



**FACTORES HABILITANTES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y LA INDUSTRIA 5.0 EN
EL SECTOR FORESTAL DE COLOMBIA
(ENABLING FACTORS OF THE CIRCULAR ECONOMY AND INDUSTRY 5.0 IN THE
FOREST SECTOR OF COLOMBIA)**

Hugo Enrique Sandoval Jure

hsandoval@infotep.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-1047-4376>

Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional - INFOTEP,

Pablo Tadeo Andrade Palacios

pabloandradetadeo@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0001-9893-8838>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN, Colombia

Recibido: enero 2025 Aprobado: febrero: 2025 Publicado: marzo 2025

Cómo citar: Sandoval H. y Andrade P. (2025). Factores habilitantes de la economía circular y la industria 5.0 en el sector forestal de Colombia. *Revista Electrónica Arbitrada del Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 22 (2), Venezolana.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar los factores habilitantes de la Economía Circular e Industria 5.0 en el sector forestal en Colombia. Con este propósito, se llevó a cabo un estudio bajo el enfoque epistémico positivista, dentro del paradigma cuantitativo y con un diseño descriptivo. Las fuentes de información incluyeron el Boletín Estadístico Forestal 2022 del Ministerio de Agricultura (Minagricultura), el Sexto Reporte sobre la Economía Circular en Colombia 2022 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y los Informes Departamentales de Competitividad 2022 y 2023 del Consejo Privado de Competitividad. El análisis de los resultados se basó en la evolución temporal de varios indicadores de economía circular, junto con indicadores específicos de competitividad en la Industria 5.0. Los hallazgos evidencian avances significativos en la reducción del consumo de productos forestales en el marco de la economía circular, mientras que en la Industria 5.0 persisten desafíos de competitividad en los departamentos con mayor número de plantaciones forestales destinadas al uso comercial.

Palabras clave: economía circular, industria 5.0, sector forestal, consumo, competitividad.



ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the enabling factors of the Circular Economy and Industry 5.0 in the forestry sector in Colombia. For this purpose, a study was carried out under the positivist epistemic approach, within the quantitative paradigm and with a descriptive design. The sources of information included the Forest Statistical Bulletin 2022 of the Ministry of Agriculture (Minagricultura), the Sixth Report on the Circular Economy in Colombia 2022 of the National Administrative Department of Statistics (DANE) and the Departmental Competitiveness Reports 2022 and 2023 of the Private Competitiveness Council. The analysis of the results was based on the temporal evolution of several circular economy indicators, together with specific indicators of competitiveness in Industry 5.0. The findings show significant progress in reducing the consumption of forest products within the framework of the circular economy, while in Industry 5.0 competitiveness challenges persist in the departments with the largest number of forest plantations intended for commercial use.

Keywords: circular economy, Industry 5.0, forestry sector, consumption, competitiveness.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las empresas desarrollan sus actividades económicas en un entorno globalizado, interconectado y altamente competitivo, caracterizado por estrictas regulaciones ambientales, económicas y sociales, que dificultan la sostenibilidad y rentabilidad de dichas organizaciones productivas en el mediano y largo plazo. Esta situación obliga a la adopción de estrategias disruptivas sustentadas en los últimos avances tecnológicos, así como también en la optimización en cuanto a la captación, transformación y reaprovechamiento de materiales a lo largo de toda la cadena de suministro.

Bajo este contexto, la economía circular y la industria 5.0 emergen como alternativas viables para articular productividad y sustentabilidad en distintos sectores económicos que dependen del uso intensivo de recursos naturales, como el forestal. En Colombia, este sector podría beneficiarse de estos enfoques mediante la integración de tecnologías avanzadas, como la robótica y la inteligencia artificial, junto con prácticas sostenibles que promuevan una transformación significativa basada en la eficiencia y la conservación de los recursos.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La transición hacia una economía circular y la adopción de la industria 5.0 en el sector forestal colombiano requieren la identificación de factores habilitantes que favorezcan su implementación. Estos enfoques buscan optimizar el uso de los recursos, minimizar el impacto ambiental y mejorar la competitividad a través de la integración de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles. Comprender los elementos que facilitan esta transformación resulta clave para diseñar estrategias que impulsen un desarrollo forestal más eficiente, resiliente e innovador.



Sector forestal

El boletín forestal de Minagricultura (2022) señala que, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el sector forestal abarca todas las actividades económicas basadas en la producción de bienes y servicios provenientes de bosques y plantaciones forestales. Este sector incluye actividades comerciales relacionadas con la obtención de fibra de madera, madera en rollo industrial, leña, carbón vegetal, madera aserrada, paneles a base de madera, pulpa y papel. También engloba la fabricación de muebles de madera, el procesamiento de productos forestales no madereros con fines comerciales y el aprovechamiento de estos recursos para subsistencia.

En tal sentido, el Observatorio del Sector Forestal en Colombia, explica que a la definición del sector forestal de la FAO se le deben adicionar los elementos de producción forestal incluidos en los modelos de producción agroforestal y la normativa aplicable a las actividades nombradas, además de las políticas y sus medios de implementación (mecanismos de financiación).

Economía circular

Prieto et al. (2017) definen la economía circular como un paradigma orientado a generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, contribuyendo así al desarrollo sostenible. Para ello, integra los principios de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad y la preservación del entorno. Este enfoque promueve el desarrollo sostenible mediante la implementación de diversas estrategias a lo largo de toda la cadena de producción y uso de bienes y servicios.

En tal sentido, Kirchherr et al. (2017) explican que la economía circular se caracteriza por estar centrada en promover la reutilización, reciclaje, reaprovechamiento de productos mediante flujos cerrados de materiales y energías, además destacan lo importante de la inclusión de los factores sociales, económicos y ambientales en el desarrollo e implementación de este tipo de prácticas.

Cerdá y Khalilova (2016) sostienen que la economía circular constituye un enfoque donde la actividad económica se vincula con la sostenibilidad ambiental, orientado a optimizar el uso de recursos a través del reciclaje y la reutilización de productos, ya sean terminados, en proceso o sin transformación. Los autores identifican tres principios fundamentales en los cuales se sustenta este modelo:

Principio 1: la preservación y el aumento del capital natural dependen del control sobre inventarios finitos y del equilibrio en el flujo de recursos renovables. Este enfoque permite al sistema seleccionar de manera estratégica tecnologías y procesos que maximicen el rendimiento en su aprovechamiento.

Principio 2: la optimización del rendimiento de los recursos se basa en la circulación de productos, componentes y materiales en el nivel más alto de utilidad dentro de sus



ciclos técnicos y biológicos. Este principio implica el diseño orientado a la reelaboración y el reciclaje, garantizando la constante circulación de nutrientes en el sistema y prolongando la vida útil de los productos.

Principio 3: la promoción de la efectividad del sistema se centra en la protección de patentes y en la reducción de externalidades negativas que afectan tanto a las personas como al medio ambiente. Esto supone minimizar los impactos en áreas esenciales como alimentación, movilidad, vivienda, educación, salud y entretenimiento, además de gestionar de forma eficiente problemas como la contaminación del aire, agua y suelo, el ruido, las emisiones de sustancias tóxicas y el cambio climático.

Galeano (2022) señala que la economía circular se distingue por varios aspectos fundamentales: 1) Pensamiento en sistemas: comprende la interacción entre las partes dentro de un proceso, así como la relación del conjunto con cada uno de sus elementos. En este enfoque, los sistemas no siguen una estructura lineal, ya que todos sus componentes se retroalimentan. 2) Diseño sin residuos: promueve el desarrollo de productos capaces de integrarse en un ciclo productivo, permitiendo su desmontaje y readaptación para un nuevo uso. 3) Uso de energías renovables: la fuente principal de energía en estos sistemas debe provenir de recursos renovables, asegurando sostenibilidad a largo plazo. 4) Pensamiento en cascada: consiste en aportar valor a materiales y productos mediante su reutilización en distintas aplicaciones antes de su disposición final. 5) Aumento de resiliencia: la diversidad en los componentes de un sistema circular fortalece su capacidad para resistir impactos externos, garantizando mayor estabilidad y adaptación.

Según el Boletín de la Confederación de Empresarios de Navarra - CEN (2014), los beneficios de la economía circular se manifiestan en una reducción de gastos en materias primas, debido al aumento en el tiempo de uso o periodo de vida útil de los artículos lo que conlleva a la disminución en el consumo de energía, mano de obra y materias primas entre otros aspectos. Por otra parte, se utilizan los recursos del sistema de manera eficiente mientras sean útiles, siendo una consecuencia directa del pensamiento en cascada, evitando el ingreso del círculo productivo de nuevas materias primas. Así mismo, dicha confederación señala que los sistemas de desarrollo económico circular podrían llegar a reducir el consumo de materias primas para el 2030 en un 32 % y para el 2050 en un 53 % en diversos sectores productivos.

Antecedentes históricos de la industria

Para analizar la Industria 5.0, resulta fundamental revisar los antecedentes históricos que dieron lugar a su origen, comenzando por el concepto de Revolución Industrial. Este período se caracteriza por transformaciones profundas en los ámbitos económico, social y tecnológico, iniciado en el siglo XVIII en el Reino de Gran Bretaña. Posteriormente, su impacto se expandió por Europa y Estados Unidos, prolongándose hasta mediados del siglo XIX y principios del siglo XX.



Transición de la industria 4.0 a la industria 5.0

Resulta complejo abordar la Industria 5.0 como la próxima generación de prácticas industriales cuando aún persisten desafíos sin resolver en la Industria 4.0, entre ellos problemas de liderazgo, madurez y soluciones tecnológicas. La migración total del mundo físico al entorno digital, mediante el uso adecuado de sistemas informáticos y tecnología, representa una de sus principales aspiraciones; no obstante, muchas empresas todavía están lejos de alcanzarla. Por esta razón, la adopción de la siguiente fase de la revolución industrial ocurrirá de manera gradual, a medida que las organizaciones fortalezcan su visibilidad y capacidad de respuesta, permitiéndoles evolucionar hacia un enfoque que trascienda la eficiencia y la productividad como únicos objetivos.

A pesar de que la pandemia de COVID-19 en 2020 aceleró la transformación digital, Moosavi et al. (2021) señalan que la implementación de la Industria 4.0 aún se encuentra en una fase exploratoria para muchas empresas a nivel mundial. Estas organizaciones no tienen claridad sobre la manera de integrar conceptos tecnológicos en sus procesos, ya que sus capacidades siguen siendo insuficientes para adoptar plenamente las nuevas tecnologías. Como resultado, se ha generado un prolongado proceso de ensayo y error, evidenciando la necesidad de capacitar al personal para facilitar la digitalización en sus operaciones (Carrillo et al., 2020).

A estos desafíos se suman la escasez de trabajadores calificados, la resistencia interna de los empleados al cambio y las preocupaciones sobre seguridad cibernética, factores que actualmente representan barreras significativas cuando la alta dirección no está preparada para gestionarlos (Surange et al., 2021). Ante esta situación, el sector industrial debe reinventarse y ajustarse a la nueva realidad mediante la adopción no solo de tecnologías digitales, sino también de soluciones ecológicas. Esto cobra especial relevancia considerando que la Industria 4.0 ha priorizado la digitalización y las tecnologías disruptivas por encima de la justicia social y la sostenibilidad (Xu et al., 2021).

Industria 5.0

Según Demir et al. (2019), actualmente no existe un consenso claro sobre el significado y el alcance de la Industria 5.0. No obstante, se ha comenzado a asociar con el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial (IA) a partir de dos enfoques principales. El primero describe una colaboración sincrónica y activa entre robots y seres humanos, permitiendo una complementariedad que combina la creatividad humana con la capacidad de trabajo automatizado. El segundo enfoque se relaciona con la bioeconomía, entendida como el uso inteligente de recursos biológicos para fines industriales, buscando un equilibrio sostenible entre ecología, industria y economía (Demir y Cicibas, 2017).

Elfar et al. (2021) señalan que, ante la creciente restricción en el suministro de combustibles fósiles, la demanda de fuentes de energía limpias, asequibles y sostenibles ha incrementado. En este contexto, el uso de bioenergía o biocombustibles surge como una alternativa viable dentro de las fuentes de energía verde.



Por otro lado, Sachsenmeier (2016) vincula la Industria 5.0 con el desarrollo de la biónica, entendida como la imitación o abstracción de las innovaciones de la naturaleza mediante nuevos procesos, materiales y un manejo más sostenible de los recursos naturales. Asimismo, Muller (2020) clasifica seis tipos de tecnologías disruptivas asociadas a la Industria 5.0: (1) tecnologías centradas en el ser humano e interacción hombre-máquina, combinando sus fortalezas; (2) tecnologías bioinspiradas y materiales inteligentes; (3) tecnologías digitales en tiempo real para simulación y modelado de sistemas complejos; (4) tecnologías de transmisión, almacenamiento y análisis de datos cibernéticos; (5) inteligencia artificial; y (6) tecnologías para eficiencia energética y autonomía confiable

Breque et al. (2021) señalan que las tecnologías emergentes en la Industria 5.0 buscan que el sector industrial alcance objetivos sociales fundamentados en tres valores esenciales: (1) el ser humano, priorizando sus necesidades e intereses y ubicándolo en el centro del proceso productivo; (2) la sostenibilidad, promoviendo procesos circulares que reutilicen y reciclen recursos naturales, minimicen residuos y reduzcan el impacto ambiental con una mayor eficiencia; y (3) la resiliencia, fortaleciendo la capacidad de las empresas y la sociedad para enfrentar disrupciones y eventos imprevistos en tiempos de crisis e incertidumbre.

En este contexto, De los Santos (2021) destaca que la Industria 5.0 se percibe como un nuevo motor de innovación enfocado en generar valor mediante una producción más eficiente y sostenible. Adicionalmente, esta perspectiva está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (2015), con especial énfasis en el ODS 8, que promueve un crecimiento económico inclusivo y sostenible con mejores condiciones laborales, y el ODS 9, que impulsa una industrialización inclusiva, sostenible y menos contaminante mediante la innovación.

Por su parte, Johansson (2017) sostiene que la cercanía temporal entre la Industria 4.0 y la Industria 5.0 permite considerarlas como una misma evolución que se actualiza y perfecciona con base en su propio desarrollo. Mientras que la Industria 4.0 se centró en dotar a la producción inteligente con redes de internet, sensores, drones y otras tecnologías digitales, la Industria 5.0 se proyecta con un enfoque diferenciado, destacando la personalización masiva y el diseño de nuevas experiencias tecnológicas.

Breque et al. (2021) destacan que la Industria 5.0 no debe ser vista como una alternativa a los paradigmas de la Industria 4.0, sino como una evolución que la complementa y amplía, incorporando factores no solo económicos y tecnológicos, sino también ambientales y sociales. En este sentido, la Industria 5.0 surge como un ejercicio prospectivo que busca la coexistencia de la industria con las tendencias y necesidades emergentes de la sociedad actual y futura.

En este contexto, la necesidad de profundizar en el conocimiento y la comprensión del papel del factor humano en conjunto con la tecnología se vuelve fundamental. Por ello, uno de los principales desafíos de esta nueva era digital es preparar al personal de las empresas y a la sociedad en general a través de una educación, capacitación y motivación



adecuadas en distintos ámbitos, incluyendo escuelas, universidades, empresas, la sociedad civil y el propio gobierno.

METODOLOGÍA

Para cumplir con el propósito enunciado en la parte anterior, se realiza una investigación que se enmarca epistemológicamente en el enfoque positivista, en el cual se aborda la situación problema mediante el paradigma cuantitativo. Así mismo, el diseño de la investigación es no experimental, de tipo descriptiva, transversal para el análisis asociado a la industria 5.0, teniendo como población los departamentos de Colombia y como muestra los seis primeros departamentos con mayor número de hectáreas con plantaciones forestales comerciales para año 2022. En el caso del análisis de la economía circular es de tipo longitudinal porque se analiza la evolución de algunos indicadores en el tiempo. Finalmente, en el análisis de los resultados se aplicará el método comparativo de índices de competitividad.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los factores habilitantes de la economía circular y la industria 5.0 en el sector forestal colombiano. Los resultados permiten identificar patrones, tendencias y diferencias significativas entre los departamentos con mayor número de plantaciones forestales para uso comercial. Además, se examina el impacto de estos factores en la competitividad y sostenibilidad del sector, proporcionando información clave para la formulación de estrategias que promuevan la transición hacia un modelo más eficiente e innovador.

Indicadores de economía circular en el sector forestal en Colombia

Consumo per cápita de leña: este indicador representa la cantidad de toneladas anuales de leña consumidas en Colombia por cada 1.000 habitantes (t / mh) y la tabla 1 muestra su comportamiento durante el periodo comprendido entre 2005 y 2020.

Tabla 1
Consumo per cápita de leña en Colombia (2005-2020)

Año	Toneladas / 1000 habitantes
2005	219,22
2006	214,04
2007	208,10
2008	202,11
2009	196,01
2010	189,76
2011	183,46
2012	177,13
2013	170,74

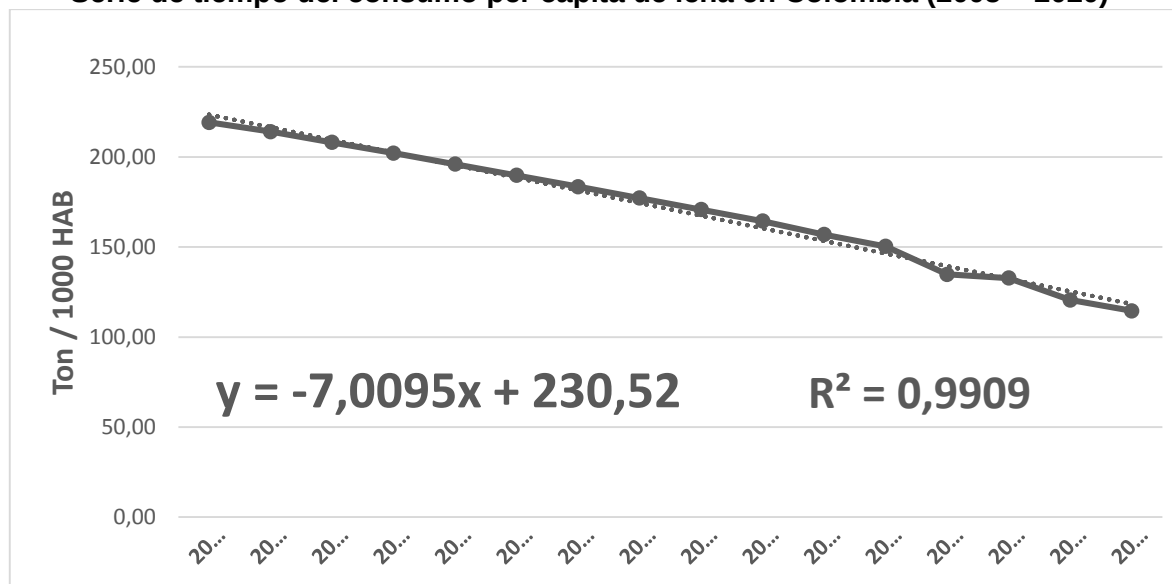
2014	164,39
2015	156,93
2016	150,36
2017	134,77
2018	132,77
2019	120,61
2020	114,56

Nota. Adaptado del Sexto Reporte de Economía Circular en Colombia (DANE, 2022).

Al analizar los resultados contenidos en la tabla 1, se puede establecer un consumo promedio de leña anual de 170,94 t / mh, así mismo se evidencia una caída significativa del 47% en el consumo al pasar de 219,22 t / mh a 114,56 t / mh en el periodo 2005 a 2020 para una diferencia neta de 114,56 t / mh.

El comportamiento gráfico de este indicador, se puede contemplar en la figura 1, en donde la pendiente negativa de la ecuación lineal que modela la serie de los datos representa una reducción en el consumo per cápita de leña de 7 toneladas por cada año transcurrido, además el alto valor en el coeficiente R^2 del 0,99 significa que las variaciones reportadas en los datos son explicadas en un 99% por la ecuación de regresión.

Figura 1
Serie de tiempo del consumo per cápita de leña en Colombia (2005 – 2020)



Nota. La gráfica muestra la evolución del consumo per cápita de leña en Colombia entre 2005 y 2020. La línea de puntos representa la tendencia obtenida mediante regresión lineal simple.

Consumo per cápita de productos del bosque: este indicador representa la cantidad de toneladas anuales de productos del bosque (forestales maderables y no maderables),

consumidos en Colombia por cada 1.000 habitantes (t / mh) y la tabla 2 muestra su comportamiento durante el periodo comprendido entre 2005 y 2020. Los datos contenidos en la tabla 2, muestran un consumo promedio anual de productos del bosque de 222,61 t / mh, también se distingue una caída significativa en el consumo del 38%, debido a que pasó de 267,95 t / mh en 2005 a 165,85 t / mh en el 2020 para una diferencia total de 102,05 t / mh.

Tabla 2
Consumo per cápita de productos del bosque en Colombia (2005 – 2020)

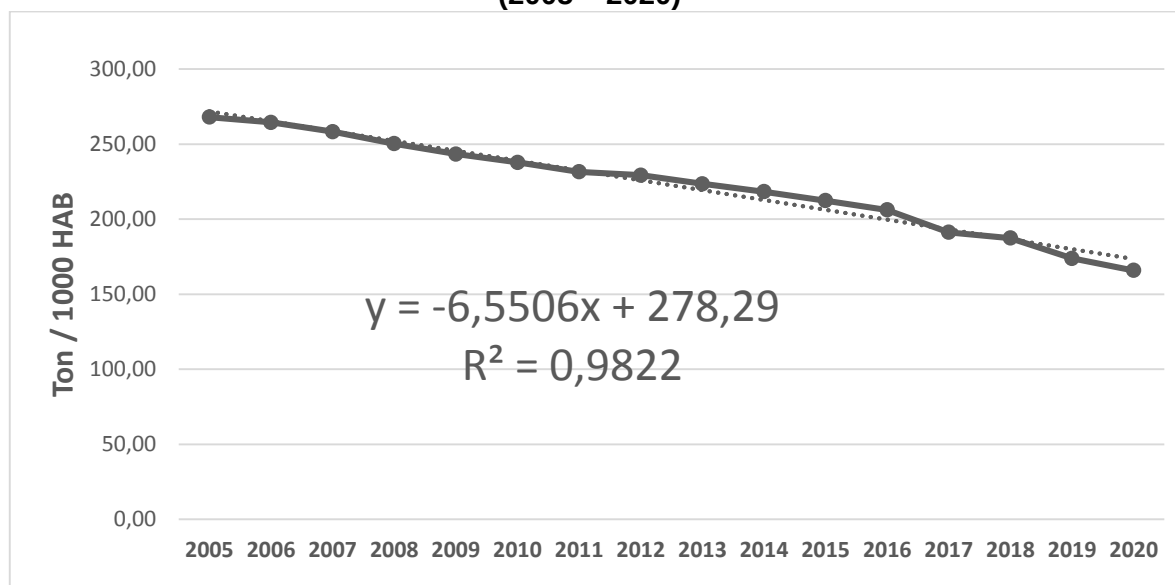
Año	toneladas / 1000 habitantes
2005	267,95
2006	264,50
2007	258,27
2008	250,30
2009	243,31
2010	237,85
2011	231,56
2012	229,34
2013	223,52
2014	218,32
2015	212,34
2016	206,11
2017	191,27
2018	187,34
2019	173,89
2020	165,85

Nota. Adaptado del Sexto Reporte de Economía Circular en Colombia (DANE, 2022).

El comportamiento gráfico de este indicador se puede observar en la figura 2, donde la pendiente negativa de la ecuación lineal de la serie de datos refleja una disminución progresiva en el consumo per cápita de productos del bosque. Específicamente, la tendencia muestra una reducción de 6,5 toneladas por cada año transcurrido, lo que indica una disminución sostenida en el tiempo. Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,98$) evidencia que el modelo lineal explica el 98% de la variabilidad de los datos, lo que confirma la consistencia y precisión de la tendencia observada.

Este resultado sugiere la presencia de factores estructurales y políticas que han incidido en la reducción del consumo de productos del bosque, reflejando una transformación en la dinámica del sector forestal. Entre estos factores se destacan cambios en los patrones de aprovechamiento forestal, impulsados por una mayor conciencia ambiental y regulaciones más estrictas. Además, la implementación de estrategias de sostenibilidad ha promovido un uso más racional de los recursos, fomentando prácticas responsables en la industria.

Figura 2
Serie de tiempo del consumo per cápita de productos del bosque en Colombia
(2005 – 2020)



Nota. La gráfica muestra la evolución del consumo per cápita de productos del bosque en Colombia entre 2005 y 2020. La línea de puntos representa la tendencia obtenida mediante regresión lineal simple.

Consumo intermedio de productos del bosque por actividad económica: este indicador se caracteriza por representar el flujo de productos forestales, tanto maderables como no maderables, que son utilizados en distintos sectores de la economía. Dentro de los productos maderables se encuentran los troncos de madera y la leña, mientras que los no maderables incluyen el caucho, el látex natural y otros productos forestales diferentes a la madera. Estos recursos, una vez extraídos del ambiente, se convierten en insumos fundamentales para la producción de diversos bienes y servicios, desempeñando un papel clave en la sostenibilidad y el desarrollo económico. Su aprovechamiento debe estar sujeto a regulaciones ambientales que permitan garantizar su disponibilidad a largo plazo. La Tabla 3 muestra el comportamiento de estos productos durante el periodo comprendido entre 2005 y 2020.

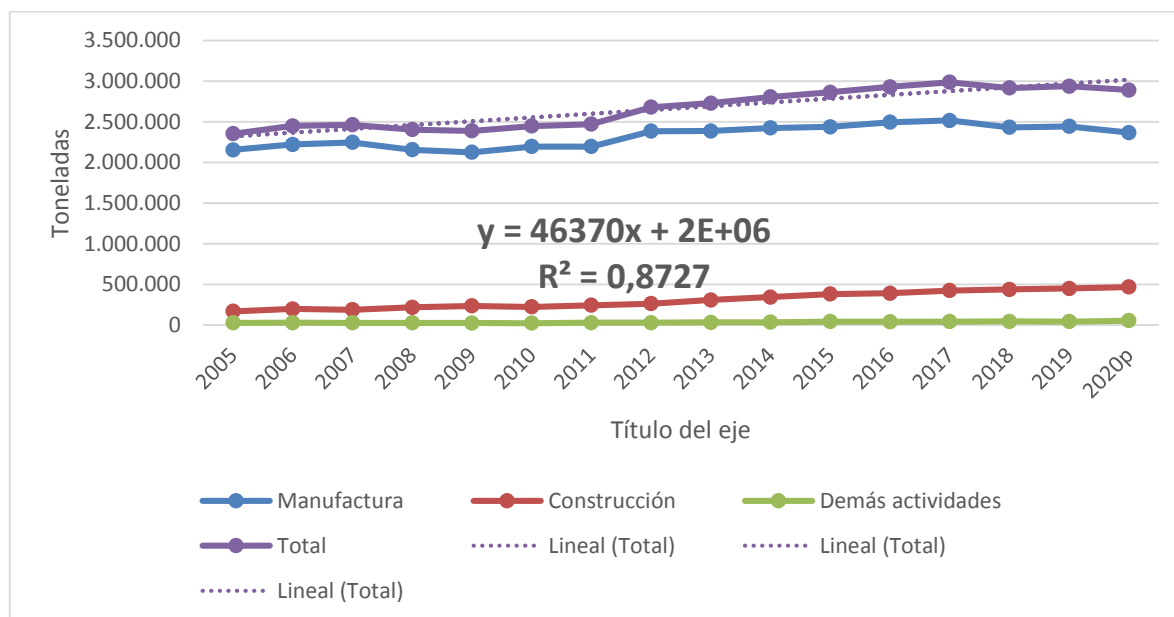
Tabla 3
Consumo intermedio en toneladas de productos del bosque para manufactura, construcción y demás actividades en Colombia (2005 – 2020)

Año	Manufactura	Construcción	Demás actividades	Total
2005	2.155.247	170.558	29.258	2.355.063
2006	2.222.157	198.615	31.100	2.451.872
2007	2.247.501	188.794	29.235	2.465.530
2008	2.158.093	219.400	27.891	2.405.384
2009	2.126.708	237.365	26.441	2.390.514
2010	2.198.216	225.316	25.180	2.448.712
2011	2.197.315	245.711	29.636	2.472.662
2012	2.385.302	264.872	30.569	2.680.743
2013	2.387.676	309.136	33.937	2.730.749
2014	2.424.788	345.508	37.032	2.807.328
2015	2.439.518	381.983	43.431	2.864.932
2016	2.496.833	391.440	42.423	2.930.696
2017	2.518.408	425.749	43.556	2.987.713
2018	2.432.472	439.057	46.466	2.917.995
2019	2.445.235	450.577	44.079	2.939.891
2020	2.368.095	468.208	55.638	2.891.941

Nota. Adaptado del Sexto Reporte de Economía Circular en Colombia (DANE, 2022).

En relación con la información condensada en la tabla 3, se puede explicar que el consumo total en toneladas de productos intermedios del bosque en Colombia ha crecido en un 22% al pasar de 2.355.063 toneladas a 2.891.941 toneladas en el periodo de 2005 a 2020, por otra parte, la actividad económica más demanda en este tipo de productos es la relacionada con la manufactura con un consumo promedio de 2.325.223 toneladas por año, luego le sigue el sector de la construcción con un promedio anual de 310.143 toneladas y por ultimo las actividades como agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, e información y comunicaciones condensadas en la tabla como demás actividades económicas con un promedio de 35.992 toneladas por año.

Figura 3
Serie de tiempo de los consumos intermedios de productos del bosque según actividad económica en Colombia (2005 – 2020)



Nota. La gráfica muestra la evolución de los consumos intermedios de productos del bosque según actividad económica en Colombia entre 2005 y 2020. La línea de puntos representa la tendencia obtenida mediante regresión lineal simple.

La ecuación de regresión para el consumo intermedio total de productos del bosque mostrada en la figura 3, tiene una pendiente positiva representando un incremento anual de 46.370 toneladas por cada año que transcurre en la serie; así mismo, la variabilidad de los datos es explicada por dicha ecuación en un 87,27% de acuerdo al coeficiente R^2 .

Intensidad del uso de productos del bosque por actividad económica: el indicador permite identificar las actividades más o menos intensivas, asimismo posibilita vigilar la eficiencia en el uso de los productos del bosque por parte de estas. La intensidad representa las toneladas anuales (t) de productos maderables y no maderables requeridas para la generación de cada mil millones de pesos (mm) de valor agregado (t / mm). Es importante recordar que habrá una mejora en la eficiencia de un año a otro, siempre y cuando se requiera una menor cantidad de productos del bosque por cada mil millones de pesos de valor agregado.

Tabla 4
Intensidad del uso de productos del bosque por actividad económica en Colombia en toneladas por cada 1.000 millones de pesos.

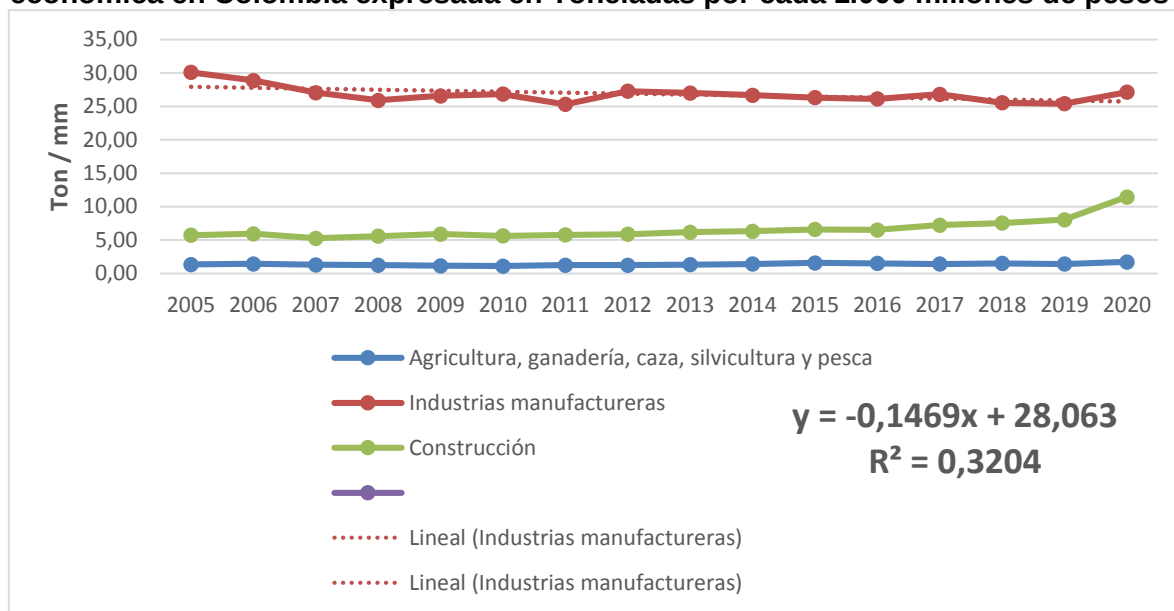
Actividad económica	Demás sectores	Industrias manufactureras	Construcción
2005	1,34	30,11	5,72
2006	1,43	28,87	5,94
2007	1,29	27,07	5,28
2008	1,26	25,91	5,58
2009	1,15	26,58	5,89
2010	1,10	26,84	5,63
2011	1,26	25,32	5,78
2012	1,26	27,28	5,88
2013	1,32	27,01	6,17
2014	1,41	26,67	6,33
2015	1,59	26,32	6,58
2016	1,50	26,12	6,51
2017	1,42	26,82	7,23
2018	1,50	25,56	7,55
2019	1,41	25,42	8,06
2020	1,72	27,14	11,44

Nota. Adaptado del Sexto Reporte de Economía Circular en Colombia (DANE, 2022).

Al analizar la información de las series contenidas en la tabla 4 se puede establecer que el sector con mayor consumo es el de la industria manufacturera con promedio anual de 26,82 t / mm y el de menor lo constituyen las actividades condensadas como demás actividades (agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, e información y comunicaciones) con un promedio de 6,6 t / mm por año.

Figura 4

Serie de tiempo de la intensidad del uso de productos del bosque, según actividad económica en Colombia expresada en Toneladas por cada 1.000 millones de pesos



Nota. La gráfica muestra la evolución de la intensidad del uso de productos del bosque según actividad económica en Colombia entre 2005 y 2020. La línea de puntos representa la tendencia obtenida mediante regresión lineal simple.

La línea de tendencia de la industria manufacturera muestra una pendiente negativa, indicando una reducción de 0,14 t/mm anualmente. El coeficiente de determinación (R^2) revela que la serie explica el 32 % de la variabilidad en los datos. Esta disminución sugiere cambios en la producción o el consumo de materias primas dentro del sector. Factores como políticas ambientales, innovaciones tecnológicas o variaciones en la demanda podrían influir en esta tendencia. Un análisis detallado permitiría comprender mejor las causas subyacentes y su impacto en la economía.

Indicadores de los factores habilitantes de la industria 5.0 en el sector forestal de Colombia

Para el análisis de los factores de competitividad habilitantes para la industria 5.0 en el sector forestal colombiano se procedió a la identificación de las regiones con mayores explotaciones legal de madera, mediante la información consignada en el boletín forestal del 2022, la cual se muestra a continuación en la tabla.

Tabla 5
Posiciones en ranking de competitividad para los seis departamentos con mayor número de plantaciones forestales para uso comercial

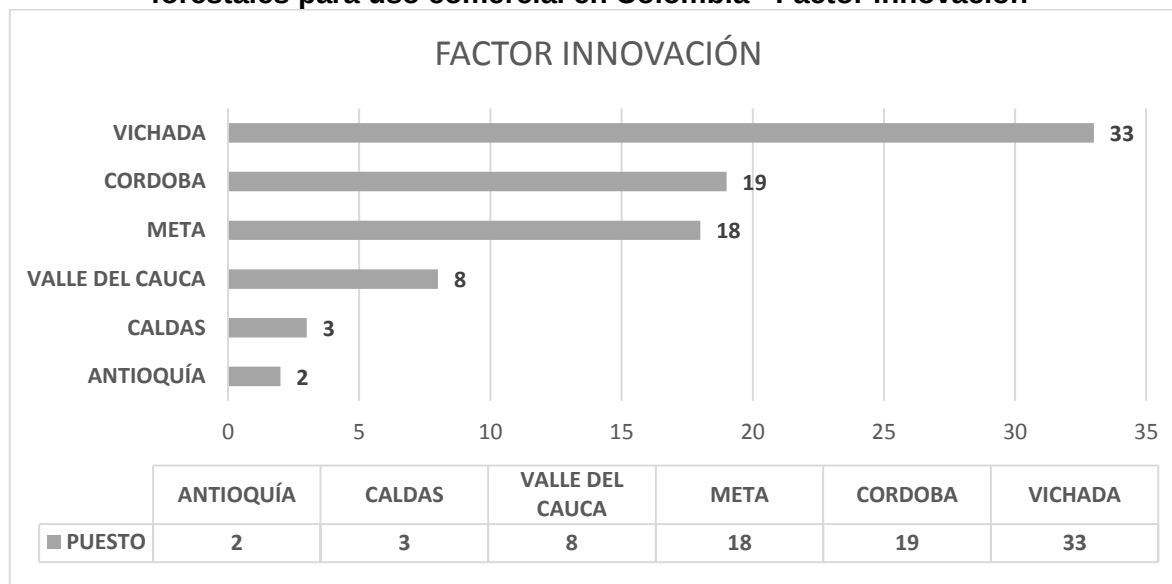
PUESTO	DEPARTAMENTO	HECTÁREAS (Ha)	%
1	Antioquia	116.766	22 %
2	Vichada	105.149	19 %
3	Meta	54.856	10 %
4	Córdoba	35.780	6 %
5	Caldas	29.038	5 %
6	Valle del Cauca	25.939	4 %
TOTAL		367.528	66 %

Nota. Adaptado del Boletín forestal del ministerio de agricultura (Minagricultura, 2022)

La tabla anterior presenta el ranking de competitividad de los seis departamentos con mayor cantidad de hectáreas destinadas a plantaciones forestales de uso comercial en Colombia. Antioquia lidera con 116.766 hectáreas, representando el 22 % del total, seguido por Vichada con 105.149 hectáreas (19 %) y Meta con 54.856 hectáreas (10 %). Córdoba, Caldas y Valle del Cauca ocupan los puestos restantes con participaciones del 6 %, 5 % y 4 %, respectivamente. En conjunto, estas regiones concentran el 66 % de la superficie destinada a esta actividad, lo que evidencia su relevancia en la industria forestal. La información resalta la distribución territorial de los cultivos y su impacto en la competitividad sectorial, promoviendo el análisis de políticas que fortalezcan la sostenibilidad y el desarrollo económico del sector.

Es de anotar que para cada uno de los citados departamentos se compararon sus índices de competitividad en áreas claves que fomentan o habilitan el desarrollo de la industria 5.0 para cualquier sector económico, como lo son: la innovación, la adopción de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), la sostenibilidad ambiental, la educación superior, así como también la formación para el trabajo, dicha información se obtuvo a partir de los indicadores suministrados por el Consejo Privado de Competitividad para el periodo 2022 – 2023.

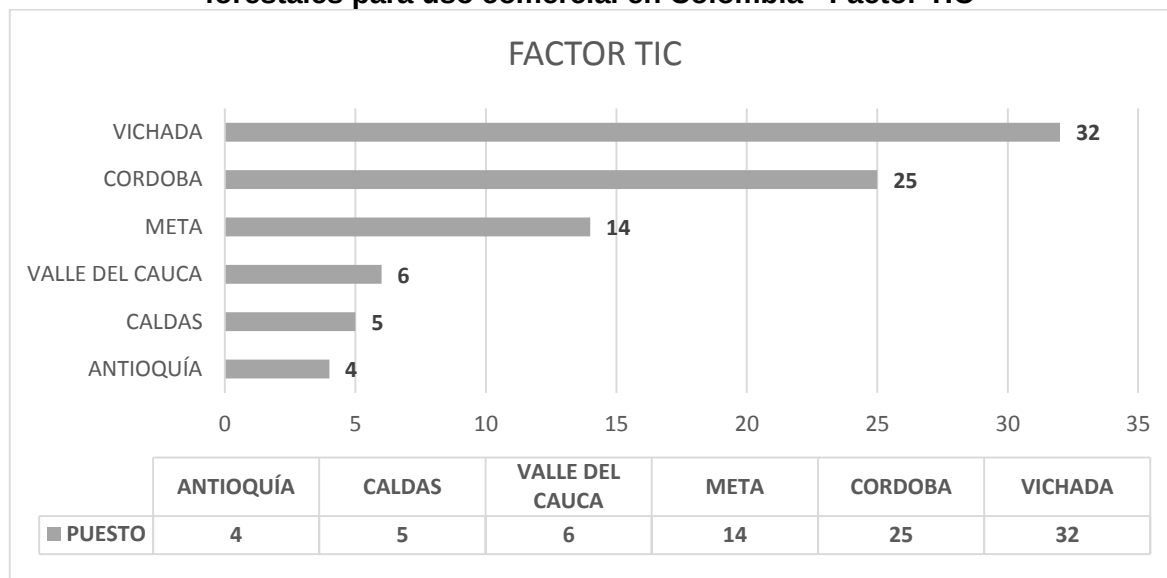
Figura 5
Competitividad de los departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia - Factor innovación



Nota. Adaptado del informe del Consejo Privado de Competitividad (2022-2023). La gráfica presenta la posición en el ranking de innovación de los seis departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia.

La figura anterior muestra la clasificación de los seis departamentos bajo análisis en el factor de innovación, donde Antioquia y Caldas ocupan las mejores posiciones con puestos 2 y 3, respectivamente, lo que indica un alto nivel de desarrollo en este ámbito. Valle del Cauca se sitúa en la posición 8, mientras que Meta y Córdoba presentan valores intermedios con puestos 18 y 19. Vichada, en el puesto 33, se encuentra en la posición más baja, lo que refleja mayores desafíos en términos de innovación. Estos resultados evidencian disparidades significativas en la capacidad innovadora de los departamentos, lo que puede influir en la competitividad y el desarrollo del sector forestal en cada región.

Figura 6
Competitividad de los departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia - Factor TIC

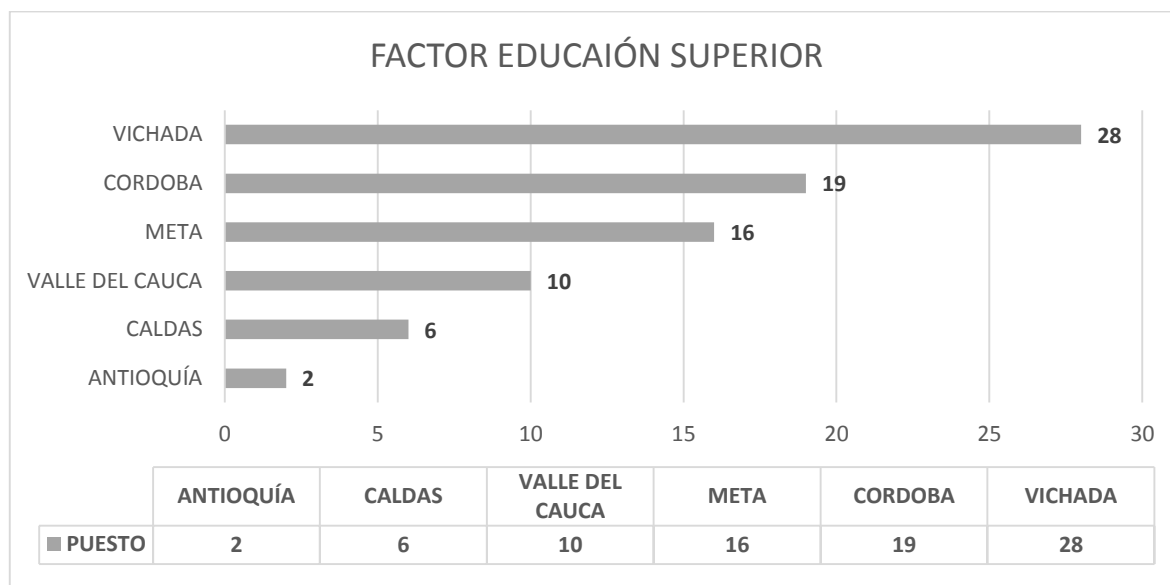


Nota. Adaptado del informe del Consejo Privado de Competitividad (2022-2023). La gráfica presenta la posición en el ranking de las TIC en los seis departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia.

La figura anterior refleja una notable disparidad en la adopción de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) entre los departamentos analizados. Antioquía, Caldas y Valle del Cauca presentan los mejores desempeños, con posiciones destacadas dentro del ranking nacional. En contraste, Meta, Córdoba y Vichada ocupan lugares más rezagados, con Vichada en la posición 32, lo que sugiere un rezago significativo en infraestructura y acceso a estas tecnologías. Esta brecha podría impactar la competitividad y desarrollo de la industria forestal en estos territorios, limitando su capacidad de innovación y eficiencia operativa.

Figura 7

Competitividad de los departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia - Factor educación superior

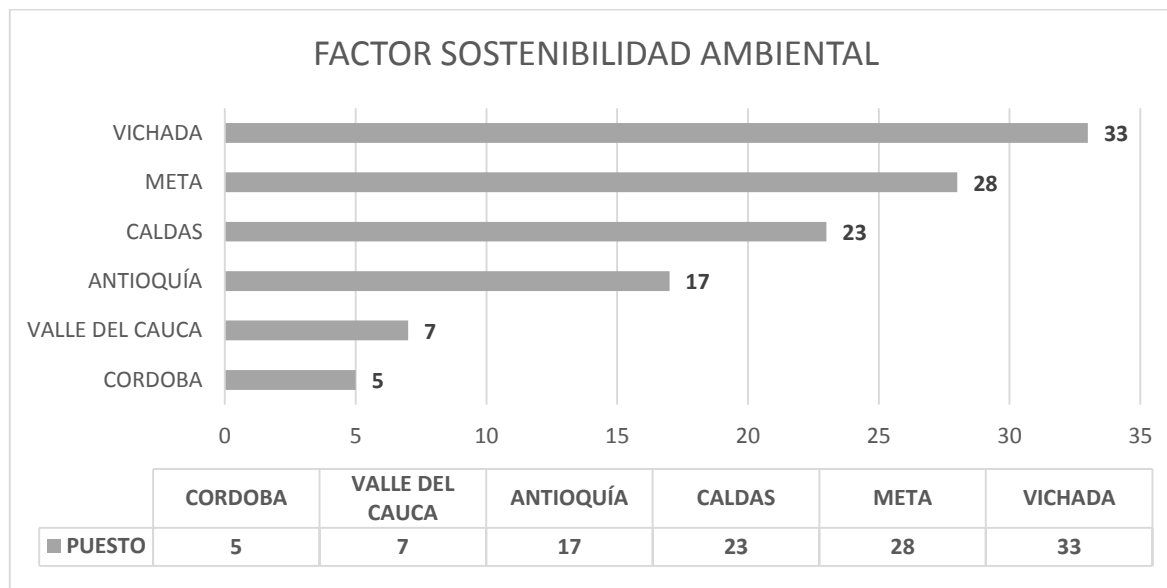


Nota. Adaptado del informe del Consejo Privado de Competitividad (2022-2023). La gráfica presenta la posición en el ranking de educación superior de los seis departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia.

La figura anterior muestra la posición de los seis departamentos con mayor número de plantaciones forestales para uso comercial en el ranking de competitividad en educación superior. Antioquia ocupa el segundo lugar, lo que indica una alta inversión y desarrollo en este ámbito. Caldas y Valle del Cauca también presentan posiciones destacadas, situándose en los puestos 6 y 10, respectivamente. Por otro lado, Meta, Córdoba y Vichada muestran un desempeño menos favorable, con posiciones de 16, 19 y 28, lo que evidencia brechas significativas en la oferta y calidad educativa en estas regiones. Esto sugiere la necesidad de fortalecer la educación superior en los departamentos con menor competitividad.

Figura 8

Competitividad de los departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia - Factor sostenibilidad ambiental



Nota. Adaptado del informe del Consejo Privado de Competitividad (2022-2023). La gráfica presenta la posición en el ranking de sostenibilidad ambiental de los seis departamentos con mayor superficie de plantaciones forestales para uso comercial en Colombia.

La figura anterior muestra la posición de seis departamentos en el ranking de sostenibilidad ambiental, un factor clave para el desarrollo sostenible. Córdoba y Valle del Cauca destacan con los puestos 5 y 7, lo que indica un mejor desempeño en prácticas ambientales. Antioquia se ubica en la posición 17, reflejando una gestión ambiental intermedia. En contraste, Caldas, Meta y Vichada presentan los peores resultados, con posiciones 23, 28 y 33, respectivamente, evidenciando desafíos significativos en la implementación de estrategias de sostenibilidad. Estos datos sugieren la necesidad de fortalecer políticas ambientales en los departamentos con menor desempeño.

DISCUSIÓN

La reducción del consumo per cápita de leña y productos del bosque en un 47 % y 38 %, respectivamente, entre 2005 y 2020, evidencia factores que impulsan la economía circular en el sector forestal colombiano. Este fenómeno podría estar vinculado a un cambio de mentalidad en los diferentes eslabones de la cadena productiva, favoreciendo un uso más racional de los recursos mediante prácticas sostenibles.

Las diferencias significativas en competitividad de los principales indicadores que promueven la industria 5.0 entre los departamentos con mayores cultivos forestales para uso comercial muestran una implementación desigual de estrategias. Solo Antioquia,



Caldas y Valle del Cauca han adoptado medidas para fomentar estas actividades, lo que resalta la necesidad de equilibrar esfuerzos y potenciar el desarrollo de la industria 5.0 en todas las regiones con alto potencial forestal.

CONCLUSIONES

La adopción de prácticas y de tecnologías asociadas con la economía circular e industria 5.0 en el sector forestal en Colombia, puede generar beneficios significativos en los aspectos ambientales y económicos, además podría agregar valor y competitividad a todos los eslabones de la cadena de suministro mediante la incorporación de tecnologías de vanguardia y posicionamiento a nivel nacional e internacional.

La economía circular puede implementarse de formas diversas en el sector forestal de Colombia mediante la promoción de prácticas responsables en el uso racional de recursos, dichas prácticas podrían ser la tala sostenible, reforestación, reutilización y reciclaje de productos en madera y sus derivados, como también la generación de energía a través de la quema de biomasa.

Para el sector forestal colombiano se precisa determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Con la premisa de implementar un sistema automatizado balanceado, donde la relación hombre-máquina sea expresada como una relación capacidad física y capacidad intelectual.

El nuevo rol del factor humano en el sector forestal de Colombia, no sólo debe ser visto como el nacimiento de nuevos puestos de trabajo, sino también como el nacimiento de nuevas funciones para puestos de trabajos existentes o futuros, mediante la utilización de plataformas digitales y robots para facilitar y mejorar su desempeño. Como consecuencia de este desarrollo surgen también nuevos aspectos sociales, éticos y humanos para la sociedad, que se deben tener en cuenta.

La toma de decisiones en la industria maderera debe estar centrada en el ser humano en colaboración con los sistemas inteligentes que, a su vez, serán adaptativos y con mayor capacidad de respuesta. El objetivo principal de la industria 5.0 en el sector forestal es el de lograr satisfacer las necesidades prioritarias de la sociedad y mejorar su calidad de vida. Alcanzar una mayor eficiencia operativa, una mayor productividad y una mejor gestión de los activos y procesos industriales por medio de la personalización de productos y de la creación de valor con la generación de ambientes organizacionales que impacten en una fuerza laboral saludable.

Es por ello que la industria 5.0 debe preparar el camino para un nuevo modelo de producción, donde empresas y sociedad, además de ser inteligentes, procurarán incorporar a la sustentabilidad las cuatro dimensiones: social, económica, ambiental e institucional, para garantizar un mayor bienestar a las generaciones venideras.



La articulación entre Economía Circular y la Industria 5.0 impulsaría modelos de producción respaldados por tecnologías avanzadas que utilizarían los recursos de manera eficiente en el sector forestal colombiano. Es por ello que la sostenibilidad y economía circular van de la mano, teniendo en cuenta que la industria 5.0 propone implementar procesos circulares para minimizar el impacto ambiental de las operaciones en donde la prioridad es la de reutilizar todo lo que sea susceptible de aprovecharse y reciclar lo demás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bisiona Business Solutions S.L (2022). [www.linkedin.com › posts › bisiona-business-solutions_whats-new-report-t4-2022](https://www.linkedin.com/posts/bisiona-business-solutions_whats-new-report-t4-2022)
- Breque, M., De Nul, L. y Petridis, A. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric, and resilient European industry. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75e-d71a1/>
- Carrillo, J., Gomis, R., De los Santos, S. Covarrubias, L. y Matus, M. (2020). ¿Podrán transitar los in géneros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22), 01-22. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.76089>
- Confederación de Empresarios de Navarra - CEN (2014). Boletín de la Confederación de Empresarios de Navarra, Medio Ambiente y Economía circular. Retrieved from http://economycircul.org/prensa/CEN_MA_21.pdf
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), 11-20.
- Consejo Privado de Competitividad. (2023). *Informe Departamental de Competitividad 2023*. <https://compite.com.co/indice-departamental-de-competitividad/>
- DANE (2022). *Sexto reporte Economía Circular en Colombia: obtenido de Dane.gov.co*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/reportes-de-economia-circular>
- De los Santos, S. (2021). *Industria 5.0 en los sectores textil y aeroespacial*. https://www.eleconomista.es/pais_vasco/noticias/11179539/04/21/Industria-50-en-los-sectores-textil-y-aeroespacial.html
- Demir, K.A. y Cicibas, H. (2017). The Next Industrial Revolution: Industry 5.0 and Discussions on Industry 4.0. *4th International Management Information Systems Conference "Industry 4.0"*, 01-10. Turkey: İstanbul University.
- Demir, K.A., Döven, G. y Semen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158(1), 688-695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- Elfar, O.A., Chang, C., Leong, H.Y., Peter, A.P., Chew, K.W. y Show, P.L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation.



- Galeano Vásquez, S. (2022). *Estructuración de un modelo de emprendimiento empresarial en el marco de economía circular a partir de subproductos de pesca*. Universidad Nacional de Colombia.
- Guerrero, M. (05 de 12 de 2018). La Quinta Revolución Industrial. <https://manuelguerrerocano.com/quinta-revolucion-industrial-singularidad/>
- Johansson, H. (2017). Profinet Industrial Internet of Things Gateway for the Smart Factor. <https://www.semanticscholar.org/paper/Profinet-Industrial-Internet-of-Things-Gateway-for-Johansson/4b063080e58baa35ed1e4a85c4f9c529c21724ff>
- Kirchherr, J., Reike, D. y Hekkert, M. (2017). Conceptualización de la economía circular: un análisis de 114 definiciones. *Recursos, conservación y reciclaje*, 127, 221-232.
- Ministerio de Agricultura (2022). *Boletín Forestal*, 10(2), 1-10. <http://www.minagricultura.gov.co/boletin-forestal-2022>
- Moosavi, J., Bakhshi, J. y Martek, I. (2021). The application of industry 4.0 technologies in pandemic management: Literature review and case study. *Healthcare Analytics*, 1(1), 01-11. <https://doi.org/10.1016/j.health.2021.100008>
- Muller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0 Results of a workshop with Europe's technology leaders. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en>
- Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., & Ormazabal-Goenaga, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria de Investigaciones en Ingeniería*, (15), 85-95. <https://hdl.handle.net/10171/53653>
- Sachsenmeier, P. (2016). Industry 5.0 - The Relevance and Implications of Bionics and Synthetic Biology. *Engineering*, 2(1), 225-229. <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.015>
- Surange, V.G., Bokade, S.U., Singh, A.K. y Teli, S.N. (2021). Prioritization of roadblocks to adoption of industry 4.0 technologies in manufacturing industries using VIKOR. *Materialstoday: proceedings*, 50(5). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.448>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. y Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61(1), 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>