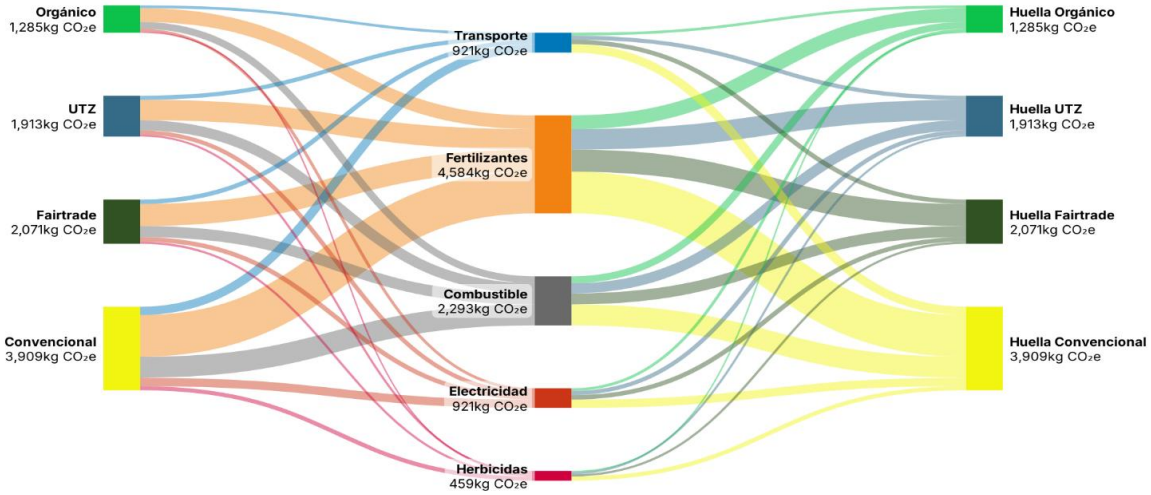


Nota: Elaboración propia.

Además de la fertilización nitrogenada, el inventario de emisiones indica que el uso de combustibles fósiles en maquinaria agrícola constituye la segunda fuente más importante de emisiones en promedio 25%. En el sistema convencional esta fuente alcanzó aproximadamente 987 kg CO_2e ha^{-1}, mientras que en los sistemas orgánicos fue menor (422 kg CO_2e ha^{-1}), sin embargo, no presentaron diferencias significativas, dado a que la mayoría de las fincas certificadas, aunque mejoran en aspectos como agroquímicos y fertilización, no sustituyen necesariamente el uso de maquinaria por alternativas de menor impacto, como herramientas manuales o eléctricas. Estas emisiones se originan principalmente en las labores de manejo del cultivo como labranza, cosecha y transporte local de insumos, transporte interno dentro de la finca y operación de equipos agrícolas. Las emisiones asociadas al uso de herbicidas y consumo de energía eléctrica representaron una proporción menor dentro del inventario total de GEI. No obstante, estas fuentes siguen siendo relevantes dentro del balance global del sistema productivo, particularmente cuando se consideran las emisiones indirectas asociadas a la producción industrial de agroquímicos.

La Figura 3 permite visualizar el flujo de emisiones desde las diferentes fuentes hacia la huella de carbono total del sistema productivo. Este tipo de representación gráfica facilita la identificación de los principales puntos críticos de emisión dentro del sistema agrícola, destacando el papel predominante de la fertilización nitrogenada en el balance global de emisiones. Este análisis evidencia que la fase de producción agrícola constituye la etapa con mayor contribución a la huella de carbono total del café, lo que coincide con estudios previos de análisis de ciclo de vida del cultivo.

Figura 3.
Diagrama Sankey de los flujos de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de café bajo diferentes certificaciones.



Nota: Elaboración propia.

Estos resultados conllevan a desarrollar estrategias para mitigar estas emisiones que, si bien no eliminan del todo estas emisiones, pero si disminuyen las emisiones de N_2O, y también mejoran la eficiencia del uso de nutrientes en los cultivos. La selección de fuentes nitrogenadas adecuadas y la adopción de tecnologías que optimizan la liberación de nitrógeno son prácticas recomendadas para reducir las emisiones por fertilización. Esto también se refleja en la menor huella de carbono por kilo de café producido en sistemas certificados, como lo reporta Daza y Andrade (2019) al comparar sistemas agroforestales (6.27.3 kg CO_2e/kg de café) con monocultivos (9.010.8 kg CO_2e/ kg).

La certificación en sistemas productivos de café no solo mejora el desempeño ambiental mediante una mayor captura de carbono y la reducción de emisiones de GEI, sino que también ofrece beneficios económicos tangibles para los productores. La adopción de prácticas sostenibles en el manejo del cultivo, promueve la resiliencia climática y mejora la competitividad del café colombiano en mercados internacionales

Conclusiones

Los resultados del presente estudio evidencian que el sistema productivo influye significativamente en la huella de carbono del café. Los sistemas certificados y orgánicos presentaron menores emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de producto en comparación con el sistema convencional, lo cual sugiere que la implementación de prácticas agrícolas sostenibles contribuye a mejorar la eficiencia ambiental de la producción cafetera.

El sistema orgánico mostró la menor huella de carbono entre los sistemas evaluados, lo cual se relaciona principalmente con la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos y agroquímicos, insumos que representan una de las principales fuentes de emisiones en la etapa agrícola del café. Por su parte, los sistemas certificados UTZ y Fairtrade presentaron valores intermedios de huella de carbono, evidenciando que las prácticas promovidas por estos esquemas de certificación pueden contribuir a disminuir las emisiones sin afectar significativamente la productividad del cultivo. Aunque el sistema

convencional presentó los mayores niveles de producción, también registró la mayor huella de carbono, lo cual indica que el incremento en la intensidad del manejo agronómico puede generar un aumento considerable en las emisiones asociadas al uso de fertilizantes, combustibles y otros insumos agrícolas.

En términos generales, los resultados sugieren que es posible alcanzar un equilibrio entre productividad y sostenibilidad mediante la adopción de prácticas de manejo más eficientes y responsables con el ambiente. La promoción de sistemas de producción certificados y agroecológicos representa una estrategia relevante para reducir la huella de carbono del café y contribuir a la mitigación del cambio climático en el sector cafetero.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano por la disponibilidad de infraestructura, recurso humano y financiación a través del programa SENNOVA, el cual fue fundamental para el desarrollo de este proyecto. De igual manera, se agradece a Hyrcania Vanessa López, quien formuló el proyecto para ser financiado mediante la convocatoria SENNOVA 2024. Finalmente, agradecemos a los caficultores de los municipios de Saladoblanco, Oporapa, Pitalito, Timana y San Agustín, cuya participación y conocimientos enriquecieron significativamente esta investigación.

Declaración sobre conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés sobre el artículo.

Referencias Bibliográficas

Aguirre A y Garay Cárdenas, K. E. (2021). Determinación de la huella de carbono en el cultivo y procesamiento del café y estrategias para su reducción. https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4075

Ariza Camacho, W., Arias Hernández, J. J., Riaño Herrera, N. M., Riaño Becerra, A. M., Posada, Suarez, H. J., Valenzuela Andrade, J., Vega Cano, M. A., Murgueitio Cortes, Y. P., & Castro Chávez, J. F. (2018). Determinación de la huella de carbono en el sistema de producción de café pergamino seco, de cuatro municipios del sur del departamento del Huila (Colombia). Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, 9(2), 109120. https://doi.org/10.22490/21456453.2283

Camacho, W. A., Hernández, J. J. A., Herrera, N. M. R., Becerra, A. M. R., Suarez, H. J. P., Andrade, J. V. & Chavez, J. F. C. (2018). Determinación de la huella de carbono en el sistema de producción de café pergamino seco, de cuatro municipios del sur del departamento del Huila (Colombia). Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(2), 109120.

Daza, Diana Skarly, & Andrade C., Hernán J. (2019). Sinergias mitigación adaptación al cambio climático en sistemas de producción de café (Coffea arabica), de Tolima, Colombia. Revista de Biología Tropical, 67 (1), 3646. https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i1.32537

Gobernación del Huila (2015). Las apuestas productivas en el Plan Regional de competitividad, ciencia, tecnología e innovación del Huila. https://www.huila.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=7440

Gobernación del huila (2023). Huila crece de la mano de la institucionalidad cafetera. https://www.huila.gov.co/publicaciones/14136/huilacrecedelamanodelainstitucionalidadcafetera/#:~:text=El%20caf%C3%A9%20del%20Huila%20se,%2C%20T%C3%ADpica%2C%20Borb%C3%B3n%20y%20Tab%C3%AD.

Hasan, Y., Roy, P. y Abbassi, B. (2024). Análisis comparativo del ciclo de vida (ACV) en la industria agroalimentaria, con énfasis en el café orgánico y convencional. Sustainability, 16 (24), 10819. https://doi.org/10.3390/su162410819

Hörtenhuber, S., Piringer, G., Zollitsch, W., Lindenthal, T. y Winiwarter, W. (2014). Uso del suelo y cambio de uso del suelo en evaluaciones del ciclo de vida agrícola y huella de carbono: argumentos a favor del cambio de uso del suelo específico para cada región frente a otros métodos. Journal of Cleaner Production, 73, 31–39. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.027

IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japón. https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf

IPCC, (2021). Sexto informe de evaluación del IPCC. Cambio climático 2021: La base de la ciencia física. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

ISO. (2018). ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization. https://www.iso.org/standard/71206.html

Jaramillo Otálvaro, S. E., Osorio Saraz, J. A., & Correa Londoño, G. A. (2017). Emission and fixation of greenhouse gases in potential specialty coffee production zones in AntioquiaColombia. Revista Facultad Nacional de Agronomia, 70(3). https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.62639

Manchabajoy Cañar, J. P., Andrade Díaz, D., & Castillo Marín, Á. J. (2022). Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café en el departamento de Nariño. Ciencia y Agricultura, 19(1). https://doi.org/10.19053/01228420.V19.N1.2022.13358

Medina Velásquez, S. M., & Cristancho Sierra, L. F. (2008). Análisis del impacto generado por la certificación Rainforest Alliance en las fincas cafeteras en el municipio Fusagasugá. Universidad de La Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Especialización en Gerencia de Empresas Agropecuarias.

Nab C, Maslin M. (2020) Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and

export to the United Kingdom. Geo: Geography and Environment. 7:e96. https://doi.org/10.1002/geo2.96

Noponen, M. R. A., EdwardsJones, G., Haggar, J. P., Soto, G., Attarzadeh, N., & Healey, J. R. (2012). Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. Agriculture, Ecosystems & Environment, 151, 6–15. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019

Oliveira Fernandes, MA, Baêta, BEL, Adarme, OFH y Fonseca, A. (2025). Análisis de la huella de carbono basado en ACV de la digestión anaeróbica de residuos de cáscara de café. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 207 (114993), 114993. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114993

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2024). Liberando el potencial climático de Colombia: colaboraciones a largo plazo y acciones climáticas transformadoras. https://www.fao.org/colombia/noticias/detailevents/es/c/1676698/

Pandey, D., Agrawal, M. y Pandey, JS. (2011). Huella de carbono: métodos actuales de estimación. Environ Monit Assess 178. 135–160 https://doi.org/10.1007/s10661010167 8y

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2022). Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático UNEP UN Environment. https://www.unep.org/es/resources/informe/sextoinformedeevaluaciondelipccambioclimatico2022

Ponte, S (2004). Estándares y sostenibilidad en el sector cafetero: una aproximación global a la cadena de valor. Ensayos sobre Economía Cafetera 17 (20):3183.

Sadeghian Khalajabadi, S., & Duque Orrego, H. (2017). Formulaciones Generales de Fertilizantes. Cenicafe, 1–4. www.cenicafe.org

Segura, Milena A, & Andrade, Hernán J. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (coffea arabica l.) Con diferentes estándares de certificación en costa rica. Luna Azul, (35), 6077. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190924742012000200005&lng=en&tlng=es.

United States Department of Agriculture – USDA (2022). Manual Certificación: Generando una cultura de preservación para los seres humanos y el medio ambiente. https://mocca.org/wpcontent/uploads/2022/12/ManualCertificacion.pdf

Van der Feen, L., Verweij, PA, Vermeulen, WJV et al. (2025). Evaluación del ciclo de vida del café de especialidad de la semilla a la taza cultivado por pequeños productores en Yemen. Int J Life Cycle Assess 30, 17611775. https://doi.org/10.1007/s11367025024 95y

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of “carbon footprint”. In C. Pertsova (Ed.), Ecological Economics Research Trends (pp. 1–11). Nova Science Publishers.

Loginn / Vol. 10, No. 1 – 2026
https://doi.org/10.23850/25907441.7368

MEGAPORTACONTENEDORES ¿CUÁL ES EL LÍMITE?

MEGA CONTAINER SHIPS: WHAT IS THE LIMIT?

Alexander Eslava Sarmiento[1]

[1] Ingeniero, Especialista en Logística Internacional. Universidad Nacional de Colombia. Email: laeslavas@unal.edu.co

Para citar este artículo: Eslava Sarmiento, A. (2026). *Megaportacontenedores ¿cuál es el límite?* LOGINN Investigación Científica y Tecnológica, 10(1). https://doi.org/10.23850/25907441.7368.

Recibido: 22 de marzo de 2026
Aceptado: 16 de mayo de 2026
Publicado en línea: 30 de junio de 2026

Palabras clave: Megaporta-contenedores; Economías de Escala; Transporte Marítimo; Puertos Marítimos; Contenedores Marítimos; Descarboni-zación.

JEL: F10; L91; O44; Q50

Keywords: Mega Container Ship; Economies of Scale; Maritime Transport; Seaports; Maritime Containers; Decarboniza-tion.

Resumen

La nueva generación de buques "Megaportacontenedores" se ha transformado en un desafío para los puertos marítimos del mundo: limitación de calado, la falta de capacidad de grúas buque-tierra, el tamaño limitado de los atracaderos, la falta de instalaciones interiores. Al utilizar "Megaportacontenedores", las líneas navieras aprovechan la llamada economías de escala, que han permitido reducir continuamente los costos por TEU transportado. El aumento de tamaño de los buques portacontenedores mayor fluctuación del volumen de carga, por tanto, urge mejorar la eficiencia del flujo logístico de esta. Para lograrlo, se debe mejorar la eficiencia operativa de las grúas buque-tierra, las grúas de patio y los remolques. La mayor ventaja de los "Megaportacontenedores" es la economía de escala en el mar. El costo unitario disminuye a medida que aumenta la cantidad de unidades (TEUs). En el caso de los Megaportacontenedores, el costo por TEUs disminuye al aumentar la capacidad del buque, mientras que los transportistas se enfrentan a más desafíos operativos en términos de restricciones náuticas, mayores riesgos y daños promedio, así como estadías en puerto más prolongadas, lo que influye en la economía. Sin embargo, esto se está ignorando a medida que continúa el aumento en los tamaños de los buques.

Abstract

The new generation of "Mega Container Ships" has become a challenge for the world's seaports: draft limitations, insufficient ship-to-shore crane capacity, limited berth size, and a lack of in-port facilities. By using "Mega Container Ships", shipping lines take advantage of economies of scale, which have allowed them to continuously reduce costs per TEU transported. The increasing size of container ships leads to greater fluctuations in cargo volume; therefore, improving the efficiency of cargo logistics is urgent. To achieve this, the operational efficiency of ship-to-shore cranes, yard cranes, and tugboats must be improved. The greatest advantage of "Mega Container Ships" is the economies of scale they offer at sea. The unit cost decreases as the number of TEUs increases. In the case of mega-container ships, the cost per TEU decreases as vessel capacity increases, while carriers face greater operational challenges in terms of nautical restrictions, increased risks and average damage, as well as longer port stays, all of which impact the economy. However, this is being ignored as vessel sizes continue to increase.

Introducción

El transporte marítimo global ha experimentado dos grandes cambios a lo largo de la historia. El primero ha surgido el contenedor marítimo como unidad estandarizada de carga, permitiendo el transporte de la mayor parte del tráfico de mercancías del mundo, y el segundo, la tendencia de los buques en aumento en volumen. "Megabuques-Portacontenedores": unidades navales destinadas al transporte de carga contenedorizada que, por sus dimensiones (eslora, manga y calado) exceden el promedio de los utilizados actual o anteriormente para este propósito, y que corresponden a aquellos que pueden transportar operativamente mayor carga/capacidad, medida en cantidad de TEUs. Los "Megabuques" impactan significativamente las operaciones logístico-portuarias debido a la concentración de un mayor volumen de transferencia de carga (cargue/descargue).

Los puertos marítimos del mundo se han visto obligados a expandirse e invertir rápidamente en infraestructura para hacer frente al nuevo tamaño de los Megaportacontenedores (Hassan, H.M., 2026). y preservar su competitividad: optimización de los subsistemas (atraque, carga/descarga, tráfico interior, recepción/entrega, almacenamiento, vacíos), reforma de las compañías navieras y sus servicios. Los puertos y terminales de contenedores del mundo podrían no ser capaces de seguir el ritmo de los Megaportacontenedores, principalmente a: restricción de calados, grúas obsoletas (altura y alcance innecesarios para la transferencia de carga, muelles poco espaciados). Por tanto, pocos puertos del mundo son elegibles para convertirse en "Megapuerto"; deben invertir en nuevos patios, equipos y vehículos de manipulación, proporcionar mejores servicios con el objeto de reducir el tiempo de escala requerido por el Megabuque y en efecto, aumentar la eficiencia operativa.

El gigantismo en el transporte marítimo de contenedores se ha visto inducido tanto por la competencia portuaria como por las alianzas navieras (Sumantri, Y., 2024). Una alianza naviera, a menudo denominada Alianza Oceánica es un grupo de transportistas marítimos que crean un acuerdo de cooperación conjunto (Acuerdos Globales de Colaboración). Estos acuerdos cubren varias rutas comerciales a través de la colaboración entre sus miembros a escala global. Estos grupos de transportistas se comprometen a acuerdos de compartición de buques para ayudar a cubrir la mayor parte posible del mercado naviero. Los miembros de la Alianza persisten en la lucha por los precios, al tiempo que buscan la eficacia operativa y las ganancias derivadas de la utilización del volumen, procurando mantener las bajas tarifas en términos de flete (Kastner, M., Grasse, O. & Jahn, C., 2022). Al unir servicios y al establecer alianzas, los transportistas han reforzado su poder de negociación frente a los puertos marítimos.

Los Megaportacontenedores que se utilizan en el transporte marítimo global de mercancías se seleccionan en función de: las restricciones de los puertos; la situación del mar; la disponibilidad de los buques; los horarios de envío de los transportistas; la selección de rutas; condiciones meteorológicas. Las rutas que concentran el mayor número de Megaportacontenedores es entre Asia y el norte de Europa a través del Canal de Suez, y desde Asia a Europa, hasta el Mediterráneo, Golfo Pérsico e India, Costa Este y Oeste de EE.UU. Megaportacontenedores sobre los 395 m de eslora cubren únicamente el tráfico entre Asia y el norte de Europa, debido a los volúmenes de transporte y tienden a no cruzar el Pacífico, debido a tormentas severas. Los buques portacontenedores de tamaño mediano a veces pierden cientos de contenedores en el Pacífico, por eso Megaportacontenedores se acercan a la orilla para evitar las grandes olas. Es una cuestión de estabilidad.

Soporte Teórico

La definición de cualquier Clase de Buque Portacontenedores es una función: del calado, de capacidad nominal -TEUs (Unidad Equivalente a 20 pies «Twenty-foot Equivalent Unit» TEU)-, de la longitud del muelle atraque, de la dársena de maniobra/giro, de las dimensiones del nuevo Canal de Panamá o del Canal de Suez (buques cerca de los 366 m y 400 m de eslora parecen tener una relación directa con las dimensiones del Canal de Panamá y del Canal de Suez). Así, la primera generación de portacontenedores estaba compuesta por buques graneleros o tanques modificados con capacidad para transportar hasta 1.000 TEUs, buques conocidos como la primera generación (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Rodrigue J-P., 2020). Estos buques llevaban grúas a bordo, ya que la mayoría de las terminales portuarias no estaban equipadas para manipular contenedores. Eran buques relativamente lentos (velocidades entre 18 y 20 nudos), sólo podían transportar contenedores en las cubiertas reconvertidas, no en las bodegas. En la década de 1970, se inició la construcción de los primeros portacontenedores totalmente celulares «Fully Cellular Container Carriers» (FCCC), conocidos como la segunda generación, dedicados exclusivamente a la manipulación de contenedores marítimos. Los primeros portacontenedores celulares, denominados Clase C7 se introdujeron en 1968 (Maersk utiliza la letra [C] para denominar series específicas de sus flotas).

En 1972, el portacontenedores más grande, el Tokyo Bay, tenía una capacidad de 2.300 TEUS. Todos los portacontenedores están compuestos por celdas que alojan los contenedores en pilas de diferentes alturas, según la capacidad del buque. Los portacontenedores celulares ofrecen la ventaja de utilizar todo el buque para apilar contenedores, incluso bajo cubierta; Se retiraron las grúas del buque para poder transportar más contenedores (actualmente, algunas grúas se mantienen en algunos portacontenedores especializados). La capacidad de los puertos para operar con portacontenedores celulares dejó de ser una preocupación importante con la creación de terminales de contenedores especializadas en todo el mundo. Los buques portacontenedores celulares eran mucho más rápidos, con velocidades de 20 a 24 nudos, velocidad de referencia en el transporte marítimo global de contenedores marítimos.

Durante la década de 1980, las economías de escala impulsaron ágilmente la construcción de buques portacontenedores de mayor tamaño. Cuanto mayor era el número de contenedores transportados (capacidad), menores eran los costos por TEU transportado. Este proceso se convirtió en un círculo virtuoso, donde a mayor volumen y menor costo permitió la difusión del contenedor marítimo y su uso en el comercio global. El límite de tamaño del Canal de Panamá, conocido como el estándar Panamax, se alcanzó en 1985 con una capacidad de aproximadamente 4.000 TEUs (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Rodrigue J-P., 2020). La capacidad máxima de los buques Panamax se ha optimizado para alcanzar alrededor de 4.500 TEUs, dependiendo de la configuración de la carga; los diseños de los portacontenedores Panamax evolucionaron para aprovechar al máximo la limitación de manga del canal. Estos buques llegaron a conocerse como Panamax Max. Las dimensiones originales del Canal de Panamá son similares a las de las esclusas de las vías navegables interiores de los Estados Unidos, lo que dio como resultado un diseño de buque estrecho y alargado.

La clase de portacontenedores «American President Lines», APL C10, con capacidad de 4. 500 TEUs, se introdujo en 1988; fue la primera clase de portacontenedores en superar el límite de ancho de 32,2 m del Canal de Panamá. Para 1996, se introdujeron los portacontenedores Post-Panamax con capacidad de 6.600 TEUs (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Rodrigue J-P., 2020). Las primeras Clases de Buques Post-Panamax no eran más largas (igual eslora) que la Clase Panamax, más sí anchas (mayor manga), lo que las hacía más eficientes. Un buque de tamaño superior al Panamax requiere sustancial

volumen de carga para ser utilizado de forma rentable en una ruta de servicio. A finales de la década de 1990, el crecimiento exponencial del comercio global convirtió a la Clase Post-Panamax en una propuesta comercialmente viable.

Una vez superado el límite de los buques Panamax, su tamaño aumentó rápidamente, alcanzando capacidades de 8.000 TEUs (Post Panamax II; «Clase Soberana»). En consecuencia, los portacontenedores Post Panamax evidenciaron un reto para la infraestructura de muchos puertos del mundo. Requieren calados más profundos (al menos 13 m.) y, si bien son muy eficientes, resultan costosos, ya que las grúas pórtico (grúas de buque a tierra) tienen un mayor alcance. Las limitaciones de calado se convirtieron en un factor determinante, lo que presionó a los puertos a dragar sus aguas para dar entrada a los portacontenedores Post Panamax.

Para 2006, la tercera generación de portacontenedores post-Panamax entró en servicio cuando Maersk Shipping Line introdujo una clase de buques con capacidades de 11.000 y 14.500 TEUs. El Emma Maersk (Clase E). Se les denominó portacontenedores muy grandes «Very Large Container Ships» (VLCS). Esto, a que superaban las especificaciones del Canal de Panamá ampliado. Esta nueva clase supuso una nueva condición para la infraestructura portuaria, ya que su calado superaba los 15 metros y su anchura era de 22 contenedores. El número de puertos capaces de operar con VLCS es limitado, especialmente los situados en deltas fluviales, pudiendo enfrentar restricciones en el acceso a los canales (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Rodrigue J-P., 2020). En 2016, una vez ampliado el Canal de Panamá, aparecen los buques New-Panamax o «Neo-Panamax» (NPX); buques diseñados para ajustar perfectamente en las esclusas del Canal de Panamá ampliado. Estos buques tienen capacidad de 12.500 TEUs. De hecho, existen diversas configuraciones de buques Neo-Panamax en cuanto a eslora (de 17 a 22 bahías) y anchura (19 o 20 contenedores).

En 2013, una extensión posterior del diseño del buque Post-Panamax dio lugar a la introducción de la Clase de portacontenedores ultragrandes «Ultra Large Containership» (ULCV), de 18.000 TEUS o más (denominados por Maersk «Triple E» propiedad de Maersk Line, que también se encarga de su operación); diseñados para lograr la máxima eficiencia energética, sostenibilidad ambiental y economías de escala (Tran, N.K. & Lam, J.S.L., 2024). Son buques de 400 m de eslora y de 59 m de manga, que revolucionaron el transporte marítimo global de contenedores con un enfoque de “Navegación a Baja Velocidad", reduciendo, supuestamente, el consumo de combustible en un 37% y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 50 % por contenedor marítimo transportado (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Rodrigue J-P., 2020). Esta Clase «Ultra Large Containership» se amplió aún más y, para 2017, comenzaron a entregarse buques de más de 20.000 TEUs. Para tal, el portacontenedores más grande era el OOCL Hong Kong, con capacidad de 21.413 TEUs, 400 m de eslora total, 58,8 m de manga, 197.317 toneladas de peso muerto (TPM).

Sin embargo, en 2019, aparece la mayor Clase de Buques Portacontenedores Ultragrandes del mundo ULCV; siendo diseños de modelos que superaban a los buques portacontenedores más grandes de la época en términos de dimensiones y capacidad; caracterizados por su capacidad para transportar más de 24.000 TEUs; con 24 contenedores de ancho y 24 bahías, denominados «Megamax» (MGX) o “Megaportacontenedores”. Los términos MGX-23 y MGX-24 «Megamax» se utilizan para Megaportacontenedores con 23 y 24 filas de contenedores, respectivamente, y capacidades nominales de entre 18.000 y casi 24.000 TEUs. El número [24] en el nombre resalta tres dimensiones estructurales clave: tienen 24 contenedores de ancho (filas), 24 bahías de largo y pueden apilarse hasta 24 contenedores de altura (12 en la bodega y 12 en cubierta). Por tanto, los ULCV se definen como buques Megaportacontenedores que ya no pueden pasar por las nuevas esclusas del Canal de Panamá debido

a sus dimensiones estáticas de eslora total y manga (Jungen, H., Specht, P., Ovens, J. & Lemper, B., 2021; Sánchez, R.J., Perrotti, D.E. & Fort, A.G.P., 2021). Esto significa que los buques portacontenedores con una eslora total mayor a 367,28 m y/o una manga mayor a 51,25 m (Autoridad del Canal de Panamá) se consideran Megaportacontenedores. Dentro del segmento, en particular, el aumento de las mangas para 23 filas de contenedores a partir de 2013 y para 24 filas de contenedores a partir de 2019 representa pasos de desarrollo significativos.

En el crecimiento del tamaño de los buques en las últimas décadas, se observa que los aumentos de la capacidad nominal entre 1996 y 2005 se lograron casi exclusivamente mediante buques de mayor eslora y un calado ligeramente mayor, mientras que la manga se estancó en 42,8 m (Jean-Paul Rodrigue, 2024; Notteboom, T. & Rodrigue, JP. 2023; Witthohn, R., 2023). La puesta en servicio de la Clase E de Maersk en 2006 abrió un nuevo capítulo en el crecimiento del tamaño de los buques. Con una eslora total de casi 400 m, una manga de más de 56 m y un calado de hasta 15,5 m, estos buques eran significativamente más grandes que los portacontenedores construidos hasta entonces. La capacidad, según la sociedad de clasificación American Bureau of Shipping, es de 11.000 TEUs, mientras que otras fuentes la indican en 15.000 TEUs. Esta discrepancia se puede explicar por el uso de diferentes métodos de cálculo. Si bien los buques de más de 18.000 TEUs parecían viables desde el punto de vista de la construcción naval, se asumió que las limitaciones, en particular las portuarias, asociadas con su tamaño impedirían la aceptación generalizada de dichos buques. Las unidades de hasta 24.000 TEU que hoy están en servicio desmienten esa suposición.

Finalmente, existen diseños de buques de mayor tamaño en fase de planificación, como la clase "Malacca Max", que podrían transportar entre 27.000 y 30.000 TEUs, pero no se prevé su construcción hasta que haya un volumen suficiente en las rutas limitadas que estos buques podrían cubrir (Witthohn, R., 2023). La Tabla N° 1. Expone las características (año de construcción, eslora, manga, calado, capacidad) de los 10 Megaportacontenedores de mayor capacidad (TEUs) que actualmente transportan mercancías contenedorizadas a nivel global.

Tabla 1.
Megaportacontenedores de mayor capacidad (TEUs) a nivel global.

Características	MSC Türkiye	MSC Irina	MSC Loreto	MSC Tessa	Ever Alot	Ever Ace	HMM Algeciras	HMM Oslo	MSC Gülsün	MSC Mina
Año	2024	2023	2023	2022	2022	2021	2020	2020	2019	2019
Eslora (m)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Manga (m)	65	61	62	62	62	62	61	62	62	61
Calado (m)	16,00	16,00	16,40	17,00	16,00	14,50	14,40	15,70	16,00	15,40
Capacidad	24.354	24.346	24.300	24.116	24.000	23.992	23.964	23.820	23.756	23.656

Nota: recopilación del autor

Infraestructura

La construcción de Megaportacontenedores tiene gran impacto en el sistema portuario (terminales), la dinámica (Cadena Global de Suministro) y entre puertos y ciudades (Hinterland). La llegada de Megaportacontenedores a los puertos marítimos afecta tres puntos principales (Expósito-Izquierdo, C., Lalla-Ruiz, E., de Armas, J., Melián-Batista, B. & Moreno-Vega, J.M., 2025). En primer

lugar, los puertos diseñados con menor dimensiones de los buques deben modificarse para acomodar buques más grandes. Para tal, se requiere construcción de nuevas terminales, ampliación de muelles y mejora de las conexiones ferroviarias y por carretera entre puertos y el interior. Además, para que las terminales proporcionen un conjunto de sofisticados servicios, se requiere el desarrollo continuo de la logística en general (Seokchan Lee, Seung-Ho Lee, Seung Chan Choi & Sung Won Cho., 2026). En segundo lugar, los buques más grandes equivalen a tamaños más grandes, lo que implica manejar mayor carga para operar con mayor eficacia cada vez, sin afectación a los tiempos de escala. En tercer lugar, el aumento del tamaño de los buques ha fomentado alianzas entre compañías navieras.

Un buque de 17 m de calado generalmente requiere muelles con una profundidad de 19 m; los Megaportacontenedores requieren mayor amplitud y puntos de acceso más profundos, ya que son más anchos y tienen mayor calado. Se supone que la profundidad mínima a la que la clase de 32.000 TEUs para entrar y atracar en el puerto es de unos 19,5 m. En el mundo existen varios muelles para portacontenedores con profundidad de entre 19,5 y 23 m. Por tanto, si un puerto busca atraer servicios de línea transcontinental entre el Lejano Oriente y Europa, el desarrollo de muelles con una profundidad de 19 m o más ofrecerá ventajas a las navieras que seleccionen los puertos de escala. Un estudio (Angela Carboni, Francesco Deflorio, Claudia Caballini & Stefano Cangelosi, 2025), de puertos con muelles para contenedores con una profundidad de agua de 19,5 m o más, ya en operación, en desarrollo o planificados en todo el mundo, muestra que al menos cinco puertos (Singapur, Busan, Qingdao, Róterdam y El Pireo) cuentan con muelles con una profundidad de agua de entre 19,5 y 23 m.

Investigaciones recientes (Okumoto, Y., Okada, T., Takeda, Y., Mano, M. & Toyoda, M., 2026), predicen, a través de un modelo de regresión de Curva “S”, que las dimensiones de un Megaportacontenedor de 25.000 TEUs medirá 431 m de eslora con una manga de 62,6 m y un calado de 16,9 m, mientras que las dimensiones de un Megaportacontenedores de 30.000 TEUs sean 453 m de eslora, 67,0 m de manga y 17,3 m de calado. Si la eslora del Megaportacontenedores de 30.000 TEUs sea de 453 m, y dado que la distancia de atraque entre los buques es del 10 % de su eslora, cada Megaportacontenedor ocupará 498 m de dique de muelle. Considerando la eslora de los Megaportacontenedores, la longitud de atraque debería ser superior de 500 m; muelles más largos y más grandes (Lu, J., Yang, Y., Zhu, X. & Zhang, L., 2025). Por tanto, se requieren mayores áreas de maniobra porque los Megaportacontenedores también son más largos. De hecho, si un Megaportacontenedores de 30.000 TEUs atraca en un puerto, la profundidad del nivel del agua del terminal debe ser de al menos 20 m. Esto sugiere que las terminales de nueva construcción deben tener al menos 20 m de profundidad para dar cabida a Megaportacontenedores.

De igual forma, se requieren grúas con mayor alcance, ya que los buques son más anchos (los Megaportacontenedores sólo pueden operar con un máximo de ocho grúas a la vez (Notteboom, T., et al, 2023); aumentar la productividad de las grúas es la única manera de aumentar el número total de movimientos y, por consiguiente, reducir las horas de atraque). Se requieren muelles más resistentes, ya que los Megaportacontenedores halan con más fuerza al estar amarrados (Shcherbanin, Y.A.,2025). La mayoría de las inversiones en modernización portuaria suelen tardar mucho tiempo y cualquier forma de actualización de un puerto es generalmente una inversión costosa que requiere de una decisión política del país en cuestión. En efecto, para que una terminal tenga la capacidad de satisfacer las necesidades de los Megaportacontenedores y al mismo tiempo sea competitivo en el mercado, debe seguir los avances tecnológicos y estar equipado con equipos modernos de manipulación de contenedores; el terminal debe tener la capacidad suficiente para gestionar la adecuada cantidad de contenedores y, en consecuencia, poder aceptar muchos más contenedores que los de un buque normal.

Respectivamente, se incrementará la operación logística de transbordo a los alimentadores, camiones y trenes. Los puertos deben cargar y descargar los buques lo más rápido posible (puerto productividad/productividad del atraque) para minimizar el impacto de los Megaportacontenedores. Se debe aumentar la velocidad a la que los camiones y trenes cargan y descargan para reducir el tiempo que los contenedores pasan en el área de estiba (tiempo de tránsito del contenedor). Para lograr esto, se requieren más grúas y más equipos de patio de estiba, mayor espacio de estiba y una capacidad de acoplamiento flexible. Si estas instalaciones no se adaptan al crecimiento de los Megaportacontenedores, se agravará el problema de la congestión portuaria (Russo, F., Pedà, G. & Musolino, G., 2024; Notteboom, T., et al, 2023). Para el transporte marítimo, la confiabilidad es fundamental, y la congestión portuaria es uno de los factores que hacen que la línea naviera sea poco fiable.

Los Megaportacontenedores tienen mayores dificultades con el seguro (Vida, L., Zsombor, L., Illés, B. & Véha, A., 2026); altas primas debido a una mayor exposición al riesgo, principalmente por dos razones. En primer lugar, la falta de tecnología adecuada y equipos de rescate, necesarios para retirar un naufragio de este tamaño, aumentará el costo de rescatar dicha embarcación en caso de accidente. Además, no muchos astilleros en el mundo tienen las especificaciones suficientes, por el tamaño, para reparar estos buques. Aún más difícil es el viaje a estos astilleros si el lugar del accidente es lejos. Las compañías de seguros no definen con precisión los costos de tales escenarios. En segundo lugar, la seguridad de la carga, la exposición al riesgo para los transportistas también aumenta linealmente dependiendo del tonelaje de sus buques (Witthohn, R., 2023). El costo de la pérdida total, en caso de hundimiento, sería el doble para un buque de 20.000 TEUs, en comparación con uno de 10.000 TEUs. Por tanto, cuanto más grande es el buque, mayor es el riesgo. El valor de las mercancías transportadas en contenedores es cada vez mayor, y en caso de accidente, la pérdida de carga será la pérdida para el propietario del buque, el propietario de la carga y la compañía de seguros. La pérdida del buque MSC Napoli, que transportaba 4.500 TEUs, era un tercio del tamaño de los buques más grandes de ese momento, y es el segundo accidente marítimo más costoso en términos de seguro, después del Exxon Valdez.

Economías de Escala

A la fecha, el objetivo principal del aumento del tamaño de los buques portacontenedores ha sido reducir los costos de transporte a través de economías de escala, que fueron incentivadas por el aumento del tráfico mundial de carga contenerizada. Así, la demanda de economías de escala y el interés en controlar los costos ha llevado al sector marítimo de contenedores hacia el desarrollo de buques portacontenedores cada vez más grandes: "Megaportacontenedores". Al utilizar Megaportacontenedores, las compañías navieras aprovechan economías de escala, que permiten de manera continua reducciones en costos por TEUs transportado (Rodrigue, J-P., 2025; Vida, L., et al, 2026; Witthohn, R., 2023). Cuanto más grande sea el buque, más carga podrá transportar y, por tanto, menores serán los costos operativos. Estudios recientes muestran que Megaportacontenedores de 25.000 TEUs siguen generando economías de escala, con una utilización regular del volumen del 90 % en todas las Clases de Buques. Es decir, hasta con 25.000 TEUs, los buques pueden lograr ganancias sustanciales sobre buques más pequeños con 18.000 o 20.000 TEUs de capacidad (Yue, Z. & Mangan, J., 2024). Sin embargo, con tarifas de flete muy bajas, no incentivan la rentabilidad de los Megaportacontenedores de 25.000 TEUs, en comparación con los más pequeños.

La utilización de los efectos de la economía de escala es una herramienta poderosa a este respecto, ya que los precios de la construcción naval y del combustible, así como el costo operativo,

para la tripulación, son más o menos los mismos para todos los transportistas. Se ha demostrado que estos tres tipos de costos específicos por TEU siguen curvas asintóticas, cuyo curso se vuelve más plano con el aumento de los tamaños de los buques. Por tanto, la mayor ventaja de los Megaportacontenedores es la economía de escala en el mar (Russo, F., et al, 2024; Yue, Z., et al, 2024; Witthohn, R., 2023). Teóricamente, las ventajas en costos se pueden lograr ampliando la escala de la empresa. El costo unitario disminuye a medida que aumenta la cantidad de unidades. En el caso de los Megaportacontenedores, el costo por TEU disminuye al aumentar la capacidad del buque (TEUs). En consecuencia, al calcular la economía de escala de un Malacca-max, se obtendría un costo unitario de un 30 % inferior al de un Panamax. Las economías de escala, con sus implicaciones, provienen principalmente de los costos de capital y combustible, mientras que la capacidad de carga de los megabuques aumenta considerablemente. Y como el transporte marítimo requiere de gran inversión de capital, el costo del combustible representa el 60 % del costo operativo, siendo la principal preocupación del propietario del buque (armador).

Así, la introducción de Megaportacontenedores se centra en las economías de escala que pueden lograr las navieras y en la intensa presión sobre estas para reducir los costos por TEUS-milla, y aumentar los márgenes operativos en un mercado altamente competitivo (Sumantri, Y., 2024; Yue, Z., et al, 2024). Sin embargo, no está tan claro si las condiciones actuales del mercado, combinadas con las regulaciones ambientales cada vez más estrictas sobre el control de emisiones y la eficiencia energética, respaldan nuevos aumentos de escala en el tamaño de los Megaportacontenedores hacia el umbral de 25 000 TEUs (Okumoto, Y., et al, 2026). De hecho, la evaluación de las economías de escala en el tamaño de los Megaportacontenedores, así como de las posibles deseconomías de escala, sigue siendo difícil dadas las condiciones del mercado en constante cambio en el transporte marítimo global de contenedores y la dinámica en la capacidad de adaptación de los puertos y terminales para gestionar buques cada vez más grandes. De igual forma, las consideraciones ambientales han añadido una dimensión adicional al debate sobre los aumentos de escala en el tamaño de los buques. El precio de construcción de un Megaportacontenedor es más alto que el de uno más pequeño, pero en términos de inversión por TEUs, el Megaportacontenedor cuesta menos que el buque más pequeño. De hecho, un buque dos veces más grande no consume el doble de combustible y el consumo de combustible por TEU, siempre favorece a los Megaportacontenedores.

Investigaciones recientes (Okumoto, Y., et al, 2026), revelan, que el tamaño óptimo del Megaportacontenedores representa un equilibrio entre el rendimiento positivo obtenido en el mar (economías de tamaño durante la operación de transporte de línea) y el rendimiento negativo que se acumulan en el puerto (deseconomías de tamaño durante las operaciones de transferencia de carga y manipulación en los puertos); el costo por espacio de TEU para un buque de 18.000 TEUs sería solo un 5 % menor que para uno de 6.200 TEUs (Okumoto, Y., et al, 2026; Russo, F., et al, 2024; Witthohn, R., 2023). En cuanto a los costos operativos (OPEX), la administración, el almacenamiento y la dotación no aumentan significativamente con el tamaño del buque, por lo que existen economías de escala. Sin embargo, para los investigadores, es probable que los costos de seguro y mantenimiento aumenten en consonancia con el costo de capital del Megaportacontenedores, lo que ofrece escasas economías de escala (Yahalom, S. & Guan, C., 2018).

De igual forma, los estudios (Lun, Y.H.V., Lai, Kh., Cheng, T.C.E. & Yang, D., 2023), revelan, que las economías de escala disminuyen rápidamente más allá de una capacidad de 7.500 TEUs. Con base en un modelo de costos se demostró que se pueden lograr ahorros de costos significativos en el mar mediante el despliegue de buques de 8.800 TEUs, pero el diferencial de costos al aumentar a 12.500 TEUs cae drásticamente (Okumoto, Y., et al, 2026). Así, el estudio concluye, que los beneficios

adicionales de los menores costos de espacio disminuyen a medida que los buques aumentan de tamaño, y que estos ahorros podrían no materializarse (por completo). En cambio, los esfuerzos necesarios para preparar los puertos para Megaportacontenedores aumentaran desproporcionadamente; se producen deseconomías de escala debido a tiempos de escala más largos, lo que genera mayores costos portuarios y de inventario. Por tanto, las posibles deseconomías de escala vinculadas a los Megaportacontenedores serán absorbidas total o parcialmente por las autoridades portuarias, los operadores de terminales y otros actores de la Cadena Global de Suministro, lo que permite/facilita que las compañías navieras busquen rondas consecutivas de aumentos de escala en el tamaño de los buques.

De manera general, los Megaportacontenedores atesoran economías de escala tanto en los costos de construcción como de operación. Sin embargo, las economías de escala se verán afectadas por factores como el tiempo de permanencia en el puerto durante el viaje (Okumoto, Y., et al, 2026; Vida, L., et al, 2026; Russo, F., et al, 2024; Yue, Z., et al, 2024), el tiempo de manipulación de la carga, el proceso posterior a la descarga de la carga desde el Megapuerto al interior con la cadena logística, todos ellos pueden ser factores de compensación con las ventajas de costos y la productividad del tamaño del buque.

Recientemente, los mercados altamente competitivos exigen a las navieras en general, y a los Megaportacontenedores en particular, menores costos y una mayor calidad de servicio (Li, J., Huang, A., Shi, X. & Liu, X., 2024). Las líneas navieras buscan aumentar su tamaño, tanto de la organización como de buques, para satisfacer la demanda de un mercado altamente competitivo. Tienen tendencia a fusiones, adquisiciones e integraciones horizontales o verticales, como las Grandes Alianzas. Estas consolidaciones son factores que favorecen el aumento del tamaño de los buques, ya que, al crecer, contar con más recursos y una sólida situación financiera, puede invertir fácilmente en Megaportacontenedores y también la integración vertical (como la cooperación entre la línea naviera con la compañía terminal o las compañías estibadoras) que ayuda a que el Megabuque navegue sin problemas.

¿Cuál es el Límite?

La capacidad de los buques portacontenedores no superaba los 1.000 TEUs en la década de 1960, durante los inicios del transporte marítimo de contenedores su tamaño se ha multiplicado por 20 en los últimos 60 años (Achilleas Tsantis, John Mangan, Agustina Calatayud & Roberto Palacin, 2023). Los Megaportacontenedores con capacidad de más de 24.000 TEUs y una eslora total de 400 m, ya están en funcionamiento y desempeñan un papel importante en el transporte marítimo global de mercancías contenedorizadas. En particular, el aumento de tamaño después del año 2000 fue muy drástico y más rápido. La logística del transporte de contenedores marítimos implica no sólo a las compañías navieras que operan los buques, también propietarios (armadores) de los buques que los alquilan, compañías de gestión de buques que los organizan, tripulaciones, operadores de terminales, autoridades portuarias que desarrollan y mantienen las instalaciones, compañías de transporte terrestre que financian el transporte entre puertos y orígenes/destinos interiores, propietarios de carga que solicitan envíos y transitarios que organizan camiones y buques a petición de los cargadores. En consecuencia, para las compañías navieras y sus alianzas, el tamaño máximo de los buques desempeña un papel fundamental en el establecimiento de una red eficiente, al determinar la composición de la flota y la selección de los puertos de escala (Sumantri, Y., 2024).

Existen estudios (Theo Notteboom, 2021), que hacen referencia al tamaño máximo futuro de los

Megaportacontenedores centrándose en el diseño de los buques y las dimensiones del Canal de Suez, importante cuello de botella en el transporte global de contenedores. Desde la perspectiva de la arquitectura naval, cuando los Megaportacontenedores navegan con olas, se produce un latigazo (vibración elástica longitudinal del casco) debido al impacto (golpe de la proa contra el seno de la ola después de cruzar una cresta), que es particularmente grande a altas velocidades. El momento flector combinado debido al latigazo y las olas resulta en una gran carga en la viga del casco. Por tanto, en términos de arquitectura naval (Okumoto, Y., et al, 2026; Yue, Z., et al, 2024), se ha considerado que la resistencia longitudinal del buque inhibe el aumento de su tamaño. Desde el punto de vista de la ingeniería naval, sería posible construir Megaportacontenedores de más de 24.000 TEUs. En consecuencia, el cuello de botella mecánico sería la rigidez a la flexión longitudinal del casco, que requiere gran cantidad de acero con un espesor superior a 10 cm. El factor más importante en el precio de la construcción naval es la cantidad total de acero, y el aumento de los costos de construcción podría ser un factor disuasorio para el aumento de tamaño de los Megaportacontenedores.

Sin embargo, durante muchos años se ha realizado estudios (Lam, J.S.L., Li, Q. & Pu, S., 2021), sobre el tamaño máximo de los Megaportacontenedores en el futuro; sin embargo, la mayoría han sido subestimados. Ningún estudio predijo la aparición de Megaportacontenedores de la clase 24.000 TEUs antes de 2015, cuando se pudo obtener información sobre el orden de los 24.000 TEUs. La principal razón fue la restricción del paso por el Canal de Suez en la ruta Lejano Oriente-Europa, donde actualmente se despliegan los buques portacontenedores de mayor tamaño. Dado que la eslora, la manga y el calado de los Megaportacontenedores de 24.000 TEUs se acercan a los límites de la normativa de navegación vigente, los Megaportacontenedores de mayor tamaño no podrían pasar por el Canal de Suez, lo que reduciría significativamente su operatividad para las compañías navieras. En otras palabras, la clase de 24.000 TEUs seguirá siendo la más rentable, ya que ofrece las mayores economías de escala y garantiza la operatividad (Vida, L., et al, 2026; Sumantri, Y., 2024).

Si bien el principal incentivo para aumentar el tamaño de los buques es la economía de escala, que reduce los costos de transporte, las navieras reconocen que las economías de escala obtenidas al aumentar el tamaño por encima de los 24 000 TEUs no serían muy grandes, lo que las hace resistirse respecto al aumento del tamaño máximo de los Megaportacontenedores. Sin embargo, se espera que la demanda de transporte de carga en contenedores siga aumentando y que la expansión de la capacidad de transporte marítimo mediante un aumento del tamaño promedio o del número de buques en la flota de contenedores es inevitable. La Organización Marítima Internacional (OMI), ha establecido regulaciones internacionales para el sector naviero respecto a las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) (Degiuli, N., Martić, I., Mikulić, A. & Grlj, C.G., 2026; Schulte, U.G., 2024; Tran, N.K., et al, 2024; Çağlar Karatuğ, Emir Ejder, Mina Tadros & Yasin Arslanoğlu, 2023), y el tamaño de los Megaportacontenedores generalmente contribuye a ello. Sin embargo, dado que el rigor de las regulaciones sobre emisiones de GEI suele ser inversamente proporcional al peso muerto (Tonelaje de Peso Muerto «DWT») de los buques, es improbable que se construyan buques más grandes para cumplir con estas regulaciones.

En consecuencia, la industria naviera está trabajando para reducir las emisiones de GEI de los buques; la velocidad promedio de navegación de los portacontenedores ha disminuido en los últimos años: el análisis de datos de la Red de Inteligencia Naviera muestra que la velocidad promedio en 2008 fue de 19,2 nudos y de 13,9 nudos en 2023. Por tanto, la industria naviera seguirá respondiendo al aumento del volumen de carga, aumentando la capacidad, ya sea incrementando el tamaño promedio de los buques o el número de buques desplegados. De hecho, esta ampliación puede reducir las emisiones totales de GEI de las navieras (Degiuli, N., et al, 2026; Schulte, U.G., 2024; Tran, N.K., et

al, 2024), lo que puede motivarlas a encargar Megaportacontenedores más grandes. En teoría, para transportar el doble de carga, una flota debe duplicar su capacidad o duplicar su velocidad promedio de navegación (Elkafas, A.G., Rivarolo, M. & Massardo, A.F., 2023). Sin embargo, dado que la eficiencia del combustible es inversamente proporcional a la segunda potencia de la velocidad, aumentar la velocidad reduciría considerablemente la eficiencia económica y, dado el tiempo de permanencia en los puertos, la velocidad operativa tendría que ser más del doble Mayores velocidades serán contraproducentes a medida que el mundo avanza hacia la descarbonización para 2050 (Degiuli, N., et al, 2026; Elkafas, A.G., et al, 2023).

Los operadores y fabricantes de grúas han revelado (de Almeida, J.P.R., Carrillo-Galvez, A., Morán, J.P., Soares, T.A. & Mourão, Z.S., 2026; Song, J. & Xu, C., 2024) que el tamaño de las grúas «Ship-To-Shore» (STS) o de Buque a Tierra) podría ser un obstáculo para los Megaportacontenedores desde la perspectiva del manejo de carga en las terminales de contenedores (en un Megaportacontenedor de 25.000 TEUs o de 30.000 TEUs, el alcance de las grúas STS debe ser de un mínimo de 74,3 m o 81,0 m, respectivamente (Jeong, B. & Kim, C.Y., 2025; Yue, Z., et al, 2024; Jiawei Ge, Mo Zhu, Mei Sha, Theo Notteboom, Wenming Shi & Xuefeng Wang, 2021). Esto se debe a que aumentar el tamaño de las grúas STS es técnicamente posible, la introducción de dichas grúas en las terminales de contenedores existentes requeriría fortalecer la capacidad portante del terreno (el área de apilamiento disponible y la cantidad de equipos de manejo también se verán limitados), lo que implicaría trabajos de mejora del suelo a gran escala, lo que a su vez resultaría en una sobrecarga de costos y la suspensión a largo plazo de las operaciones. Además, la sustitución de las grúas STS requiere una inversión considerable. Sin embargo, un mayor tamaño del buque alargaría el tiempo de amarre para la carga y descarga y aumentaría la frecuencia de espera de otros buques en alta mar. Si la terminal está dedicada a una sola naviera, esta puede evitar las esperas en alta mar ajustando el horario de operación de sus propios buques; sin embargo, en el caso de una terminal compartida, otras navieras se verían perjudicadas.

Según las normas de navegación de la Autoridad del Canal de Suez, «Suez Canal Authority» (SCA), las dimensiones de los buques que transitan por el Canal están limitadas a 400 m de eslora total, calado máximo de 20,1 m y manga de 50 m. Si la eslora total supera los 400 m, el buque debe obtener permiso de la SCA. Y, según la agencia de noticias egipcia Sada El-Balad, el Megaportacontenedor de la clase “One Innovation”, navegó el Canal de Suez en julio de 2023; el Megaportacontenedor tiene capacidad de carga de 24.136 TEUS, 399,95 m de eslora, 61,4 m de manga y un calado a plena carga de 16,5 m, superando ligeramente la regla de navegación del canal (límite de calado de 16,33 m para una manga de 61,39 m) cuando está completamente cargado con contenedores. Se considera que la razón por la que el Megaportacontenedor pudo transitar el Canal de Suez, a pesar de esto, es que el calado se ajustó reduciendo la cantidad de carga (no está claro si el buque estaba completamente cargado) o si el Megaportacontenedor recibió un permiso especial de la SCA (las reglas de navegación incluyen una excepción especial que permite a los buques que excedan el límite pasar si hacen arreglos especiales). De hecho, se han detectado Megaportacontenedores con especificaciones que exceden las normas y transitan con ajustes de calado o arreglos especiales (Li, J., et al, 2024; Naghash, H., Schott, D. & Pruyn, J. 2024).

Por tanto, es concebible que se sigan construyendo Megaportacontenedores con especificaciones que superen ligeramente a los Suezmax. De igual forma, el Canal de Panamá abrió su tercera esclusa en 2016, aumentando significativamente el tamaño de los Panamax, y las regulaciones se han flexibilizado dos veces desde entonces, aumentando los límites de eslora total y manga de los buques en 4,3 m y 3,2 m, respectivamente. Esta desregulación condujo a un aumento del tamaño de los

Panamax de 13.000 TEUs a 15.000 TEUs. Esto permitió el paso de buques de mayor tamaño a discreción de las autoridades del Canal

Discusión

La nueva generación de Megaportacontenedores se ha transformado en un tema controvertido con muchos argumentos sobre los desafíos que pueden enfrentar: suficiente carga, frecuencia, puertos de aguas profundas están técnicamente calificados para acomodar este tipo de buques. Este tipo de preocupaciones se convirtieron en realidad desde que el Emma Maersk, el buque más grande del mundo en entrar en operación en 2007, con 370 m de eslora, 56 m de manga y 16 m de calado. Esto presenta limitaciones para muchos puertos, ya que pocos en el mundo ofrecen las condiciones náuticas, la infraestructura, la superestructura y la conexión fluvial necesarias para la gestión de este tipo de buques. Requiere un gran esfuerzo por parte de los operadores de línea y sus contrapartes para abordar los problemas derivados de la operación.

Sin duda, los Megaportacontenedores plantean grandes desafíos para los puertos del mundo. Existen cuatro tipos de problemas importantes en las instalaciones portuarias cuando arriban los Megaportacontenedores. En primer lugar, la limitación de calado es un problema común, ya que la mayoría de los puertos principales no tienen suficiente calado para que los Megaportacontenedores puedan atracar fácilmente sin ninguna limitación de calado. El dragado del canal puede ser una solución eficaz, sin embargo, el alto costo del dragado contribuirá al costo total. En segundo lugar, la falta de capacidad de grúas buque-tierra es otra razón que agrava la escasez de instalaciones portuarias. Anteriormente, para aumentar la productividad de la transferencia de carga (cargue/descargue) descarga de un buque portacontenedores, no era difícil aumentar la velocidad de carga añadiendo una o dos grúas pórtico. Sin embargo, hoy día, con el aumento de la manga de los buques, ya no se pueden añadir grúas. Por tanto, será un reto mantener una operación eficaz con Megaportacontenedores en el puerto.

En tercer lugar, el tamaño limitado de los atracaderos (muelles) es otra desventaja para los megaportacontenedores. Esto, porque los Megaportacontenedores son menos flexibles en la zona portuaria, ya que tienen pocas opciones para atracar en su costado, lo que puede resultar en una mayor permanencia en el puerto y afectar negativamente las economías de escala. Además, existen puertos limitados en los que los Megaportacontenedores pueden hacer escala. El sistema de “Centro y Radios” o «Hub-and-Spoke» (modelo de distribución logística donde un puerto marítimo de gran calado actúa como centro «Hub» y los puertos regionales más pequeños sirven como radios «Spokes»), es la opción preferida por estos buques, lo que inevitablemente genera costos de enlace y transbordo para el armador.

Por último, uno de los inconvenientes para los Megaportacontenedores en el puerto es la falta de instalaciones interiores desarrolladas: «Hinterland», área de tierra detrás o alrededor de la costa, que cuenta con diversos tipos de instalaciones para la operación de contenedores, incluyendo patios de contenedores, almacenes y carreteras para el transporte terrestre.

Por tanto, el «Hinterland» influye directamente en el flujo logístico de contenedores. Si estas instalaciones no se adaptan al crecimiento de los Megaportacontenedores, se agravará el problema de la congestión portuaria. Para el transporte marítimo, la confiabilidad es fundamental, y la congestión portuaria es uno de los factores que hacen que la línea naviera se vuelva poco fiable. De hecho, se

necesita tiempo y alta inversión para que el puerto y el interior puedan ofrecer calidad servicio para maximizar la tasa de utilización y minimizar el momento en el puerto donde se producen deseconomías de escala. Si los Megaportacontenedores utilizan la red tradicional, pasarán mucho tiempo en el puerto sin poder aprovechar las economías de escala, por lo que debe usar el sistema «Hub-and-Spoke» para estar seguros que la mayor parte del tiempo se pasan navegando: "*Un buque gana dinero cuando navega, y lo pierde estando en puerto" Aristóteles Onassis, armador griego, (1906-1975)*".

Así, invertir en Megaportacontenedores implica que las navieras inviertan en terminales para garantizar que, cuando atraquen sus buques, tengan espacio suficiente y eviten tiempos de espera. Se requiere una terminal dedicada ("Megapuerto"), que permita a los buques atracar directamente al muelle sin perder tiempo, que cuente con infraestructura y equipos adecuados para el manejo de carga de Megaportacontenedores. Esta es la razón por la que Maersk creó la terminal APM al considerar que otros no podían hacerlo bien, y también la tendencia a crear terminales propias o integrarlas con compañías de estibadores; se centra exclusivamente en las operaciones de las terminales y tener la capacidad de dar servicio a líneas navieras de terceros.

De otro lado, las emisiones de GEI es un tema muy importante para la industria marítimo-portuaria. Los administradores portuarios se preocupan cada vez más por el medio ambiente y cobrarán tasas portuarias según las emisiones de CO2 de los buques. De hecho, los buques grandes emiten más CO2 que los pequeños. Con tasas portuarias altas, los Megaportacontenedores dejarán de ser rentables; muchos puertos optan por tarifas verdes, lo que podría convertirse en un nuevo obstáculo para los Megaportacontenedores. De hecho, en el transporte de contenedores, el combustible para buques búnker representa un gasto considerable. Según el Consejo Mundial de Transporte Marítimo, la factura de combustible para buques de 8.000 TEUs representaba entre el 50 % y el 60 % de sus costos operativos. Para reducir este tipo de costos, los armadores acuden a la navegación lenta, que es una solución común cuando el precio del combustible es muy elevado, y sigue siendo la solución económica para reducirlo. En consecuencia, si el armador reduce la velocidad en un 10 %, el consumo de combustible se reducirá entre un 25 % y un 27 %, lo que puede suponer un ahorro del 50 % en el costo del combustible. Reducir la velocidad a 20 nudos requeriría tan sólo un 50 % de potencia. Dado que la duración del viaje aumentará como consecuencia de la reducción de velocidad, el ahorro de combustible será algo menor, de alrededor del 40 %.

Por consiguiente, al utilizar Megaportacontenedores, las líneas navieras aprovechan la llamada economías de escala, que han permitido reducir continuamente los costos por TEU transportado y han dado a estos su razón de ser. Sin embargo, a menudo se pasa por alto el hecho de que la operación de Megaportacontenedores implica costos e impactos en sistemas "externos". Eventos críticos como los accidentes del CSCL Indian Ocean en 2016, el CSCL Jupiter en 2017, el ONE Milano Bridge en 2020 o el bloqueo del Canal de Suez durante seis días por el Ever Given demuestran claramente el riesgo potencial del transporte global de mercancías en Megaportacontenedores.

Sin embargo, no son solo las circunstancias excepcionales, como los accidentes causados por fallas humanas o técnicas, las que tienen un impacto negativo en áreas fuera de las líneas navieras. Incluso la operación programada y fluida de dichos buques genera toda una gama de desafíos, impactos y costos, que se producen a expensas de otras partes interesadas, a menudo denominados deseconomías de escala. De la misma manera, también existen efectos positivos y a menudo mal aprovechados de los Megaportacontenedores que no están directamente relacionados con la rentabilidad operativa.

Finalmente, las tendencias que señalan el futuro de la industria de Megaportacontenedores se

presentan en los siguientes puntos clave:

El número de puertos donde pueden atracar los Megaportacontenedores es reducido a nivel global.

Los Megaportacontenedores tienen un costo de capital muy alto, por lo que el amarre resulta muy costoso para el armador.

No se espera construir Megaportacontenedores con potencial de transportar entre 27.000 y 30.000 TEUs, hasta que haya suficiente demanda de carga en las pocas rutas que estos buques pueden cubrir.

Según la información sobre los pedidos de construcción naval, la construcción de Megaportacontenedores de clase 24.000 TEUs, que está en curso desde 2019, continuará al menos hasta 2028. En consecuencia, se espera que las clases de 24.000 TEUs estén en servicio en la década de 2050, dado que los buques generalmente tienen una esperanza de vida de 20 a 30 años.

Los Megaportacontenedores de la clase 24.000 TEUs actualmente pueden pasar por el Canal de Suez; no se espera que un Megaportacontenedores de 32.000 TEUs transite el Canal de Suez bajo normas flexibles de navegación.

Megaportacontenedores de más de 32.000 TEUs requerirían la ampliación física del Canal de Suez, pero no hay ninguna ventaja para las autoridades en invertir en la expansión. La expansión física del Canal de Suez prácticamente no genera beneficios, ya que los peajes se calculan en proporción al tonelaje neto que transita el Canal. Cuanto mayor sea el buque, menor será el peaje por tonelada impuesto. Por tanto, con el sistema de peaje actual, se obtienen mayores ingresos cuando transitan varios buques pequeños que cuando lo hacen un pequeño número de buques grandes para la misma cantidad de carga.

Al no ampliarse físicamente el Canal de Suez, el tamaño máximo de los Megaportacontenedores que lo transiten podría ser de 24.000 o 27.000 TEUs, dependiendo de si se flexibilizan las normas de navegación; si se amplía el Canal de Suez, el tamaño máximo sería de 29.000 y 32.000 TEUs, dependiendo de si se aumenta el número de puertos de aguas profundas.

El aumento de tamaño de los buques portacontenedores provoca simultáneamente mayor fluctuación del volumen de carga, por tanto, urge mejorar la eficiencia del manejo de esta. Para lograrlo, se debe mejorar la eficiencia operativa de las grúas «Ship-To-Shore», las grúas de patio y los remolques.

Aumentar el número de equipos de manejo de carga o expandir los patios y las carreteras circundantes pueden ser medidas simples, pero generalmente no son realistas dada la rentabilidad de las operaciones de las terminales, ya que los Megaportacontenedores en sí no beneficia directamente a los operadores y administradores portuarios.

La mayor ventaja de los Megaportacontenedores es la economía de escala en el mar. El costo unitario disminuye a medida que aumenta la cantidad de unidades (TEUs). En el caso de los Megaportacontenedores, el costo por TEUs disminuye al aumentar la capacidad del buque.

La economía de escala se verá afectada por factores como el tiempo de permanencia del

Megaportacontenedor en el puerto, el tiempo de transferencia de la carga, el proceso posterior a la descarga de desde el Megapuerto al interior con la cadena logística.

El costo por TEU disminuye con el tamaño del buque, mientras que los transportistas se enfrentan a más desafíos operativos en términos de restricciones náuticas, mayores riesgos y daños promedio, así como estadías en puerto más prolongadas, lo que influye en la economía. Sin embargo, esto obviamente se está ignorando a medida que continúa el aumento en los tamaños de los buques.

Entre los economistas marítimos se reconoce que los transportistas marítimos están reduciendo sus costos al introducir buques cada vez más Megaportacontenedores en los costos de los otros actores dentro de la cadena de transporte intermodal; si se tuvieran en cuenta todas las inversiones públicas y privadas que se tuvieron que hacer en los puertos y para el transporte interior para hacer frente a las dimensiones de los Megaportacontenedores y las cargas máximas extremas que están causando, se tendría que concluir que no queda ningún beneficio económico desde la perspectiva general

Conclusiones

Predecir el tamaño límite de un Megaportacontenedores es un gran desafío, como lo demuestra el hecho de que ningún estudio previo ha podido predecirlo con precisión. Cada nueva generación de buques portacontenedores se enfrenta a un número cada vez menor de puertos capaces de recibirlos, lo que ejerce presión sobre la infraestructura y el equipo portuario. Las compañías navieras se ven incentivadas a utilizar Megaportacontenedores en sus rutas, ya que se benefician de las economías de escala. Sin embargo, los puertos y los sistemas de transporte terrestre deben realizar una inversión de capital sustancial si pretenden dar cabida a los Megaportacontenedores.

El despliegue de Megaportacontenedores requiere un volumen considerable de carga para ser comercialmente viable, como una frecuencia de servicio adecuada. Los buques portacontenedores de entre 5.500 y 6.500 TEU parecen ser los más flexibles en cuanto a los puertos a los que pueden acceder y el mercado al que pueden servir, ya que el uso de Megaportacontenedores requiere menos escalas. Por consiguiente, las limitaciones a las economías de escala en el transporte marítimo de contenedores están mucho más condicionadas por factores comerciales que por limitaciones técnicas.

Declaración sobre conflicto de interés
El autor declara que no tiene ningún conflicto de interés sobre el artículo. Además, el autor manifiesta ser independiente con respecto a instituciones financiadoras y de apoyo, y que durante la redacción del manuscrito no han recibido ningún tipo de financiamiento y no han incidido intereses o valores distintos a los que usualmente tiene la investigación.

Referencias Bibliográficas

Achilleas Tsantis, John Mangan, Agustina Calatayud & Roberto Palacin. (2023). Container Shipping: A Systematic Literature Review of Themes and Factors That Influence the Establishment of Direct Connections Between Countries. Marit Econ Logist 25, 667–697. https://doi.org/10.1057/s41278-022-00249-3

Angela Carboni, Francesco Deflorio, Claudia Caballini & Stefano Cangelosi. (2025). Advances in Terminal Management: Simulation of Vehicle Traffic in Container Terminals. Marit Econ Logist 27, 500–524. https://doi.org/10.1057/s41278-024-00300-5

Bo Lu, Xi Ming, Hongman Lu, Deyang Chen & Hongbo Duan. (2023). Challenges of Decarbonizing Global Maritime Container Shipping Toward Net-Zero Emissions. Npj Ocean Sustain 2, 11. https://doi.org/10.1038/s44183-023-00018-6

Çağlar Karatuğ, Emir Ejder, Mina Tadros & Yasin Arslanoğlu. (2023). Environmental and Economic Evaluation of Dual-Fuel Engine Investment of a Container Ship. J. Marine. Sci. Appl. 22, 823–836. https://doi.org/10.1007/s11804-023-00381-3

de Almeida, J.P.R., Carrillo-Galvez, A., Morán, J.P., Soares, T.A. & Mourão, Z.S. (2026). Optimizing Quay Crane Operations Considering Energy Consumption. In: Valente de Oliveira, J., Leite, J., Rodrigues, J., Dias, J., Cardoso, P. (eds) Progress in Artificial Intelligence. EPIA 2025. Lecture Notes in Computer Science (), vol 16122. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-05179-0_35

Degiuli, N., Martić, I., Mikulić, A. & Grlj, C.G. (2026). Containership Fuel Efficiency and Emissions Under Reduced Speed Conditions. In: Ozturk, U.A., Helo, P.T. (eds) Proceedings of the International Conference on Industrial Logistics (ICIL) 2025. ICIL 2025. Lecture Notes in Operations Research. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-14489-8_26

Elkafas, A.G., Rivarolo, M. & Massardo, A.F. (2023). Environmental Economic Analysis of Speed Reduction Measure Onboard Container Ships. Environ Sci. Poll. Res. 30, 59645–59659. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26745-4

Expósito-Izquierdo, C., Lalla-Ruiz, E., de Armas, J., Melián-Batista, B. & Moreno-Vega, J.M. (2025). Maritime Container Terminal Problems. In: Martí, R., Pardalos, P.M., Resende, M.G. (eds) Handbook of Heuristics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00385-0_57

Hassan, H.M. (2026). Metaheuristic-Driven Optimization of Machine Learning Models for Predicting Principal Dimensions of Container Ships. J. Ocean Eng. Mar. Energy 12, 459–483. https://doi.org/10.1007/s40722-025-00439-0

Jean-Paul Rodrigue. (2024). The Geography of Transport Systems; 6th Edition, Pub. Location London, Imprint Routledge, Pp. 402, eBook ISBN 9781003343196, https://doi.org/10.4324/9781003343196

Jeong, B. & Kim, C.Y. (2025). Containership Size and Quay Crane Productivity: Empirical Evidence from Busan New Port. Marit Econ Logist 27, 293–303. https://doi.org/10.1057/s41278-024-00286-0

Jiawei Ge, Mo Zhu, Mei Sha, Theo Notteboom, Wenming Shi & Xuefeng Wang. (2021). Towards 25,000 TEUS vessels? A Comparative Economic Analysis of Ultra-Large Containership Sizes Under Different Market and Operational Conditions. Marit Econ Logist 23, 587–614. https://doi.org/10.1057/s41278-019-00136-4

Jungen, H., Specht, P., Ovens, J. & Lemper, B. (2021). The Rise of Ultra Large Container Vessels: Implications for Seaport Systems and Environmental Considerations. In: Freitag, M., Kotzab, H., Megow, N. (eds) Dynamics in Logistics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88662-2_12

Kastner, M., Grasse, O. & Jahn, C. (2022). Container Flow Generation for Maritime Container Terminals. In: Freitag, M., Kinra, A., Kotzab, H., Megow, N. (eds) Dynamics in Logistics. LDIC 2022. Lecture Notes in Logistics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05359-7_11

Lam, J.S.L., Li, Q. & Pu, S. (2021). Volatility and Uncertainty in Container Shipping Market. In: Ko, BW., Song, DW. (eds) New Maritime Business. WMU Studies in Maritime Affairs, vol 10. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78957-2_2

Li, J., Huang, A., Shi, X. & Liu, X. (2024). Forecasting Container Shipping Prices Under the Influence of Major Events. In: Gong, D., Ma, Y., Fu, X., Zhang, J., Shang, X. (eds) LISS 2023. LISS 2023. Lecture Notes in Operations Research. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4045-1_34

Lu, J., Yang, Y., Zhu, X. & Zhang, L. (2025). Accessibility Study of Container Port Based on a Spatiotemporal Network of Liner Shipping. In: Strauss, E.J. (eds) Proceedings of the 9th International Conference on Civil Engineering. ICOCE 2025. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 714. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-8990-3_28

Lun, Y.H.V., Lai, Kh., Cheng, T.C.E. & Yang, D. (2023). Container Shipping Market. In: Shipping and Logistics Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26090-2_4

Naghash, H., Schott, D. & Pruyn, J. (2024). Shifting Waves of Shipping: A Review on Global Shipping Projections and Methodologies. J. Shipp. Trd. 9, 29. https://doi.org/10.1186/s41072-024-00187-8

Notteboom, T. & Rodrigue, JP. (2023). Maritime Container Terminal Infrastructure, Network Corporatization, And Global Terminal Operators: Implications for International Business Policy. J Int Bus Policy 6, 67–83. https://doi.org/10.1057/s42214-022-00142-z

Okumoto, Y., Okada, T., Takeda, Y., Mano, M. & Toyoda, M. (2026). Progress in Ship Design. In: Design of Ship Hull Structures. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-12500-2_5

Rodrigue, J-P. (2025). A Systemic Analysis of Container Terminal Layouts. J. Shipp. Trd. 10, 4. https://doi.org/10.1186/s41072-025-00194-3

Rodrigue J-P. (2020). Evolution of Containerships, In: The Geography of Transport Systems. 5th ed. New York, USA: ISBN 9780429346323 Routledge, Pp 480. https://doi.org/10.4324/9780429346323

Russo, F., Pedà, G. & Musolino, G. (2024). Attributes Influencing Port Times of Container Ships. WMU J Marit Affairs 23, 375–392. https://doi.org/10.1007/s13437-024-00336-7

Sánchez, R.J., Perrotti, D.E. & Fort, A.G.P. (2021). Looking Into the Future Ten Years Later: Big Full Containerships and Their Arrival to South American Ports. J. Shipp. Trd. 6, 2. https://doi.org/10.1186/s41072-021-00083-5

Schulte, U.G. (2024). Decarbonising Container Shipping. In: Sustainable Business. CSR, Sustainability, Ethics & Governance. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-58596-8_18

Seokchan Lee, Seung-Ho Lee, Seung Chan Choi & Sung Won Cho. (2026). Fuzzy C-Means Clustering Based Vertical Container Stacking in Container Terminals. Sci Rep 16, 6891. https://doi.org/10.1038/s41598-026-37994-x

Shcherbanin, Y.A. (2025). Global Transport: International Cargo Shipping. Stud. Russ. Econ. Dev. 36, 77–85. https://doi.org/10.1134/S1075700724700540

Song, J. & Xu, C. (2024). Optimization for Container Truck Routing in Container Terminal with Multi Quay Cranes Considering Emissions Policy. Sci Rep 14, 24000. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75661-1

Sumantri, Y. (2024). Logistics Service Process and Attribute in Container Shipping Companies. In: Kurniawan, D., Nor, F.M. (eds) Advances in Manufacturing Processes and Smart Manufacturing Systems. GCMM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1215. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80338-3_4

Theo Notteboom. (2021). Container (Liner) Shipping, Editor(s): Roger Vickerman, International Encyclopedia of Transportation, Elsevier, Pages 247-256, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10254-4

Tran, N.K. & Lam, J.S.L. (2024). CO2 Emissions in a Global Container Shipping Network and Policy Implications. Marit Econ Logist 26, 151–167. https://doi.org/10.1057/s41278-022-00242-w

Vida, L., Zsombor, L., Illés, B. & Véha, A. (2026). Advance Container Handling. In: Abbasov, A., Sładkowski, A., Babayev, T. (eds) Problems of Logistics, Management and Operation in the East-West Transport Corridor. PLMO 2025. Communications in Computer and Information Science, vol 2767. Springer, Cham.

https://doi.org/10.1007/978-3-032-13672-5_15

Witthohn, R. (2023). Container Transports. In: International Shipping. Springer, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34273-9_4

Yahalom, S. & Guan, C. (2018). Containership Port Time: The Bay Time Factor. Marit Econ Logist 20, 211–227. https://doi.org/10.1057/s41278-016-0044-6

Yue, Z. & Mangan, J. (2024). A Framework for Understanding Reliability in Container Shipping Networks. Marit Econ Logist 26, 523–544. https://doi.org/10.1057/s41278-023-00269-7

Loginn / Vol. 10, No. 1 – 2026
https://doi.org/10.23850/25907441.7442

LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN COMO ESTRATEGIAS DE APROPIACIÓN CURRICULAR Y MOTOR DEL DESARROLLO ENDÓGENO TERRITORIAL DESDE LA ACADEMIA

RESEARCH AND INNOVATION AS STRATEGIES FOR CURRICULAR APPROPRIATION AND A DRIVER OF ENDOGENOUS TERRITORIAL DEVELOPMENT FROM ACADEMIA

Sugey Marta Issa Fontalvo[1]

[1] SENA Centro de Logística y Promoción Ecoturística del Magdalena. Colombia. Correo: sissa@sena.edu.co

Para citar este artículo: Issa Fontalvo, S. M. (2026). La investigación y la innovación como estrategias de apropiación curricular y motor del desarrollo endógeno territorial desde la academia. LOGINN Investigación Científica Y Tecnológica, 10(1). https://doi.org/10.23850/25907441.7442

Recibido: 4 de febrero de 2026
Aceptado: 23 de abril de 2026
Publicado en línea: 30 de junio de 2026

Palabras clave: investigación formativa; innovación educativa; apropiación curricular; desarrollo endógeno; ciencia, tecnología e innovación.

JEL: I23, O31, R11

Keywords: formative research; educational innovation; curricular appropriation; endogenous development; science, technology and innovation.

Resumen

Este artículo analiza la relación entre el desarrollo de actividades investigativas y de innovación en la educación superior y su incidencia en la apropiación de las temáticas curriculares, así como el papel de la academia como agente dinamizador del desarrollo endógeno de los territorios mediante el aporte de ciencia, tecnología e innovación (CTeI). La pregunta que orienta el estudio es: ¿de qué manera la investigación formativa y los procesos de innovación educativa fortalecen la apropiación curricular y contribuyen, simultáneamente, al desarrollo endógeno territorial? Desde una perspectiva teórica fundamentada en la investigación formativa, el aprendizaje basado en investigación, la tercera misión universitaria y el desarrollo territorial endógeno, se realizó una revisión documental de fuentes académicas recientes. La metodología empleada fue cualitativa, documental y analítico-reflexiva, con búsqueda sistemática, selección y categorización de literatura especializada. Los resultados evidencian que los semilleros de investigación, el aprendizaje basado en investigación y la vinculación universidad-empresa-Estado-comunidad constituyen mecanismos efectivos para transformar el currículo en una experiencia significativa y pertinente, al tiempo que habilitan la transferencia de conocimiento hacia los territorios. Se concluye que la articulación entre investigación formativa, innovación curricular y desarrollo endógeno configura un modelo de universidad territorialmente comprometida. Se proponen líneas futuras de investigación orientadas a la medición del impacto territorial de la investigación formativa.

Abstract

This article examines the relationship between the development of research and innovation activities in higher education and their effect on the appropriation of curricular content, as well as the role of academia as a driving agent of the endogenous development of territories through the contribution of science, technology, and innovation (STI). The guiding question is: how do formative research and educational innovation processes strengthen curricular appropriation while simultaneously contributing to endogenous territorial development? Grounded in the theoretical approaches of formative research, research-based learning, the university's third mission, and endogenous territorial development, a documentary review of recent academic sources was carried out. A qualitative, documentary, and analytical-reflective methodology was used, involving systematic search, selection, and categorization of specialized literature. The results show that research seedbeds, research-based learning, and university-

industry-government-community linkages constitute effective mechanisms for transforming the curriculum into a meaningful and relevant experience, while enabling knowledge transfer to territories. It is concluded that the articulation of formative research, curricular innovation, and endogenous development configures a model of a territorially engaged university. Future research lines oriented toward measuring the territorial impact of formative research are proposed.

INTRODUCCIÓN

La educación superior contemporánea enfrenta la exigencia de superar los modelos transmisionistas de enseñanza para consolidar procesos formativos en los que el estudiante se apropie del conocimiento a través de la indagación, el cuestionamiento y la construcción activa de saberes. En este escenario, la investigación formativa se ha consolidado como un componente transversal del currículo universitario, dado su carácter pedagógico y su capacidad de vincular la teoría con la práctica disciplinar (Flores et al., 2022; González y Medina, 2022). La apropiación curricular, entendida como el proceso mediante el cual los estudiantes internalizan, resignifican y aplican los contenidos de un plan de estudios, se fortalece cuando estos contenidos dejan de ser información transmitida para convertirse en problemas de indagación que el estudiante resuelve mediante estrategias propias del método científico.

Paralelamente, la sociedad del conocimiento demanda de las instituciones de educación superior (IES) un compromiso que trascienda la docencia y la investigación básica para proyectarse hacia el territorio, función históricamente denominada tercera misión universitaria (García de Fanelli, 2022; Luque-Espinoza de los Monteros et al., 2024). Esta función articula a la universidad con las necesidades productivas, sociales y culturales de su entorno inmediato, y encuentra en la ciencia, la tecnología y la innovación (CTeI) el vehículo idóneo para transferir conocimiento hacia los territorios (Gaviria-Velásquez y Mejía-Correa, 2021). El concepto de desarrollo endógeno, entendido como la capacidad de una región para movilizar sus propios recursos, capacidades y saberes locales en función de su progreso económico y social (González Meyer y Micheletti, 2021), converge de manera natural con la misión académica cuando esta se orienta a resolver problemáticas concretas del contexto donde se inserta la institución educativa.

En Colombia, y de manera particular en instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), a través de su Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), esta articulación adquiere una relevancia estratégica: se trata de formar técnicos, tecnólogos y profesionales capaces no solo de apropiarse de los contenidos curriculares mediante la indagación, sino también de aportar soluciones tecnológicas e innovadoras pertinentes para el desarrollo de sus regiones. Este doble propósito, formativo y territorial, constituye el problema central que orienta el presente artículo.

A pesar de la abundante literatura que aborda por separado la investigación formativa (Castro-Rodríguez, 2022, 2023; Vera Fernández y Fernández Nieto, 2024) y el desarrollo territorial endógeno (Aguirre Pérez y Herrera Avendaño, 2025; Niembro et al., 2025), son escasos los estudios que integran ambas dimensiones desde una perspectiva que reconozca a la investigación y la innovación educativa como puente entre la formación curricular y el desarrollo endógeno de los territorios. Esta brecha

teórica justifica la pregunta que guía el presente trabajo: ¿de qué manera el desarrollo de actividades investigativas y de innovación contribuye a la apropiación de las temáticas curriculares y, simultáneamente, habilita a la academia para aportar ciencia, tecnología e innovación al desarrollo endógeno de los territorios?

El objetivo general de este artículo es analizar, a partir de una revisión documental de literatura científica reciente, la importancia que tiene el desarrollo de actividades investigativas y de innovación para la apropiación de las temáticas del currículo, y examinar cómo desde la academia se puede aportar al desarrollo endógeno de los territorios mediante la generación y transferencia de ciencia, tecnología e innovación. De este objetivo general se desprenden tres objetivos específicos: (i) caracterizar los fundamentos teóricos y las evidencias empíricas sobre la investigación formativa y su relación con la apropiación curricular; (ii) identificar los mecanismos mediante los cuales la academia se vincula con los territorios para dinamizar procesos de innovación y desarrollo endógeno; y (iii) proponer una lectura integradora que articule los procesos investigativos institucionales con las necesidades del entorno productivo y social.

El artículo se estructura en cinco apartados. Tras esta introducción, se presenta la metodología empleada para la selección y el análisis de las fuentes documentales. Posteriormente se exponen los resultados, organizados en seis categorías temáticas emergentes del análisis. Le sigue un apartado de discusión en el que se contrastan los hallazgos con el conocimiento previo, y finalmente se presentan las conclusiones y las líneas futuras de investigación.

METODOLOGÍA

El presente artículo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo documental y analítico-reflexivo, orientado a la revisión, sistematización e interpretación crítica de literatura científica especializada y reciente relacionada con la investigación formativa, la innovación educativa, la apropiación curricular y el desarrollo endógeno territorial desde la perspectiva de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Para la construcción del corpus documental se definió como criterio de búsqueda la combinación de descriptores en español e inglés: «investigación formativa», «semilleros de investigación», «apropiación curricular», «innovación educativa», «aprendizaje basado en investigación», «desarrollo endógeno territorial», «tercera misión universitaria», «vinculación universidad-empresa-Estado-sociedad» y «ciencia, tecnología e innovación». La búsqueda se efectuó en fuentes académicas indexadas y bases de datos de acceso especializado, priorizando artículos publicados entre 2014 y 2025, con énfasis en el periodo 2021-2025, con el fin de garantizar la actualidad de los hallazgos y su pertinencia frente a las dinámicas contemporáneas de la educación superior latinoamericana.

Los criterios de inclusión aplicados fueron: (a) artículos publicados en revistas científicas arbitradas o capítulos de libro académico; (b) correspondencia temática directa o indirecta con al menos uno de los tres ejes de análisis (investigación formativa/apropiación curricular, semilleros e innovación educativa, o desarrollo endógeno/CTeI territorial); (c) disponibilidad de referencia completa y verificable (autoría, año, título, fuente); y (d) preferencia por estudios publicados en los últimos cinco años, admitiéndose un número reducido de referencias seminales anteriores cuando aportaban un marco conceptual imprescindible, como en el caso de la noción de universidad emprendedora. Se excluyeron fuentes sin autoría identificable, publicaciones de divulgación no académica y contenidos

normativos ajenos al foco investigativo del estudio.

Como resultado de este proceso se conformó un corpus final de veinticinco (25) fuentes, organizadas en una matriz de análisis documental que registró autor(es), año, título, fuente, enfoque metodológico y principales hallazgos. A partir de esta matriz se realizó un proceso de codificación temática abierta que permitió agrupar los hallazgos en seis categorías analíticas emergentes, las cuales estructuran el apartado de resultados: (1) investigación formativa y apropiación curricular; (2) semilleros de investigación y desarrollo de competencias investigativas; (3) aprendizaje basado en investigación e innovación educativa; (4) fundamentos del desarrollo endógeno territorial; (5) ciencia, tecnología e innovación como puente entre la academia y el territorio; y (6) tercera misión universitaria y vinculación con el entorno.

El análisis de la información se realizó mediante la técnica de análisis de contenido cualitativo, contrastando los planteamientos de los diferentes autores, identificando convergencias, tensiones y vacíos en la literatura, y construyendo una interpretación propia que respondiera a los objetivos planteados. Este estudio no involucró el manejo de datos primarios de sujetos humanos, por lo que no requirió consideraciones éticas adicionales a las propias del manejo responsable y la citación adecuada de las fuentes consultadas.

RESULTADOS

Investigación formativa y apropiación curricular

La investigación formativa se define en la literatura reciente como un componente pedagógico transversal del currículo universitario, orientado a que el estudiante aprenda a investigar investigando, es decir, mediante la vivencia directa del proceso de indagación antes que por la sola transmisión de contenidos declarativos (Flores et al., 2022). Esta perspectiva coincide con los planteamientos de González y Medina (2022), quienes sostienen que la investigación y la formación deben concebirse como un diálogo permanente y no como funciones separadas dentro de la vida académica: mientras la formación aporta las bases conceptuales y metodológicas, la investigación las convierte en experiencia significativa para el estudiante.

Diversos estudios coinciden en que la apropiación curricular se fortalece cuando los contenidos de las asignaturas se traducen en preguntas de investigación que el estudiante debe resolver mediante procesos de análisis, síntesis y argumentación (Bernate y Vargas, 2020). Esta transformación pedagógica exige que el docente universitario abandone el rol de transmisor de información para asumir el de mediador y acompañante de procesos investigativos, lo cual implica, a su vez, una renovación en las prácticas de enseñanza-aprendizaje y en el diseño mismo de los planes de estudio.

La incorporación de estrategias de alfabetización crítica en el uso de datos y fuentes de información (Atenas et al., 2023) refuerza esta apropiación, en la medida en que dota a los estudiantes de herramientas para evaluar críticamente la procedencia del conocimiento y utilizarlo de forma pertinente en la construcción de saber disciplinar. De igual manera, la investigación formativa favorece el desarrollo de habilidades transversales —pensamiento crítico, trabajo colaborativo, comunicación científica— cada vez más demandadas por los marcos de competencias del siglo XXI en la educación superior latinoamericana (Bernate y Fonseca, 2023).

No obstante, la literatura también documenta tensiones relevantes. La implementación de la investigación formativa enfrenta dificultades relacionadas con la sobrecarga de los planes de estudio, la limitada formación investigativa del profesorado y la ausencia de incentivos institucionales claros para sostener estos procesos en el tiempo. Estas tensiones sugieren que la apropiación curricular mediante investigación no depende únicamente de la voluntad docente, sino de una política institucional que articule currículo, investigación e innovación como un sistema integrado y no como componentes aislados.

Semilleros de investigación y desarrollo de competencias investigativas

Los semilleros de investigación constituyen una de las estrategias extracurriculares más consolidadas en el contexto latinoamericano, particularmente en Colombia, para el desarrollo de competencias investigativas en el pregrado (Castro-Rodríguez, 2022; Vera Fernández y Fernández Nieto, 2024). Se trata de comunidades de aprendizaje en las que estudiantes y docentes construyen colectivamente conocimiento a partir de la práctica investigativa misma, favoreciendo relaciones de reciprocidad, sentido de pertenencia y agencia del estudiante sobre su propio proceso formativo.

La evidencia recopilada por Castro-Rodríguez (2022, 2023) señala que la participación en semilleros de investigación se asocia con mejoras significativas en las competencias investigativas de los estudiantes y con un incremento en la producción científica estudiantil, además de fortalecer habilidades blandas como el liderazgo, la comunicación y el trabajo en equipo. Este hallazgo es corroborado por Nolazco-Labajos et al. (2022), quienes documentan que, incluso en contextos adversos como el generado por la pandemia, la investigación formativa asociada a semilleros permitió sostener el desarrollo de competencias investigativas mediante estrategias de trabajo remoto y colaborativo.

Estos espacios se alejan del modelo de formación universitaria tradicional, centrado en la clase magistral, para posicionar al estudiante como agente activo de su aprendizaje, lo que incide de manera directa en la apropiación de los contenidos curriculares de su disciplina, pues estos dejan de ser abstractos para convertirse en insumos aplicables a un proyecto investigativo concreto. Los semilleros, además, cumplen una función de tránsito hacia comunidades científicas más amplias, articulando al estudiante de pregrado con redes de investigadores, grupos de investigación reconocidos y proyectos institucionales de mayor envergadura.

Un hallazgo relevante para los propósitos de este artículo es que los semilleros de investigación no solo cumplen una función pedagógica interna, sino que con frecuencia orientan sus proyectos hacia problemáticas del entorno social y productivo inmediato de la institución, constituyéndose así en un primer eslabón de vinculación entre la academia y el territorio.

Aprendizaje basado en investigación e innovación educativa

El aprendizaje basado en investigación (ABI) se ha consolidado como una metodología activa que integra los procesos de indagación científica al interior del aula, superando la separación tradicional entre investigación y docencia (Osiesi, 2025). A diferencia de otras metodologías activas, el ABI ubica al estudiante como productor de conocimiento y no solo como consumidor de contenidos, fomentando explícitamente el pensamiento crítico, la autonomía y la capacidad de formular y resolver problemas propios de la disciplina.

La innovación educativa asociada al ABI trasciende el uso de nuevas tecnologías o recursos

didácticos: implica una transformación de los modelos pedagógicos, la evaluación y la relación docente-estudiante. En este sentido, Osiesi (2025) plantea que el desarrollo profesional docente orientado a la innovación pedagógica es un factor determinante para sostener metodologías investigativas en el aula, pues estas exigen del profesorado competencias específicas en diseño de proyectos, acompañamiento de procesos de indagación y evaluación formativa.

La incorporación de tecnologías emergentes —entornos virtuales, realidad aumentada, simulaciones— ha ampliado las posibilidades del ABI, permitiendo experiencias de investigación basada en diseño que sitúan al estudiante ante escenarios auténticos de resolución de problemas (Silva-Díaz, 2023). Estas transformaciones se enmarcan, además, en las exigencias formativas de la denominada cuarta revolución industrial, que demanda perfiles profesionales con competencias STEM ampliadas y capacidad de adaptación tecnológica continua (Domínguez et al., 2019; García y Oliveira, 2023).

La convergencia entre ABI e innovación curricular resulta especialmente pertinente para instituciones de formación técnica y tecnológica, donde la apropiación de contenidos disciplinares debe traducirse rápidamente en capacidades aplicadas. En este tipo de instituciones, situar al estudiante frente a retos reales de innovación —tecnológica, social o productiva— vinculados a su entorno inmediato constituye una estrategia poderosa tanto para la apropiación curricular como para la generación de soluciones pertinentes al desarrollo territorial.

Fundamentos del desarrollo endógeno territorial

El concepto de desarrollo endógeno remite a la capacidad de un territorio para movilizar sus propios recursos —naturales, humanos, culturales, institucionales— en función de procesos de crecimiento y bienestar sostenidos en el tiempo (González Meyer y Micheletti, 2021). Se trata de un enfoque que se distancia de los modelos de desarrollo exógeno, dependientes de la inversión externa o de la transferencia vertical de tecnología, para privilegiar la construcción de capacidades locales y la participación activa de las comunidades en la definición de sus propias trayectorias de desarrollo.

Aguirre Pérez y Herrera Avendaño (2025) sintetizan este enfoque al señalar que el desarrollo endógeno con perspectiva territorial articula el aprovechamiento de los recursos locales con la participación comunitaria y con políticas públicas que potencien las capacidades internas de los territorios, en una lógica que prioriza la sostenibilidad y la inclusión social sobre el crecimiento económico agregado. Esta perspectiva resulta consistente con los hallazgos de Gesto Rodríguez (2023), quien identifica al desarrollo territorial sostenible en América Latina como un proceso que requiere la articulación multinivel entre actores públicos, privados, comunitarios y académicos.

Un elemento crítico documentado en la literatura reciente es la persistencia de asimetrías territoriales en el acceso a capacidades científicas y tecnológicas. Niembro et al. (2025) evidencian que las trayectorias exitosas de desarrollo territorial vinculado a la ciencia y la tecnología dependen en gran medida de la existencia de lazos de confianza interinstitucional, esquemas de gobernanza participativa y mecanismos de traducción del conocimiento científico en un lenguaje accesible para los actores locales, mientras que las trayectorias fallidas suelen estar marcadas por marcos institucionales frágiles, financiamiento inestable y alta rotación de los liderazgos técnicos.

Estas evidencias sugieren que el desarrollo endógeno no es un resultado automático de la sola presencia de instituciones de educación superior en un territorio, sino que depende de la calidad y

sostenibilidad de los vínculos que estas construyen con los actores locales.

Ciencia, tecnología e innovación como puente entre la academia y el territorio

La ciencia, la tecnología y la innovación constituyen el vehículo mediante el cual el conocimiento generado en la academia se traduce en soluciones aplicables a las necesidades del territorio. Este proceso, sin embargo, no se agota en la generación de conocimiento científico, sino que requiere de estrategias explícitas de apropiación social, entendidas como los mecanismos mediante los cuales distintos actores sociales acceden, comprenden y usan el conocimiento científico y tecnológico para la resolución de problemas concretos (Gaviria-Velásquez y Mejía-Correa, 2021).

Gaviria-Velásquez y Mejía-Correa (2021) sostienen que la apropiación social de la ciencia y la comunicación pública del conocimiento son actividades inherentes, y no accesorias, a la investigación universitaria, en la medida en que el conocimiento que no logra comunicarse ni apropiarse socialmente pierde buena parte de su capacidad transformadora sobre el territorio. Esta perspectiva es coherente con los hallazgos de Poot-Rodríguez et al. (2025) en torno a los ecosistemas de innovación social, quienes documentan cómo la articulación entre actores locales —productores, instituciones académicas, autoridades locales y comunidades— resulta determinante para consolidar procesos de innovación con impacto territorial efectivo.

Desde la perspectiva de los ecosistemas de innovación, la literatura reciente destaca el papel de las universidades como nodos generadores de conocimiento aplicado, capaces de acompañar a las micro, pequeñas y medianas empresas en procesos de transferencia tecnológica y de incorporación de innovaciones (Modina et al., 2024). No obstante, estos mismos estudios advierten que la sola existencia de estructuras de transferencia —oficinas de transferencia de resultados de investigación, incubadoras, parques tecnológicos— no garantiza por sí misma el impacto territorial, si estas no están acompañadas de estrategias pedagógicas que formen a los estudiantes en la lectura de las necesidades reales del entorno.

En este punto se hace evidente la conexión entre los dos ejes analizados en el presente artículo: la investigación formativa que fortalece la apropiación curricular constituye, simultáneamente, la base sobre la cual se forman los futuros profesionales, técnicos y tecnólogos capaces de sostener procesos de CTeI pertinentes para sus territorios. Formar investigando no solo mejora los resultados de aprendizaje individuales; forma ciudadanía científica y capacidad instalada territorial.

Tercera misión universitaria y vinculación con el entorno

La tercera misión universitaria, entendida como el conjunto de actividades mediante las cuales la academia se vincula con su entorno —territorio, empresas, tercer sector, ciudadanía— (García de Fanelli, 2022), constituye el marco institucional en el que se despliegan los procesos de investigación aplicada y de innovación orientados al desarrollo endógeno. Luque-Espinoza de los Monteros et al. (2024) distinguen, dentro de esta tercera misión, entre la vinculación con la sociedad, la extensión universitaria y la transferencia de conocimiento propiamente dicha, precisando que, aunque relacionados, estos conceptos no son sinónimos: mientras la extensión universitaria enfatiza la proyección social y cultural, la vinculación con la sociedad y la transferencia tecnológica se orientan de manera más directa hacia la generación de valor económico y la resolución de problemas productivos.

Un antecedente conceptual relevante para comprender esta tercera misión es la noción de

universidad emprendedora, desarrollada por Guerrero et al. (2014), quienes documentan el impacto económico de las actividades emprendedoras universitarias —creación de spin-offs, patentamiento, formación en emprendimiento— sobre el desarrollo regional. Si bien este estudio proviene de un contexto europeo, sus hallazgos han sido ampliamente retomados en la literatura latinoamericana reciente para argumentar la necesidad de que las IES asuman roles activos en la dinamización económica de sus territorios, sin que ello suponga renunciar a su función formativa y crítica (Zamora-Sánchez et al., 2022).

Zamora-Sánchez et al. (2022) proponen, en este sentido, la necesidad de contar con sistemas de evaluación de los proyectos de vinculación universitaria con la sociedad que permitan medir su impacto real sobre el desarrollo socioeconómico de los territorios, superando la tendencia a evaluar estas actividades únicamente en términos de número de convenios o de actividades de extensión realizadas, sin indicadores de transformación efectiva de las condiciones locales.

Finalmente, cabe destacar que experiencias como las descritas por Ospina y Alzate (2018) en el contexto de la propia Revista Loginn ilustran cómo la asociatividad empresarial, promovida y estudiada desde la academia, puede constituirse en una estrategia concreta de gestión de procesos de desarrollo empresarial orientados a la solución de problemáticas sociales, evidenciando que la producción científica de instituciones como el SENA no es ajena, sino consustancial, a los procesos de desarrollo endógeno de los territorios donde estas instituciones tienen presencia.

DISCUSIÓN

Los hallazgos presentados permiten sostener que la investigación formativa y la innovación educativa no son procesos aislados de la función territorial de la academia, sino que constituyen su condición de posibilidad. En primer lugar, la evidencia analizada muestra una convergencia importante entre los estudios centrados en semilleros de investigación (Castro-Rodríguez, 2022, 2023; Vera Fernández y Fernández Nieto, 2024) y aquellos centrados en el aprendizaje basado en investigación (Osiesi, 2025; Silva-Díaz, 2023): en ambos casos se reconoce que la apropiación curricular efectiva requiere que el estudiante experimente el proceso investigativo, no que lo estudie de manera declarativa. Este consenso, sin embargo, contrasta con la persistencia de modelos curriculares rígidos y con la limitada formación investigativa del profesorado documentada en varios de los estudios revisados, lo cual constituye una tensión no resuelta en la literatura.

En segundo lugar, el análisis evidencia que la relación entre academia y desarrollo endógeno territorial no debe entenderse en términos meramente instrumentales —como transferencia unidireccional de tecnología desde la universidad hacia el territorio—, sino como un proceso de coproducción de conocimiento en el que los actores locales participan activamente en la definición de los problemas a investigar. Esta lectura coincide con los planteamientos de Niembro et al. (2025) sobre la importancia de los lazos de confianza interinstitucional y con los de Poot-Rodríguez et al. (2025) sobre los ecosistemas de innovación social, y permite superar visiones lineales del desarrollo endógeno que lo reducen a la sola presencia física de instituciones académicas en un territorio.

En tercer lugar, resulta significativo que la literatura revisada tienda a abordar por separado los procesos de investigación formativa curricular y los procesos de vinculación territorial, como si se tratara de funciones institucionales distintas gestionadas por dependencias diferentes. El presente artículo sostiene que esta separación es más administrativa que sustantiva: cuando un semillero de

investigación orienta sus proyectos hacia problemáticas productivas o sociales del entorno inmediato, está simultáneamente fortaleciendo la apropiación curricular de sus integrantes y aportando capacidades de CTeI al territorio. Reconocer esta doble función permite a las instituciones de educación superior, y de manera particular a instituciones de formación técnica y tecnológica como el SENA a través de su sistema SENNOVA, diseñar estrategias curriculares que integren, desde el diseño mismo de los programas académicos, proyectos de investigación aplicada con impacto territorial verificable.

Una limitación relevante de la literatura analizada, y que constituye a la vez una oportunidad para futuras investigaciones, es la escasez de estudios que midan de manera longitudinal y con indicadores robustos el impacto territorial efectivo de los procesos de investigación formativa, más allá de indicadores de producción académica. La recomendación de Zamora-Sánchez et al. (2022) de avanzar hacia sistemas de evaluación del impacto socioeconómico real de la vinculación universitaria resulta, en este sentido, plenamente aplicable a los procesos de investigación formativa orientados al desarrollo endógeno territorial.

CONCLUSIÓN

El presente artículo tuvo como propósito analizar la importancia que tiene el desarrollo de actividades investigativas y de innovación para la apropiación de las temáticas del currículo, así como examinar la manera en que, desde la academia, es posible aportar al desarrollo endógeno de los territorios mediante la generación y transferencia de ciencia, tecnología e innovación. A partir de la revisión de veinticinco fuentes académicas recientes, se concluye, en primer lugar, que la investigación formativa —materializada en estrategias como los semilleros de investigación y el aprendizaje basado en investigación— constituye un mecanismo pedagógico eficaz para transformar el currículo en una experiencia significativa, en la medida en que sitúa al estudiante como productor activo de conocimiento y no como receptor pasivo de contenidos disciplinares.

En segundo lugar, se concluye que el desarrollo endógeno territorial no es una consecuencia automática de la presencia institucional de la academia en un territorio, sino el resultado de procesos deliberados de vinculación, coproducción de conocimiento y apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación, sostenidos en el tiempo y respaldados por relaciones de confianza interinstitucional. La tercera misión universitaria, en sus distintas expresiones —extensión, vinculación con la sociedad, transferencia tecnológica—, constituye el marco institucional necesario para canalizar estos procesos, aunque su efectividad depende de que existan sistemas de evaluación de impacto que trasciendan los indicadores meramente administrativos.

En tercer lugar, y como principal aporte del presente artículo, se sostiene que la investigación formativa orientada a la apropiación curricular y la vinculación territorial orientada al desarrollo endógeno no constituyen funciones institucionales separadas, sino dos caras de un mismo proceso: formar investigando problemáticas reales del entorno es, simultáneamente, la estrategia pedagógica más efectiva para la apropiación del currículo y el mecanismo más directo mediante el cual la academia aporta capacidades de ciencia, tecnología e innovación a sus territorios. Esta lectura integradora resulta especialmente pertinente para instituciones de formación técnica y tecnológica como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), cuyo sistema SENNOVA articula de manera explícita la formación, la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico regional.

Como líneas futuras de investigación se sugiere, en primer lugar, el diseño y validación de

indicadores que permitan medir de manera longitudinal el impacto territorial de los proyectos derivados de semilleros de investigación y estrategias de aprendizaje basado en investigación, más allá de los indicadores tradicionales de producción académica. En segundo lugar, se recomienda profundizar en estudios de caso que documenten experiencias concretas de articulación curricular con proyectos de innovación territorial en contextos de formación técnica y tecnológica, particularmente en regiones con altos niveles de informalidad económica, como ocurre en buena parte del territorio colombiano. Finalmente, se sugiere explorar, desde una perspectiva comparada, los factores institucionales —gobernanza, financiamiento, formación docente— que explican por qué algunas experiencias de vinculación academia-territorio logran sostenerse en el tiempo mientras otras se diluyen tras el cambio de liderazgos técnicos o administrativos.

Declaración sobre conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés sobre el artículo. Además, la autora declara no tener ningún conflicto de interés con instituciones financiadoras, de apoyo o de cualquier otra índole que haya podido incidir en los resultados obtenidos o en las interpretaciones propuestas en el presente artículo. El desarrollo y la redacción del manuscrito se realizaron de manera independiente, dando cumplimiento a los principios éticos de originalidad, rigor metodológico y respeto por la propiedad intelectual de las fuentes consultadas

Referencias Bibliográficas

Aguirre Pérez, J. H., y Herrera Avendaño, C. E. (2025). Desarrollo endógeno con enfoque territorial: un modelo para la sostenibilidad y la inclusión. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(2), 8258-8276. https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/17550

Atenas, J., Havemann, L., Rodés, V., y Podetti, M. (2023). Critical data literacy in praxis: An open education approach for academic development. Edutec, 84, 49-67.

Bernate, J., y Fonseca, I. (2023). Impacto de las tecnologías de información y comunicación en la educación del siglo XXI: revisión bibliométrica. Revista de Ciencias Sociales, 29(1), 227-242. https://doi.org/10.31876/rcs.v29i1.39748

Bernate, J., y Vargas, J. (2020). Desafíos y tendencias del siglo XXI en la educación superior. Revista de Ciencias Sociales, 26(Especial 2), 245-259.

Castro-Rodríguez, Y. (2022). Revisión sistemática sobre los semilleros de investigación universitarios como intervención formativa. Propósitos y Representaciones, 10(2), e873. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-79992022000200001

Castro-Rodríguez, Y. (2023). Las sociedades científicas estudiantiles y los semilleros de investigación: definiciones, objetivos, roles y organización. Investigación en Educación Médica, 12(46), 93-100. https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2023.46.22491

Domínguez, P., Oliveros, M., Coronado, M., y Valdez, B. (2019). Retos de ingeniería: enfoque educativo

STEM+A en la revolución industrial 4.0. Revista Innovación Educativa, 19(80), 15-32. https://www.redalyc.org/journal/1794/179462794002/

Flores, H. F., Blácido, I. R., Henostroza, S. L. P., Baquerizo, P. A. S., y Tueros, H. R. A. (2022). La investigación formativa como estrategia didáctica para el fortalecimiento del aprendizaje en estudiantes universitarios. Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores, 9(2), 1-18. https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i2.3113

García, M., y Oliveira, A. (2023). Industria 4.0: ¿una nueva revolución tecnológica? Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, 74(2).

García de Fanelli, A. M. (2022). La tercera misión de la universidad y sus múltiples sentidos en América Latina. Revista de Educación Superior del Sur Global, 9(2), 45-67.

Gaviria-Velásquez, M. M., y Mejía-Correa, A. M. (2021). Apropiación social de la ciencia y comunicación pública del conocimiento, dos actividades inherentes a la investigación universitaria. Revista Interamericana de Bibliotecología, 44(3), e343603. https://doi.org/10.17533/udea.rib.v44n3e343603

Gesto Rodríguez, J. (2023). Retos y perspectivas del desarrollo territorial sostenible en América Latina. Revista En Prospectiva, 4(2), 77-95. https://revista.uny.edu.ve/ojs/index.php/en-prospectiva/article/view/300

González, J. A., y Medina, J. (2022). Investigación y formación: un diálogo necesario. Revista Educación, 46(1), 1-25. https://doi.org/10.15517/revedu.v46i1.45411

González Meyer, R., y Micheletti, S. (2021). El desarrollo local endógeno en tiempos de globalización: aproximaciones teóricas y desafíos prácticos. CUHSO, 31(2), 354-381.

Guerrero, M., Cunningham, J. A., y Urbano, D. (2014). Economic impact of entrepreneurial universities' activities: An exploratory study of the United Kingdom. Research Policy.

Luque-Espinoza de los Monteros, M. del P., Pupo-Cejas, Y., y Alfonso-Moreira, Y. (2024). Vinculación con la sociedad, extensión universitaria o tercera misión: ¿cuál es la diferencia? Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 7(2), 42-49. https://doi.org/10.62452/k5wpz720

Modina, M., Capalbo, F., Sorrentino, M., Ianiro, G., y Khan, M. F. (2024). Innovation ecosystems: a comparison between university spin-off firms and innovative start-ups. Evidence from Italy. International Entrepreneurship and Management Journal, 20(2).

Niembro, A., Calá, D., Lepratte, L., y Starobinsky, G. (2025). Asimetrías territoriales de ciencia, tecnología e innovación. Ciencia, Poder y Sociedad, 2(1). https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/4503/1/niembro-etal-2025.pdf

Nolazco-Labajos, F. A., Guerrero, M. A., Carhuancho-Mendoza, I. M., y Saravia, G. D. P. (2022). Competencia investigativa estudiantil durante la pandemia. Revista de Ciencias Sociales, 28(Especial 6), 228-243.

https://doi.org/10.31876/rcs.v28i.38834

Osiesi, I. E. (2025). Pedagogical innovation and faculty development in higher education: An integrative review. Teaching and Teacher Education: Leadership and Professional Development, 4, Artículo 100044. https://doi.org/10.1016/j.tatelp.2025.100044

Ospina, P. A., y Alzate, C. J. (2018). La asociatividad como estrategia para gestionar los procesos de desarrollo empresarial y solución a problemáticas sociales. Loginn, 2(1), 8-14. https://doi.org/10.23850/25907441.1669

Poot-Rodríguez, K. J., Mercado-Salgado, P., Hernández-Peñaloza, N., y Cuevas-Sanabria, J. (2025). Ecosistema de innovación social del mezcal mexiquense y la Denominación de Origen. Convergencia Revista de Ciencias Sociales, 32.

Silva-Díaz, F. (2023). Introducing virtual reality and emerging technologies in a design-based research. Education Sciences, 13(10), Artículo 1044. https://www.mdpi.com/2227-7102/13/10/1044

Vera Fernández, C. G., y Fernández Nieto, E. L. (2024). «Los semilleros de investigación» hacia la consolidación de una cultura investigativa en el contexto universitario. Revisión de literatura 2017-2023. Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería, 12(2), 204-214.

Zamora-Sánchez, R., Rodríguez-Castellanos, A., y Barrutia-Güenaga, J. (2022). Universidades y desarrollo socioeconómico: una propuesta de evaluación de sus proyectos de vinculación con la sociedad. Problemas del Desarrollo, 53(210), 181-205.

ISSN WEB: 2590-7441

REVISTA LOGINN

Investigación Científica y Tecnológica

https://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG