

Energía y carbono sin misterios: indicadores clave para entender el impacto ambiental de transformar los bosques templados en madera en Durango, México

Pedro Meza-López ^{1,*}, Juan Abel Nájera-Luna ², Beatriz Díaz-Ramírez ², Ricardo de la Cruz-Carrera ², Edgar Enrique Amezcua ³ y Aldo Alejandro Lujan-Espinoza ¹

¹ Departamento de Ingeniería Forestal, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

³ Estudiante de la carrera de Ingeniería Forestal, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

* Autor de correspondencia: pettermezza@itelsalto.edu.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 4 de julio de 2025 Aceptado: 28 de julio de 2025 Publicado: 8 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.560>

Resumen: El presente artículo esboza el proceso de transformación de madera en rollo en madera para escuadría y analiza el impacto ambiental que representa el aprovechamiento forestal maderable en la región de El Salto, Durango, mediante la estimación de dos indicadores clave de sustentabilidad: la intensidad de energía y carbono. Para ello, se realizó una auditoría energética en 11 aserraderos mediante visitas técnicas y análisis de consumo energético, con base en la metodología de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Los resultados muestran amplias variaciones en la eficiencia de transformación entre aserraderos. El mayor consumo de energía mensual entre los aserraderos evaluados fue de 27,532.23 kWh, lo que equivale a generar 9.99 tCO₂e. Intensidades de carbono menores (0.36 tCO₂e/kWh), sugieren una mayor eficiencia energética del proceso. En contraste, una intensidad de carbono elevada (0.54 tCO₂e/kWh), implica ineficiencias en el uso de energía. Así que intensidades energéticas bajas (0.03 kWh/pt) son deseables desde una perspectiva de sustentabilidad. La evaluación de estos indicadores permite a la industria de la madera establecer metas energéticas a través del monitoreo continuo y orientar sus esfuerzos hacia modelos de producción alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: eficiencia; meta energética; diagnóstico energético; objetivos de desarrollo sostenible; economía baja en carbono

Introducción

El uso de los bosques para obtener madera, también llamado aprovechamiento forestal maderable, es una actividad milenaria que provee materia prima indispensable para la construcción, fabricación de muebles, generación de energía y la industria de la celulosa y papel entre otros derivados. Asimismo, el aprovechamiento forestal maderable es una actividad económica esencial para el desarrollo rural y regional, especialmente en zonas con vocación forestal. No obstante, la actividad requiere de energía para producir bienes, y gran parte de esa energía proviene de fuentes convencionales como la quema de combustibles fósiles, liberando dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera como parte inevitable de su impacto ambiental.

En este contexto, comprender los indicadores de desempeño ambiental como la intensidad de energía y de carbono resulta de especial relevancia para evaluar de forma integral la sostenibilidad de las actividades económicas forestales. Por un lado, el indicador de intensidad de energía se refiere a la cantidad de energía requerida o consumida en el proceso para producir una unidad de producto (International Energy Agency [IEA], 2016). En la producción maderable la intensidad de energía se expresa en kilowatt-hora por pie-tabla (kWh/pt). Por otro lado, la intensidad de carbono contempla la cantidad de emisiones de GEI liberadas como consecuencia del consumo de una unidad de energía y se mide en toneladas de dióxido de carbono equivalente por kilowatt-hora (tCO₂e/kWh) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2015). Ambos indicadores son herramientas que permiten medir el impacto de una actividad económica en el medio ambiente.

Datos recientes permiten ilustrar la magnitud de estos indicadores en la industria de transformación primaria. En un estudio llevado a cabo en aserraderos de Estados Unidos, específicamente en Virginia Occidental donde se localizan alrededor de 85 aserraderos se determinó que la intensidad de la energía oscila entre 0.08 y 0.17 kWh/pt, con una media de 0.12 kWh/pt (Devaru, 2015; Maddula, 2021). Una vez evaluados, estos indicadores ofrecen información clave para identificar puntos críticos de consumo excesivo de energía, establecer metas a través del monitoreo continuo, así como orientar la toma de decisiones hacia modelos de producción más eficientes y sostenibles.

El estado de Durango ocupa el segundo lugar como productor forestal, con una participación del 30.2% del total de 8.1 millones de metros cúbicos correspondientes a la producción proveniente de las autorizaciones de aprovechamiento forestal del país. La región de El Salto, en el estado de Durango destaca por poseer el primer lugar a nivel nacional en producción forestal maderable con 28.4% de la producción total (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021). Según la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, 2023), la región alcanzó una producción maderable de 2,518,376 metros cúbicos en 2018, siendo la escuadría el principal producto maderable, con 83.01% de la producción total, seguido de la leña (9.86%), los productos celulósicos (3.76%) y el carbón (2.69%). En la región existen alrededor de 63 aserraderos cuya actividad principal es la producción de madera para escuadría. Las operaciones que se desarrollan en los aserraderos pueden ser semi-mecanizadas o mecanizadas y se realizan de manera secuencial para cargar, transportar, apilar, cortar y seccionar la madera (Food and Agriculture Organization [FAO], 1991).

A nivel internacional, la transición hacia una economía baja en carbono exige pasar de la intención a la acción, esto supone una prioridad para la industria de la madera quien debe adoptar métricas claras, comparables y verificables sobre su desempeño energético y climático que le permitan alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (UN, 2015). Este artículo tiene como propósito analizar el impacto ambiental del aprovechamiento forestal maderable en la región de El Salto, Durango, mediante el estudio de dos indicadores clave de sustentabilidad: la intensidad de energía y la intensidad de carbono. De manera que la principal contribución de este estudio es promover la comprensión y adopción de estas métricas en el aprovechamiento forestal maderable. Al hacerlo, no solo se fomenta una gestión orientada a la mejora de la eficiencia energética sino también se reflexiona sobre la migración a fuentes renovables de energía como palanca clave para la sostenibilidad del polo maderero con mayor producción maderable del país.

Desarrollo

Los bosques templados en México

Los bosques templados se extienden y distribuyen principalmente en las cordilleras del país, con 34.2 millones de hectáreas, ocupando el 24.8% del territorio nacional. Por su extensión, se ubican principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Jalisco, Guerrero, Sonora, Michoacán, Chiapas y Zacatecas como se muestra en la Figura 1. La superficie forestal de bosques templados en Durango es de 5,193,060 hectáreas, es decir 48.9% del territorio del estado, ocupando el segundo lugar en programas de manejo forestal maderable autorizados, con 370 programas lo que equivale a un volumen anual estimado de 2,301,693 metros cúbicos, siendo los núcleos agrarios o ejidos los principales productores maderables (SEMARNAT, 2021).

En términos económicos, la industria de la madera ha tenido un incremento sostenido aproximado del 4.79% durante el periodo del año 2012 al 2023 y representa el 55.04% del total del PIB forestal. El PIB del sector forestal fue de 95,016 millones de pesos y contribuye con 0.30% al PIB nacional. El número de empleos en el sector forestal representa alrededor del 0.4% del empleo de la economía del país, en otras palabras 262,604 empleos, de los cuales el aprovechamiento forestal ofreció empleo a 85,961 personas, mientras que la industria de la madera alcanzó 176,643 empleos en el año 2023. Aproximadamente 20,228 personas fueron empleadas en el sector forestal en el estado de Durango (CONAFOR, 2024). Con respecto a la balanza comercial, existe un déficit comercial de productos maderables de 2,013.66 millones de dólares. La exportación de madera con destino a los Estados Unidos de América, principal socio comercial maderable del país, representa el 97.73%, mientras que el origen de las importaciones también corresponde a ese país, con 37.96% (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2024).

La industria de transformación primaria de la madera

Existen recursos forestales no maderables y maderables. Estos últimos, en particular, están constituidos de vegetación leñosa que es susceptible de ser aprovechada, por ejemplo: las diferentes especies de pino y encino que corresponden al género *Pinus* spp y *Quercus* spp, respectivamente. De acuerdo con la CONAFOR (2023), el género *Pinus* spp es el recurso más utilizado, con 70.5% del total de los 8.1 millones de metros cúbicos de madera en rollo a nivel nacional. La madera en rollo o trocería es la materia prima de la industria y se refiere a los troncos de árboles talados, desramados y cortados en trozos con longitudes estandarizadas.

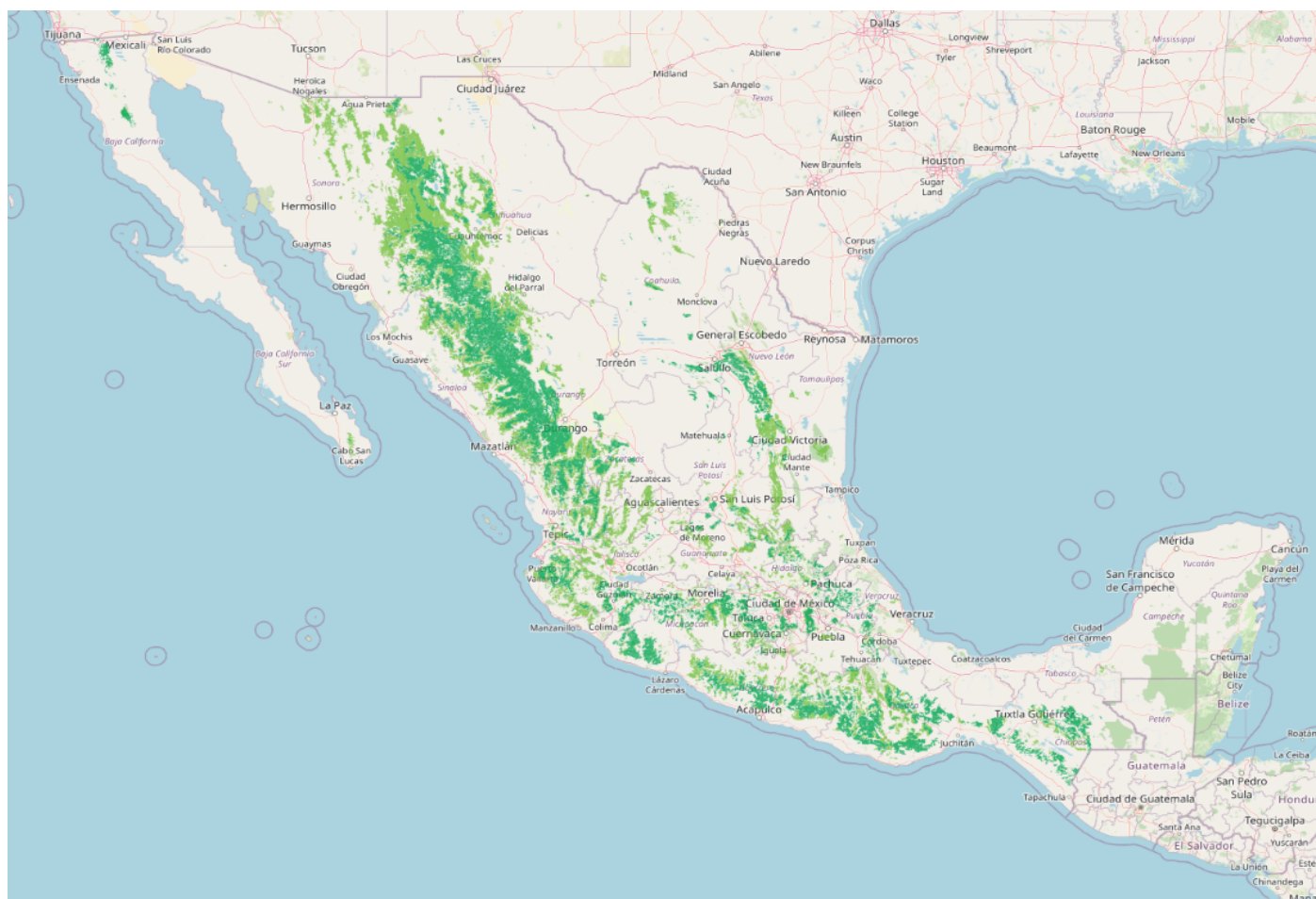


Figura 1. Distribución de los bosques templados de coníferas y encinos en México. Fuente: Uso de suelo y vegetación INEGI (Julio 26, 2025)

La industria forestal está comprendida por diversas etapas que van desde la extracción forestal hasta la transformación y la comercialización. El primer proceso de industrialización de los recursos forestales maderables se denomina transformación primaria, y es la intervención inicial a la que es sometida la trocería que proviene directamente del bosque. De acuerdo con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMS, 2010) la transformación primaria incluye las etapas siguientes: manejo de madera en rollo en patio, descortezado, asierre, saneamiento y dimensionado, clasificación de la madera aserrada, manejo de madera aserrada en patio y estufado de la madera aserrada.

Estas etapas de transformación suceden en establecimientos denominados aserraderos donde la trocería es convertida en madera para escuadría. La madera para escuadría son piezas de madera cortadas del trozo en secciones rectangulares planas y perpendiculares entre sí con dimensiones y espesores diferentes, comúnmente denominadas tablas, tablones, vigas, barrotos polines o waldras (ver Figura 2). La unidad de producción que se utiliza es el pie-tabla (pt) y hace referencia al volumen de madera aserrada equivalente a un pie (ft) de largo por un pie de ancho por una pulgada (in) de espesor.

Manifestaciones de la energía y carbono en la industria de transformación primaria de la madera

La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de una forma a otra. Este principio de conservación de la energía de la termodinámica es fundamental para el funcionamiento y operación de la maquinaria que asiste las operaciones de la industria forestal maderable. Las fuentes de energía en los aserraderos son la energía eléctrica comprada al suministrador de servicios básicos de la comisión federal de electricidad (CFE) y la energía química que proviene directamente de la quema de combustibles fósiles derivados del petróleo, tales como el diésel y la gasolina.

En pocas ocasiones la energía proviene de biocombustibles sólidos como la leña. La transformación de estas fuentes de energía para su uso final se logra mediante motores de combustión interna, máquinas eléctricas, calderas a leña y otros dispositivos (Meza *et al.*, 2024). El uso final de energía es la que se consume directamente por los dispositivos en los aserraderos.

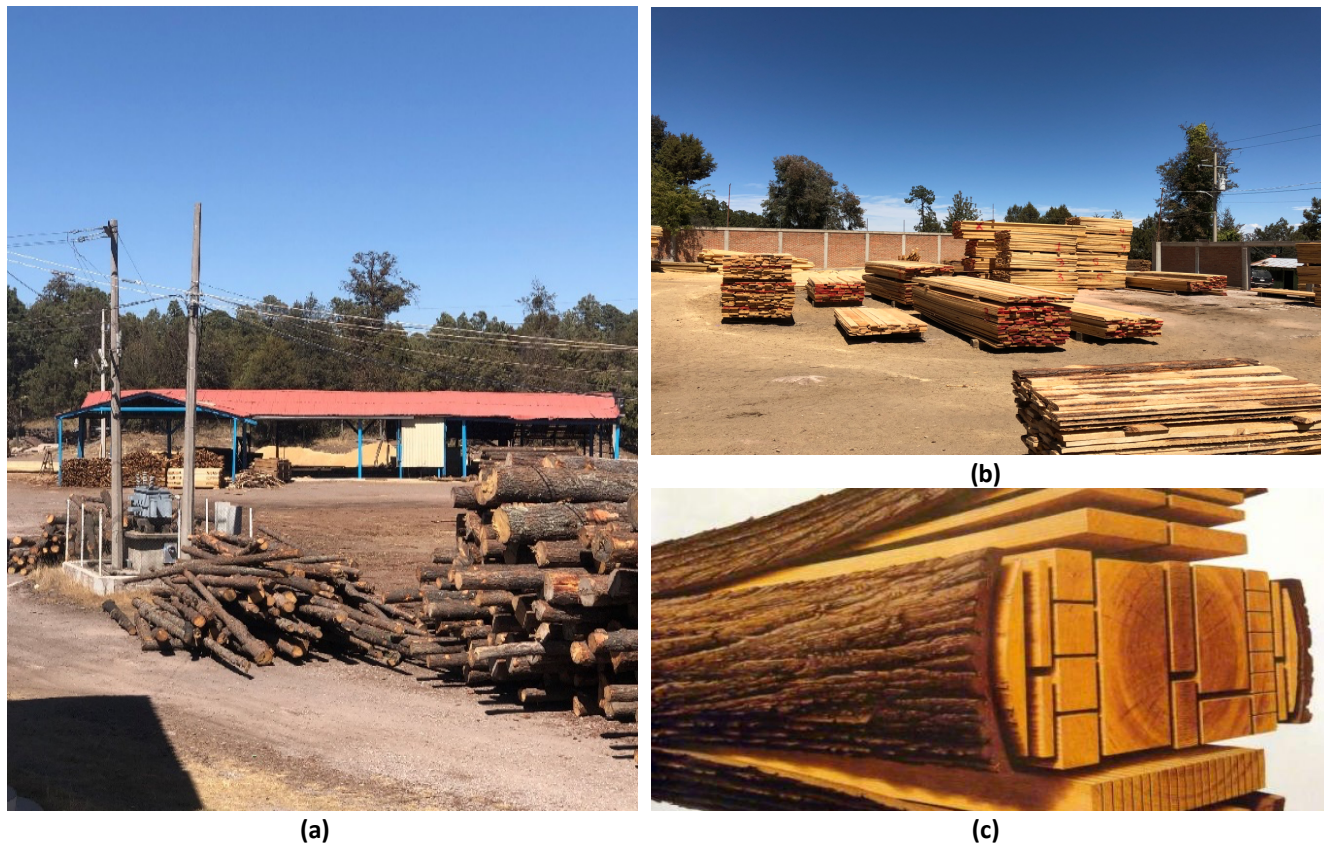


Figura 2. Aserradero Industrias Quintana en la región de El Salto, Durango. a) En el primer plano se observa la trocería, al fondo se distingue las instalaciones de la línea de producción. b) Patio de madera para escuadría. c) Esquema de despiece del trozo para obtener madera para escuadría

En los aserraderos la energía se manifiesta en forma de calor (energía térmica), de electricidad (energía eléctrica), de luz (energía radiante), de reacción de combustión (energía química) y de posición y movimiento (energía mecánica). Al concebir la energía como la fuerza multiplicada por el desplazamiento en la dirección de la fuerza es posible referirse a ella como la capacidad de hacer un trabajo, es decir el poder y la acción con que se cuenta para mover, accionar o transformar algo.

La unidad estándar de medida de la energía en el sistema internacional de unidades (SI) es el Joule (J). Para formar múltiplos y submúltiplos de la unidad se utilizan los prefijos del SI, por ejemplo: kilojoules (kJ), megajoules (MJ) o gigajoules (GJ). Sin embargo, según la forma en que ésta se manifiesta se emplean unidades derivadas o unidades de otros sistemas de medición e incluso unidades no estandarizadas que facilitan su uso en la práctica comercial e industrial, por ejemplo: kilowatt-hora (kWh), British Therma Unit (BTU), tonelada equivalente de petróleo (tep), y barril de petróleo (boe) (Secretaría de Economía [SE], 2021).

Las emisiones de carbono en la industria forestal maderable se generan principalmente por la quema directa o indirecta de combustibles basados en carbono procedentes de hidrocarburos fósiles, incluidos el carbón, el petróleo y el gas natural (ver Figura 3). Aunque estrictamente el carbono es un elemento químico presente en la materia orgánica, el término emisiones de carbono se utiliza como una forma abreviada de referirse a la cantidad de masa de emisiones de GEI liberada a la atmósfera debido a actividades antropogénicas. Las emisiones de carbono agrupan distintos tipos de GEI, principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), en una sola unidad expresada en dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Como cada tipo de GEI tiene diferente potencial de calentamiento global (PCG),

las emisiones de CO₂e se calculan habitualmente, multiplicando la emisión de un GEI por su correspondiente PCG en un plazo dado y se suman las emisiones correspondientes a cada tipo de gas. Las emisiones de CO₂e se miden en unidades de masa, es decir kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente (kgCO₂e o tCO₂e) (IPCC, 2015).



Figura 3. Cargador frontal liberando emisiones de carbono por el consumo de diésel en el aserradero Sociedad de Producción Forestal Diamante en la región de El Salto, Durango.

Estimación de indicadores prioritarios de sostenibilidad en la industria forestal maderable. Un estudio de caso

La intensidad de energía y de carbono son indicadores prioritarios que permiten determinar el impacto que tiene una actividad económica en el medio ambiente. De forma análoga a la información que proporcionan los indicadores en el panel de instrumentos de un automóvil sobre el estado del mismo (nivel de combustible y temperatura del motor), los indicadores prioritarios permiten comprender el estado que guarda el desempeño de una actividad económica en términos medioambientales.

La intensidad de energía indica la cantidad de energía que se requiere para producir una unidad de producto, por ejemplo: la industria de la madera consume cierta cantidad de kilowatt-hora para producir un pie-tabla. Es como observar en el panel de instrumentos del automóvil el consumo de litros de gasolina por kilómetro recorrido. Por su parte, la intensidad de carbono indica la cantidad de emisiones de carbono liberada por consumir cierta cantidad de kilowatt-hora. En el caso del automóvil es posible visualizar las emisiones liberadas en el escape del vehículo derivado de la quema de la gasolina por kilómetro recorrido. Así como el conductor del automóvil monitorea el panel de instrumentos para ajustar su conducción, evitar niveles altos de temperatura o consumo excesivo de gasolina, los tomadores de decisiones en la industria de la madera pueden establecer metas a partir de la medición de estos indicadores, identificar ineficiencias, reducir emisiones y tomar decisiones informadas más sostenibles.

Para ilustrar la realidad, se llevó a cabo un estudio para determinar los indicadores de intensidad de energía y de carbono en la industria forestal maderable localizada al noroeste del país, específicamente en la región de El Salto, Durango. Para el desarrollo del estudio se efectuó una auditoría energética de nivel uno que consistió en realizar recorridos en las instalaciones de 11 aserraderos y analizar los historiales de consumo de energía y los niveles de producción como lo establece la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ASHRAE (2011). La participación de los aserraderos fue voluntaria y sus características técnicas se muestran en la Tabla 1. Las metodologías de cálculo de los indicadores fueron las propuestas por el IPCC (2015) y la IEA (2016).

Tabla 1. Características técnicas de los aserraderos evaluados.

Especificación	Descripción
Volumen de madera en rollo promedio recibido por mes	1200 m ³ , con dimensiones variables (trozos con 44 cm de diámetro en promedio, con rangos de 18-70 cm y 22 ft de largo, con rangos de 8 a 36 ft)
Volumen de producción media mensual de madera aserrada	170,000 pt
Productos maderables	Tablas, tablones, vigas, barrotes polines o waldas, generalmente con una humedad del 15 al 20%
Rendimiento	54.83% de coeficiente de aserrío, aproximadamente (tiempo promedio para aserrar 1000 pt de 25.09 minutos, con productividad de 7.57m ³ por hora y velocidad de alimentación de 46.47 m por minuto. El rendimiento depende del diámetro, largo y conicidad de los trozos (Nájera-Luna <i>et al.</i> , 2011)
Configuración típica de la línea de producción	Secuencia lineal simplificada de las operaciones: Apilado de la trocería o madera en rollo en patio del aserradero Aserrado longitudinal de la trocería en una unidad principal conformada por rampa de alimentación, carro escuadra porta trozos y sierra banda Dimensionado transversal y saneamiento de la madera aserrada en unidades secundarias conformadas por recortadora y desorillador Clasificado de la madera aserrada en dimensiones y calidades en mesa de clasificado Apilado y enfajillado de madera aserrada en patio del aserradero
Potencia fija instalada	94.72 kW, incluye todas las clases de máquinas eléctricas (motores, eléctricos, herramienta, equipo y sistemas de iluminación)
Potencia móvil instalada	166.29 kW, incluye todas las clases de vehículos para servicios pesado y ligero todo terreno y máquinas de combustión internas portátiles (cargador frontal, montacargas y motosierras)
Motores eléctricos	Diversidad de marcas entre ellas SIEMENS, SP Motors, General Electric, Century y Motores U.S de México con potencia nominal entre 3.73 kW y 44.74 kW
Cargadores	Marca Caterpillar C950 y Caterpillar, generalmente con potencias promedio de 155.59 y 43.99 kW, respectivamente

La Tabla 2 muestra el enfoque piramidal para delimitar la cobertura o alcance de los indicadores con base en la disponibilidad de los datos recolectados. Este enfoque permite desagregar de forma descendente la información hasta niveles más detallados, según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (INEGI, 2023).

Tabla 2. Enfoque de aproximación piramidal para indicadores prioritarios (INEGI, 2023 e IEA, 2015).

Cobertura o alcance		Indicadores prioritarios	Datos energéticos	Datos por actividad
Subsector	Industria de la madera			
Rama	Aserrado y conservación de la madera	-	Consumo energético total de la industria expresado en kWh o MJ	Producción física de la industria expresada en m ³ o pt
Subrama	Aserraderos			
Producto	Madera para escuadría	Intensidad de energía e intensidad de carbono	Consumo energético total por aserradero expresado en kWh o MJ	Producción física por aserradero expresada en m ³ o pt

El análisis reveló una variabilidad en el consumo de energía y emisiones de carbono entre aserraderos lo que permitió identificar diferencias en su desempeño ambiental como se muestra en la Tabla 3. El aserradero A11 presentó el mayor consumo de energía mensual, con 27,532.23 kWh, seguido por A9 con 16,036.32 kWh, lo que coincide con las mayores emisiones de carbono, 9.99 tCO₂e y 6.25 tCO₂e, respectivamente.

Tabla 3. Indicadores de energía y carbono en aserraderos.

Aserradero	Energía consumida (kWh·mes ⁻¹)	Emisiones de carbono (tCO ₂ e·mes ⁻¹)	Indicadores	
			Intensidad de energía	Intensidad de carbono
A1	11083.61	4.53	0.07	0.41
A2	11199.79	4.30	0.07	0.38
A3	7466.52	2.87	0.05	0.38
A4	5459.93	2.54	0.03	0.47
A5	6842.06	3.36	0.03	0.49
A6	8485.94	4.57	0.05	0.54
A7	5681.99	2.70	0.04	0.48
A8	4118.69	2.06	0.03	0.50
A9	16036.32	6.25	0.12	0.39
A10	6844.92	3.25	0.03	0.47
A11	27532.23	9.99	0.13	0.36

El aserradero A11 presenta la intensidad de carbono más baja (0.36 tCO₂e/kWh), lo cual sugiere una mayor eficiencia. En otras palabras, aunque consumió más energía que el resto de los aserraderos, emitió bajas cantidades de carbono por unidad de energía debido probablemente a maquinaria altamente eficiente. En contraste, el aserradero A6 alcanzó una intensidad de carbono más elevada (0.54 tCO₂e/kWh), a pesar de eso presenta un consumo energético menor, lo que podría implicar ineficiencias en el uso energético de la maquinaria. Por otro lado, A5 presenta la menor intensidad de energía (0.03 kWh/pt), lo cual es favorable desde el punto de vista de eficiencia energética dado es posible que produzca el mismo volumen de madera que el resto de aserraderos, pero con menor consumo de energía. En realidad, intensidades energéticas bajas como en A5, A8 y A10 son deseables desde una perspectiva de sostenibilidad. Los datos descritos son clave para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia, resaltando la importancia de monitorear ambos indicadores en conjunto.

Hacia una transición sostenible de industria de transformación primaria de la madera

La transición hacia una economía baja en carbono exige a cualquier actividad económica, incluida la industria de la madera, a pasar de la intención a la acción, adoptando métricas claras, comparables y verificables que coadyuven con los compromisos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por lo tanto, la implementación de acciones como una gestión efectiva de la energía y la integración de energías renovables autóctonas, por ejemplo: la micro generación de bioenergía, son clave para transitar hacia la sostenibilidad y el cumplimiento los compromisos globales. Específicamente con los ODS 7, 9 y 13 en los cuales se plantea duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética, invertir en más productos de alta tecnología que dominen las producciones manufactureras para aumentar la eficiencia energética y finalmente acelerar la integración de energías renovables y otras soluciones para reducir las emisiones de carbono (UN, 2015). Esta tendencia global marca una nueva ruta hacia una industria de la madera que no solo sea productiva, sino también ambientalmente responsable y alineada con los compromisos internacionales de sostenibilidad.

Conclusiones

En este estudio se analizó el impacto ambiental de la transformación primaria de la madera mediante los indicadores de intensidad de energía y la intensidad de carbono. La estimación de los indicadores facilitó la identificación de diferencias en consumo de energía y emisiones de carbono entre aserraderos. Además, el estudio demostró la

importancia de contar con métricas de sustentabilidad que permitan tomar decisiones informadas y transitar hacia una industria de la madera más sostenible.

Agradecimientos: Los autores agradecen el apoyo al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento al proyecto de investigación “Intensidad energética y de carbono de la industria forestal primaria”.

Bibliografía

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2011). *Procedures for commercial building energy audits*. ASHRAE. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/procedures-for-commercial-building-energy-audits>
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS). (2010). Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales [Edición 2010]. CCMSS. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Manual_de_buenas_practicas_en_aserraderos_de_comunidades_forestales.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023). Estado que guarda el Sector Forestal en México 2023 [Informe anual]. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/947878/2024_07_31_EGSFM_2023.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2024). Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF). Gobierno de México. <https://snif.cnf.gob.mx/>
- Devaru, D. (2015). Estimation of energy intensity in wood processing sawmills based on analysis of product, process and system parameters [Master's thesis, West Virginia University]. West Virginia University Research Repository. <https://doi.org/10.33915/etd.5482>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1991). Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales (Cuaderno técnico No.93). FAO. <https://www.fao.org/3/t0269s/T0269S00.htm>
- International Energy Agency (IEA). (2015). Energy efficiency indicators: essentials for policy making. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-essentials-for-policy-making>
- International Energy Agency (IEA). (2016). Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-fundamentals-on-statistics>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2015). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R. K. Pachauri & L. A. Meyer (Eds.)]. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (Julio 26, 2025). Uso de suelo y vegetación [mapas]. Recuperado el 26 de julio de 2025, de <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Clasificadores – Catálogo SCIAN México [Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte]. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/scian/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Balanza Comercial de Mercancías de México (corte datos; abril 2024). <https://www.inegi.org.mx/programas/comext/>
- Maddula, R. B. (2021). Energy intensity determination in wood processing sawmills [Master's thesis, West Virginia University]. West Virginia University Research Repository. <https://doi.org/10.33915/etd.611>
- Meza-López, P., Nájera-Luna, J. A., & de la Cruz-Carrera, R. (2024). Estimating final energy consumption when logging and sawing timber. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(2). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2023.04.021>
- Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J. J., & Vargas-Larreta, B. (2011). Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 199–213. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.034>
- Secretaría de Economía (SE). (2021). NOM-008-SE-2021: Sistema general de unidades de medida [Norma oficial mexicana]. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5713228&fecha=29/12/2023
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). Anuario estadístico de la producción forestal 2018. SEMARNAT. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf>
- United Nations (UN). (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>