

ESTUDIO SECTORIAL DE LA CADENA DE LA MADERA

César Augusto Sandoval García y Juan Pablo Castañeda Sánchez*

Resumen

En el presente estudio se elabora un análisis de la cadena de producción del sector forestal. La metodología aplicada es una adaptación del análisis de ciclo de vida que plantea los principios y el marco de referencia que regulan la evaluación ambiental para este tipo de análisis de un producto. El estudio se planteó como objetivo desarrollar un análisis de las interacciones ambientales del sector forestal mediante una adaptación del ciclo de vida dentro de la producción de la madera y los productos forestales no maderables, a través de la exploración de los diferentes eslabones de la cadena forestal (producción, transporte, transformación y distribución del producto). Se determinaron coeficientes de contaminación ambiental de descargas (efluentes y emisiones) al medioambiente derivadas del proceso productivo dentro de todo el ciclo de la cadena de la madera. Algunos de los principales hallazgos señalan que para la producción de una

* César Augusto Sandoval García es doctor en Sociología y Política de la Universidad Pontificia de Salamanca. Actualmente se desempeña como investigador del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), de la Universidad Rafael Landívar (URL). Juan Pablo Castañeda Sánchez es doctorando en Economía de la Universidad de Tilburg. Actualmente se desempeña como director del Iarna.

tonelada de madera en mueble (procesado en carpinterías y tapicerías) se consumen 6.2163 m³ en promedio para especies de coníferas y 9.0088 m³ para la producción de una tonelada de muebles provenientes de especies latifoliadas. Asimismo, por cada tonelada de madera producida se emiten 0.0045272 t de CO₂ eq., 0.0000098 t de CH₄ y 0.0000006 t de NO₂ eq.

Palabras clave: transición forestal, bienes de consumo, trasiego, toneladas y metros cúbicos de madera.

Sectorial study of the wood chain

Abstract

The present study analyzes the forestry sector's production chain. The methodology applied is life cycle analysis (LCA), which sets out the principles and reference framework that regulates the environmental evaluation methodology for this type of product analysis. The objective of the study was to examine the environmental interactions of the forestry sector through an adaptation of the life cycle within the production of wood and non-timber forest products (NTFP) through the exploration of the different links of the forestry chain (production, transport, transformation and distribution of the product). As a result, environmental pollution coefficients of discharges (effluents and emissions) into the environment derived from the production process within the entire cycle of the wood chain were determined. Some of the main findings indicate that for producing a ton of furniture wood (processed in carpentry and upholstery), an average of 6.2163³ is consumed for coniferous species and 9.0088 m³ for the production of a ton of furniture from broadleaf species. Likewise, for each ton of wood produced, 0.0045272 t CO₂ eq., 0.0000098 t CH₄ and 0.0000006 t NO₂ eq. are emitted.

Keywords: forestry transition, consumer goods, transfer, tons and cubic meters of wood.

Introducción

A raíz de la puesta en vigencia en 1996 de la Ley Forestal¹ y la implantación de la Política Forestal (1999), surge una nueva dinámica en el sector orientada al involucramiento de más actores. Por un lado, la estrategia de la política

1 Congreso de la República de Guatemala, Decreto núm. 101-96. *Ley Forestal*.

busca la incorporación de las municipalidades a la administración forestal municipal, la apertura de incentivos forestales a personas individuales y grupos organizados para el desarrollo y establecimiento de plantaciones y el manejo de bosques, el clúster forestal y las mesas de concertación forestal. Por otro lado, se consolidó el proceso concesionario en el departamento de Petén que dio respuesta al Acuerdo sobre Aspectos Socioeconómicos y Situación Agraria de los Acuerdos de Paz, firmados en 1996, en donde se demandaba mayor participación de los grupos comunitarios en el acceso y la administración de los recursos naturales².

La Ley Forestal y la firma de los Acuerdos de Paz han contribuido a una mayor participación del sector forestal dentro de la economía, la cual se ha venido incrementando de forma absoluta, aunque no en términos relativos, por lo que su aporte a indicadores macroeconómicos, como por ejemplo el producto interno bruto (PIB), sigue siendo modesto (3 % del PIB en 2020, Cuenta del Bosque³). Esto es superior a la participación del sector forestal en otras economías de mayor magnitud, como las de Chile (2.1 % del PIB en 2016) y Brasil (1.1 % del PIB) y similar a lo reportado por Costa Rica (la silvicultura y extracción de madera y caza representó el 3 % en 2020).

Se conocen las aportaciones que el sector forestal hace a la economía, pero muchas veces la pregunta es a qué costo ambiental; estimaciones de la Cuenta del Bosque de Guatemala indican que la depreciación de este capital natural ocurre a razón de 0.96 % del PIB de forma anual⁴. Para fortalecer las estadísticas nacionales existentes, en particular aquellas que analizan las interacciones entre economía y sector forestal, se propuso desarrollar un ejercicio a través de un estudio sectorial para identificar de manera preliminar qué insumos se extraen del ambiente y qué tipo de emisiones y efluentes se descargan, derivados del proceso productivo. Esto permitió determinar la forma en que los agentes económicos, en este caso del sector forestal, contribuyen al deterioro ambiental y, sobre la base de su participación, cuánto y qué tipo de contaminantes ambientales se derivan en cada uno de los eslabones de la cadena productiva.

2 Gobierno de Guatemala. *Los Acuerdos de Paz*.

3 Estimaciones de Juan Miguel Goyzueta, con base en el Banco de Guatemala (Banguat), 2023.

4 Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL), *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009*, 88.

La metodología aplicada es una adaptación del análisis del ciclo de vida, que sigue un esquema de información sugerido por la Organización Internacional Estándar mediante la compilación de un inventario de entradas y salidas y la evaluación de impactos ambientales. Posteriormente a la determinación de las interacciones entre los insumos y el proceso productivo, estas se plasmaron en una matriz que integra los insumos del ambiente con las actividades económicas.

El artículo presenta las generalidades del sector forestal con énfasis en su importancia dentro de la economía y los flujos productivos. Desarrolla brevemente los fundamentos teóricos del análisis y las matrices desarrolladas para su abordaje, e incluye una esquematización de las interacciones que se dan dentro de las diferentes actividades (procesos de producción, traslado a los centros de consumo intermedio y final) a través del mapeo de la cadena y las interacciones ambientales.

1. Generalidades del sector

El sector forestal de Guatemala ha sido definido como

un subsistema del sistema económico nacional, que sobre la base de motivaciones y decisiones socioeconómicas y ambientales desarrolladas en torno de ecosistemas con distintos grados de intervención, cuyo componente dominante son los árboles, genera múltiples bienes maderables y no maderables y servicios ambientales, producto del desarrollo de un conjunto de actividades que se aplican de acuerdo a un régimen de ordenación con objetivos bien definidos que pueden incluir la extracción y aprovechamiento, la protección absoluta o la restauración de tierras forestales degradadas. Estas acciones descansan sobre una plataforma institucional pública y privada que incluye los ámbitos legal, financiero, académico y empresarial y que en conjunto determinan un desempeño que se refleja en las cuentas nacionales.⁵

El sector forestal comprende un conjunto de actores (sector público, sector privado empresarial, ONG, pequeños, medianos y grandes propietarios individuales, comunidades y grupos de campesinos propietarios, colectivos de bosques, municipalidades que tienen bajo su dominio tierras y bosques municipales) que se relacionan entre sí por intermedio de las actividades de aprovechamiento, protección, comercialización, industrialización, entre otras;

5 Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG), *Agenda Nacional Forestal*, 10.

recibe insumos (servicios primarios y secundarios como el transporte, el financiamiento, los seguros, la capacitación, la publicidad, las comunicaciones, entre otros) y genera productos para otros sectores en el contexto del sistema económico nacional y global (bienes y servicios forestales)⁶.

Desde el sector público, la institucionalidad para la gestión se centra en tres dependencias del Organismo Ejecutivo: el Instituto Nacional de Bosques (INAB) que asume la administración de los bosques fuera de las áreas protegidas, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), que dirige el manejo de los bosques dentro de las áreas protegidas, y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) que autoriza las evaluaciones de impacto ambiental requeridas dentro de los procesos de gestión para el aprovechamiento de la madera. Otro actor importante son las municipalidades, que han asumido competencias en la gestión forestal municipal y, mediante su participación, en los programas de incentivos, ya sea como beneficiarias o a través de sus poblaciones locales.

El sector forestal basa su fortaleza en la existencia y sostenibilidad del manejo de los recursos maderables y no maderables de los bosques de Guatemala, que para el 2016 se estimó en 35.742 km², distribuidos dentro de bosques mixtos, de coníferas y latifoliados⁷. En Guatemala, tradicionalmente la demanda de madera ha sido suplida por medio de su extracción en bosques naturales; es hasta recientemente que se ha incorporado el abastecimiento proveniente del manejo de las plantaciones. Algunas características generales que definen el sector son, entre otras, las siguientes:

- Reportes de Sistema de Información Forestal de Guatemala al 2022 indican un ingreso a la industria de 539 510.56 m³ provenientes de plantaciones⁸. Este es un indicador de que la industria de la madera, que actúa bajo la legalidad, está disminuyendo la presión sobre los bosques naturales.

6 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *Estudio de tendencias y perspectivas*.

7 Instituto Nacional de Bosques (INAB), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y Universidad Rafael Landívar (URI), *Mapa de Cobertura Forestal*, 25.

8 Esto representó el 33.5 % de lo que ingresó de madera para aserrío a la industria en el 2022. Sistema de Información Forestal de Guatemala (Sifgua), *Comercio interno de productos forestales*.

- El aprovechamiento de productos madereros exentos de licencia ha tenido un crecimiento sostenido que pasó de un 65 % del total de lo aprovechado fuera de áreas protegidas en el 2006 a un 95 % en el 2021⁹.
- Para el 2020 las exportaciones alcanzaron 645 millones de dólares y las importaciones 878 millones de dólares, lo cual representa un déficit en la balanza comercial de 233 millones de dólares¹⁰.

El país incorporó alrededor de 44 millones de m³ a 2012 en productos maderables según estimaciones de la Cuenta de Bosques. El producto maderable de mayor consumo fue la leña, con un 71 % de participación¹¹. Estos datos, y los que se presentan en la Tabla 1, son estimaciones que han sido validadas a través del tiempo, sin embargo, aún hace falta mucho para tener datos más precisos sobre el consumo de leña y la utilización de productos forestales maderables y hay que tomarlos como buenas aproximaciones a la realidad. Precisamente este artículo es un paso hacia adelante en la generación de mejores estadísticas del sector.

En términos monetarios, el porcentaje de participación dentro de la estructura de los productos provenientes del bosque varía de acuerdo con el grado de elaboración de la producción de madera. El sector de los muebles se sitúa como el de mayor participación, con un 37 %, en tanto que la producción de leña aporta un 25 %, para 2020. La elaboración de los productos del bosque ha tenido un crecimiento constante que varió de 18 mil millones de quetzales corrientes en 2013 a cerca de los 22 mil millones de quetzales corrientes en 2020 (Tabla 1).

El sector forestal va más allá del PIB silvícola, es decir que suma a la medición del PIB también al sector secundario; por ejemplo, la producción de muebles. El PIB forestal ayuda a reflejar de mejor forma los impactos directos que tienen los bosques nacionales en la economía, al tomar en cuenta los encadenamientos productivos. Estos son la base del análisis que se hace en este artículo.

9 Sifgua, *Información detallada de manejo forestal*, 11.

10 INAB, *Memoria de labores 2021*.

11 Iarna-URL et al. *Cuenta de Bosques*, 27.

Tabla 1. Producción bruta de productos del bosque, período 2013 a 2020.
Cifras en millones de quetzales corrientes

Producto	Años									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
caucho natural	3027.22	2296.68	1727.30	1486.15	2116.54	1867.25	1868.31	1827.16		
leña	3862.63	4088.24	4253.53	4420.90	5017.44	5155.72	5226.79	5425.46		
madera aserrada y acepillada	2160.61	2314.55	2346.53	2415.03	2529.20	2593.67	2759.95	2730.83		
muebles	6330.98	6572.11	6943.63	7235.57	7587.20	8012.96	8454.26	8189.76		
productos de madera, corcho, paja, materiales trenzables	1509.97	1569.66	1687.47	1843.46	1971.13	2132.05	2186.97	2092.37		
productos forestales no madereros	259.72	258.01	267.98	292.73	342.07	342.74	325.66	255.90		
troncos de madera	1097.30	1184.47	1209.25	1240.81	1311.23	1379.56	1497.71	1427.23		
total productos del bosque	18 248.44	18 283.73	18 435.69	18 934.66	20 874.80	21 483.94	22 319.64	21 948.70		

Fuente: estimaciones de Juan Miguel Goyzueta, con base en datos del Banco de Guatemala, 2021¹².

12 Banco de Guatemala (Banguat), *Cuadros de oferta y utilización*.

La magnitud de las aportaciones al sistema económico nacional también se puede medir al utilizar un enfoque de la producción en el cálculo del PIB forestal que, a partir de las mediciones corregidas del ingreso del Sistema de Cuentas Nacionales, estimó una producción bruta (valor agregado bruto) del bosque cercana a los 17.5 mil millones de quetzales¹³. El valor agregado del sector forestal, medido con relación al PIB, se ha mantenido relativamente estable y se estima en alrededor del 3 % desde el 2013 al 2020 (ver Tabla 2).

Otro indicador de producción física del sector forestal es la producción registrada¹⁴, que para el 2020 alcanzó un total de 2.9 millones de m³. Parte de esta producción sirve para el abastecimiento de 1009 industrias de transformación de la madera registradas¹⁵ al 2022¹⁶. Los polos de mayor concentración de estas se localizan en San Agustín Acasaguastlán (El Rancho), El Progreso, Las Verapaces, Petén y en la ciudad de Guatemala. En esta última se concentra la mayor parte de la industria de transformación secundaria.

En cuanto a productos forestales no maderables, la exportación de plantas vivas de *ponytail* (*Beaucarnea* spp.), gallitos (*Tillandsias* spp.) y cicas (*Cycas revoluta*) y de los productos que se extraen del bosque —el xate (*Chamaedorea* sp.), chicle (*Manilkara zapota*), y la pimienta gorda (*Pimienta dioica*)— continúan siendo importantes en el país debido su valor en las exportaciones. «El impacto económico más relevante es la generación de divisas a través del comercio legal, que asciende a USD 13.56 millones en el año 2016 distribuidos así: USD 6.5 millones provenientes del comercio de especies protegidas, ya sea silvestres o cultivadas (como bromelias, orquídeas, cicas, entre otras vegetales) o animales (como iguanas y caimanes) y USD 7.06 millones provenientes del comercio de flora maderable con especies como cedro, caoba y rosul¹⁷. «Para 2019, el valor de la exportación de especímenes, productos y derivados de los recursos de flora no maderable y fauna silvestres del país fue de USD 8.85 y de USD 3.6 millones para la flora maderable»¹⁸.

13 Banguat, *Cuadros de oferta y utilización*.

14 Producción registrada es la que pasa por un proceso de trámite dentro o fuera de áreas protegidas: comprende las autorizaciones otorgadas por el INAB, el Conap y las municipalidades.

15 De lo autorizado en las licencias por el INAB, un 20 % se transforma en leña y un 80 % en troza. Este supuesto no es el mismo cuando se habla de exentos de licencia, el cual en mayor magnitud es leña.

16 Sifgua, *Empresas forestales*.

17 Conap, citado en Pineda, *Biodiversidad*, 23.

18 Conap, citado en Pineda, *Biodiversidad*, 23.

Tabla 2. Valor agregado del sector forestal, período 2013-2020.
Cifras en millones de quetzales corrientes

Actividad económica	Años									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
aserrado y cepilladura de madera	995.43	1 109.07	1171.50	1241.58	1307.30	1316.71	1413.68	1457.27		
fabricación de muebles	3325.79	3471.47	3841.67	4100.09	4359.62	4577.30	4923.64	4850.59		
fabricación de productos de madera, productos de corcho, paja y materiales trenzables	462.36	493.33	579.47	675.79	741.18	814.71	849.74	839.23		
silvicultura y extracción de madera y servicios de apoyo a la silvicultura	6959.10	7441.09	7991.31	8449.24	9526.37	9824.52	9922.10	10 335.38		
total	11 742.68	12 514.96	13 583.95	14 466.70	15 934.47	16 533.24	17 109.17	17 482.47		
% del PIB	3.00	2.97	3.03	3.06	3.22	3.19	3.07	3.09		
PIB	392 018.20	421 228.40	448 192.30	472 698.30	495 313.50	517 850.30	557 568.40	565 098.40		

Fuente: estimaciones de Juan Miguel Goyzueta, con base en datos del Banguat, 2021.

El aporte social del sector forestal se puede medir a través de la cantidad de empleos que genera dentro del sector formal de la economía, que se ha estimado entre el 0.22 % y el 2.50 % de la (PEA), es decir; 35 849 empleos en actividades de silvicultura e industria forestal, recolección de semillas y producción de plantas¹⁹. Estadísticas del INAB reportan que a través del Programa de Incentivos Forestales (Pinfor), se generaron un estimado de 30 millones de jornales durante el período de 1997-2016²⁰.

2. Objetivos y alcance del estudio

El estudio tuvo como objetivo desarrollar un análisis de las interacciones ambientales basadas en los gases de efecto invernadero (GEI) del sector forestal mediante una adaptación del ciclo de vida para los productos forestales maderables (PFM) y los productos forestales no maderables (PFNM), a través de la exploración de los diferentes eslabones de la cadena forestal. Además, el estudio tuvo como objetivo el establecimiento de coeficientes técnicos ambientales para la estimación de la huella de carbono y su uso dentro del Sistema de Cuentas Ambientales Económicas (SCAE) de Guatemala.

El análisis se centra en las emisiones generadas para el calentamiento global, el consumo de energía y el consumo de combustibles fósiles. Para el efecto se tomó como referencia cada una de las actividades de la Nomenclatura de Actividades Económicas de Guatemala (NAEG).

Para su desarrollo se establecieron las fases siguientes: la producción de la materia prima (madera, leña y productos forestales no maderables), la extracción del producto, el proceso de transformación primario y secundario hasta la obtención del producto final. La unidad funcional es la producción de una tonelada de madera en mueble, una tonelada de madera consumida y una tonelada de flora silvestre.

19 Instituto Nacional de Bosques (INAB), *Programa Nacional de Investigación Forestal*, 8.

20 INAB, *Boletín Estadístico 1998-2016*, 16.

3. Metodología

El método de análisis para el desarrollo del perfil sectorial consistió en una adaptación del enfoque de cadenas productivas para el análisis de los problemas ambientales, al cual se le denomina regularmente como análisis del ciclo de vida. Los argumentos teóricos se basan en las aportaciones de Hirschman²¹ sobre la comprensión de los encadenamientos productivos y su impacto en el desarrollo (eslabones hacia atrás o hacia adelante); así como Porter, quien puso en primer plano la discusión de los agrupamientos y cadenas (clúster)²² y su relación con la competitividad; hasta llegar a aportes más recientes como los de Kaplinsky²³, quien ha usado el análisis de cadenas como herramienta para investigar los cambios generados en el proceso de globalización; y Gereff, Humphrey & Sturgeon²⁴ que ofrecen un análisis para las denominadas cadenas productivas globales (CPG)²⁵.

En el presente estudio se siguió el esquema sugerido para el análisis de ciclo de vida de la Organización Internacional Estándar²⁶. Se trata de «una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de: a) la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto, b) la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas y c) la interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio»²⁷.

Para la compilación de un inventario de entradas y salidas se desarrolló el mapeo de la cadena forestal, la cual se estructuró por bloques de acuerdo con los flujos de producción y transformación de la madera y la leña, con una vinculación de actores según cada una de las fases, siguiendo el esquema propuesto en la «Nota conceptual»²⁸ para el desarrollo de los estudios sectoriales en el Iarna.

21 Hirschman, *The Strategy of Economic Development*.

22 Porter, *Estrategia competitiva*.

23 Kaplinsky, «Spreading the gains from globalization».

24 Gereff, Humphrey & Sturgeon, «The governance of global».

25 Instituto de Agricultura, Recursos, Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL), Nota conceptual. Cadenas productivas, 1.

26 La norma ISO 14040, Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia que regula la metodología de evaluación ambiental de análisis de ciclo de vida de un producto.

27 Regino *et al.*, «Un instrumento para el análisis», 2.

28 Iarna-URL, «Nota conceptual. Cadenas productivas».

Para la evaluación de los impactos al ambiente asociados con las entradas y salidas, se procedió a realizar una identificación de los insumos ambientales que se utilizan en cada una de las fases de la cadena que generan un producto y de otros insumos necesarios para la producción que generan residuos ambientales, lo cual se esquematizó de acuerdo con cada una de las fases productivas del análisis.

Estos insumos se ubicaron en una matriz que en su eje vertical presenta los insumos ambientales y en su eje horizontal las actividades, según la Nomenclatura de Actividades Económicas de Guatemala (NAEG), representada en la Tabla 3.

Para determinar las emisiones, la revisión documental desarrollada por Regino *et al.*²⁹ sobre estudios de caso referentes al uso de energía con base en productos maderables desarrollados durante el período de 2005 a 2010 detectó que las cargas ambientales consideradas fueron: calentamiento global (GW), acidificación (A), eutrofización (E), consumo de energía (EL), potencial de agotamiento del ozono (ODP) y combustibles fósiles (CF).

Ante la complejidad de obtener datos para la estimación de algunos coeficientes, este análisis se centra en las emisiones generadas para el calentamiento global (GW), el consumo de energía (EL) y el consumo de combustibles fósiles (CF). Para el efecto, cada una de las actividades de NAEG se dividió según procesos para la obtención de productos intermedios o finales, a partir de lo cual se elaboró una ficha técnica para la descripción general del dato, que comprende el método de estimación y el indicador de conversión obtenido.

29 Regino *et al.* «Un instrumento para el análisis».

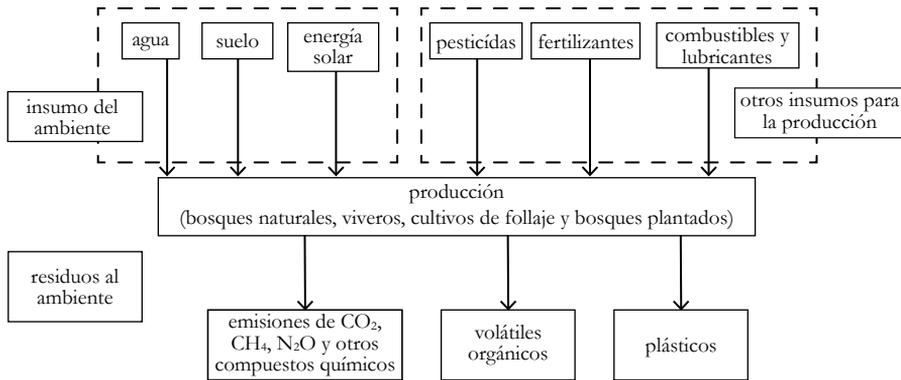
4. Resultados cualitativos: la estructura y descripción de la cadena productiva

Para la esquematización de la cadena se utilizó la clasificación siguiente: a) recurso base (adquisición de materia prima); b) flujos primarios; c) flujos secundarios; d) distribución y e) utilización final. Un mapeo completo de las relaciones se esquematiza en el Anexo 1 y cada elemento de la cadena se describe a continuación.

- a. *Recurso base (adquisición de materia prima)*. La materia prima de la cadena de la madera se obtiene según su origen del bosque natural y/o del bosque cultivado (plantaciones), de igual forma si se trata de flora silvestre o cultivada. Para ambos productos, si la materia prima se obtiene de bosque natural, se dan interacciones ambientales como el consumo de agua para el desarrollo de los procesos fisiológicos de la planta y la extracción de nutrientes del suelo que le sirve de soporte.

Si la materia prima es madera y proviene de un bosque cultivado, es necesaria la producción de semilla certificada, producción de planta en vivero y el establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales. Las interacciones con el ambiente se dan a través del consumo de agua y la extracción de nutrientes del suelo y los desechos al ambiente que provienen de la utilización de combustibles e insumos agrícolas. Esta fase concluye con la obtención de madera lista para entrar en proceso de transformación industrial. Si es flora y proviene de un cultivo de follajes las interacciones resultan ser similares que para la madera (ver interacciones ambientales para la producción del recurso base en la Figura 1).

Figura 1. Esquematación de las interacciones ambientales para la obtención del recurso base



Fuente: elaboración propia.

- b. *Flujo primario.* Este flujo de la cadena se constituye de varios productos de los cuales los principales para madera son: troza, trocilla, postes y leña. En esta fase se desarrolla la planificación de las actividades de corta y extracción del producto, que previamente conlleva la elaboración de un plan de manejo e inventario forestal y la obtención de licencias de corta.

El intermediario juega un papel fundamental en esta fase, por ser el vínculo entre los propietarios de bosque y la industria forestal, y al ser también un subcontratista de otros agentes, tales como el regente forestal, el tractorista, el operador de la motosierra, el leñador y los bueyeros.

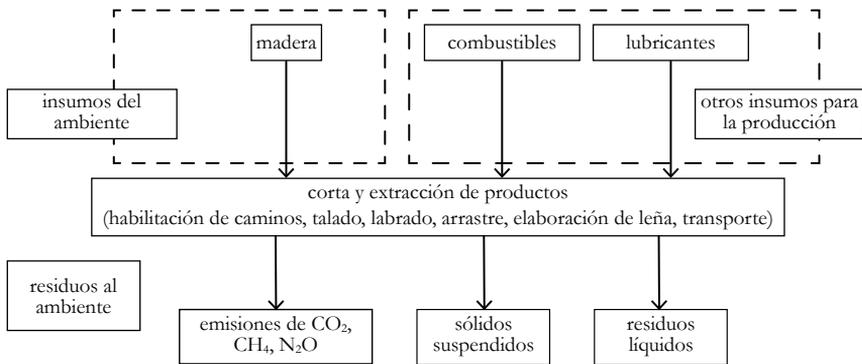
La troza se puede obtener con diferentes características: con corteza, labrada, escuadrada y trocillas. En menor grado se encuentran también productos como postes para energía eléctrica y postes para cerco. Los residuos de troza y ramas por lo regular se convierten en leña obtenida de forma directa en el campo a través de los leñadores.

La obtención de flora silvestre se realiza por medio de procesos de recolección si proviene de bosque natural o cosecha si es por

medio de cultivos. Es necesario su transporte para los centros de procesamiento primario.

Los insumos ambientales están constituidos por el recurso base (madera y flora silvestre) y la energía de fuente secundaria (combustible). El proceso de corta y extracción del producto genera residuos al ambiente consistentes en emisiones de CO₂ y partículas suspendidas según se esquematizan en la Figura 2.

Figura 2. Esquematización de las interacciones ambientales con los procesos de producción del flujo primario



Fuente: elaboración propia.

- c. *Flujo secundario.* Esta fase se caracteriza por el acopio de materia prima para la producción de madera aserrada por parte de los aserraderos. En un alto porcentaje, el aserradero compra bosques y se apoya en los servicios de los intermediarios para la gestión del plan de manejo y la autorización de la licencia forestal, otorgan financiamiento y fijan el precio del producto (flujo primario). Prestan servicios de aserri y cepillado de madera, parte de la cual proviene de consumos familiares. Pueden vender a centros de distribución o directamente al consumidor final³⁰.

Dentro del proceso de transformación primaria o secundaria, se encuentran diferentes pasos para la mutación de productos que se describen a continuación:

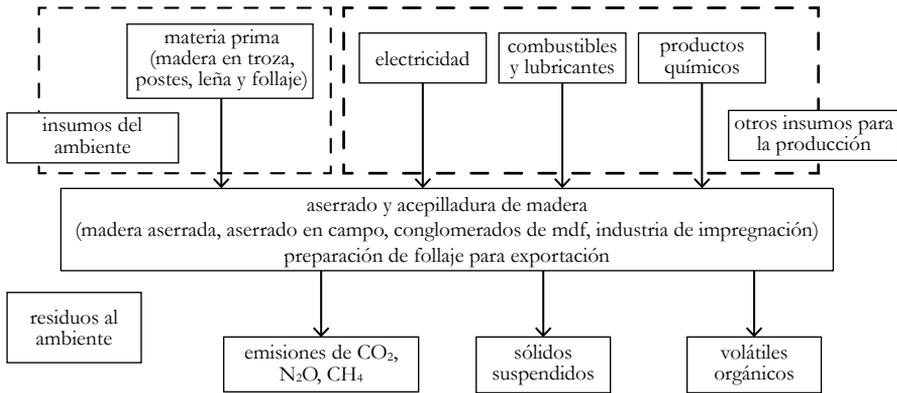
30 Iarna-URL, «Nota conceptual. Cadenas productivas».

- i) *Madera aserrada de forma directa en campo.* Por lo regular es madera rústica en *fitch*, tablones, tablas o paraleles, obtenida con motosierra, que se destina para el aserrío, la construcción rural o urbana; elaboración de muebles no acabados, camastrones de muebles de sala o camas.
- ii) *Madera dimensionada en aserradero.* Son piezas predimensionadas que pueden constituirse en partes de un mueble, duelas, partes de una puerta, forros interiores o exteriores de una casa.
- iii) *Madera para aglomerados de MDF.* Planchas de madera fabricadas a partir de elementos fibrosos básicos de madera prensados en seco. Se utiliza como aglutinante un adhesivo de resina sintética. Presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina que permite que sus dos caras y sus cantos tengan un acabado perfecto³¹.
- iv) *Madera tratada.* Madera que ha sido tratada por procesos de impregnación o revestida con productos químicos para mejorar su resistencia a la pudrición.
- v) *Carbón.* La leña puede ser transformada por procesos artesanales o industriales a carbón, el cual se destina para el consumo en restaurantes, hogares o procesos de manufactura industrial.
- vi) *Flora silvestre para exportación.* Plantas vivas o partes de follaje preparadas para su exportación.

Las interacciones con el ambiente se dan al obtener madera y postes como materia prima para el proceso de transformación, fuentes secundarias de energía tales como la eléctrica y los combustibles, lubricantes y en los procesos de impregnación de preservantes como sales minerales, que generan residuos al ambiente como las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O y SO₂, sólidos suspendidos y desechos de biomasa (ver Figura 3).

31 Bricotodo, «Tipos de tableros. MDF».

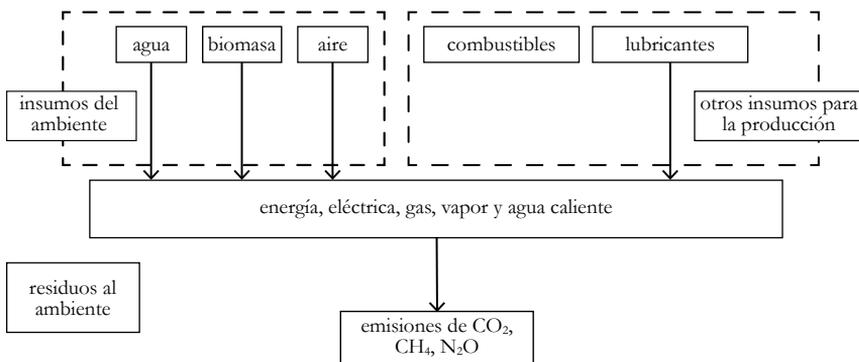
Figura 3. Esquematzación de las interacciones ambientales con los procesos de producción del flujo secundario



Fuente: elaboración propia.

- vii) *Producción de energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente.* Es la producción de energía a partir de la biomasa, para lo cual se requiere de insumos ambientales como agua, aire, leña e insumos para la producción como combustibles y lubricantes, generando emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O (ver Figura 4).

Figura 4. Esquematzación de las interacciones ambientales con los procesos de producción de energía a través de biomasa



Fuente: elaboración propia.

- d. *Distribución.* Es la fase de comercialización de los bienes finales para disposición del consumidor final. Dentro de esta fase participan intermediarios, tales como los depósitos de madera y leña, almacenes de distribución mayoristas o minoristas, puntos de distribución a menudeo (tiendas y tortillerías).

Las interacciones ambientales se dan con el transporte de los centros de producción al centro de consumo en hogares, por lo que esta etapa requiere del producto final del consumo, combustibles y lubricantes y genera residuos ambientales de CO₂ y aceite quemado.

- e. *Consumo final.* Es la última fase de la cadena. Se constituye de diferentes productos según la actividad productiva o el interés del consumidor final de la forma siguiente:

- *Madera de exportación.* Puede ser madera dimensionada, muebles de forma modular, troza sin procesar proveniente de bosque plantado.
- *Madera para la industria del mueble.* Piezas de madera dimensionada o aglomerados de MDF que se constituyen en partes de un mueble.
- *Madera impregnada.* Utilizada en la construcción o en postes de energía eléctrica.
- *Madera para construcción rural o urbana.* Madera rústica empleada en la construcción para encofrado y fraguado de concreto, que, en alguna medida, al final de su vida útil se quema en los hogares.
- *Leña.* Para la industria de manufactura (arcilla, cerámica, cal, yeso y cemento), industria de alimentos (tortillerías, panaderías, hoteles y restaurantes) y consumo en hogares.
- *Carbón.* Para uso en la industria de manufactura, restaurantes y/u hogares.
- *Flora maderable.* Insumo para la industria de floristería empacada para exportación.

Esta fase comprende la utilización de madera transformada de la industria primaria o secundaria, así como de la utilización de biomasa para la producción de energía o cocción de alimentos. Las interacciones ambientales se dan con la utilización de los productos y generan residuos al ambiente por la quema de la biomasa.

5. Resultados cuantitativos: matriz de coeficientes ambientales

Para la elaboración de las matrices que contienen los registros de entradas y salidas se consultó información sobre la producción de madera, la cual se ordenó y procesó en hojas de Excel³².

Para el cálculo de coeficientes se realizaron las conversiones necesarias para estimar los consumos por tonelada métrica de producto. Las actividades económicas del sector se agruparon según las actividades de la NAEG, y para efecto de cálculos fueron divididas de la forma siguiente:

- a. *6.2 Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas.* Comprende las subactividades producción de madera (6.2.1), corta y extracción del producto (6.2.2), y recolección de flora silvestre (6.2.3).
- b. *26.1 Aserrado y cepillado de madera.* Se consideraron los procesos para la producción de madera aserrada (26.1.1) dimensionada y el aserrado en campo (26.1.2), que generalmente produce madera rústica para su utilización en construcción rural o en la industria de la construcción urbana.
- c. *26.2 Fabricación de productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables excepto muebles.* Comprende la transformación desarrollada para la elaboración de muebles (carpinterías, 26.2.1), tapizado de muebles (tapicerías, 26.2.2) y elaboración de piezas de artesanías (26.2.3).
- d. *35.1 Fabricación de muebles.* Se divide en dos procesos para la obtención de muebles terminados: la industria de MDF (35.1.1) y la industria del mueble (35.1.2).

³² El respaldo y el procedimiento de cálculo de la determinación de coeficientes pueden consultarse en https://sie.url.edu.gt/wp-content/uploads/Varios/Cadena_Forestal-Maderable.xlsx

- e. *47.01 Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente:* que incorpora los procesos de biomasa para la producción de energía, industria de alimentos, producción de arcilla y cerámica e industria de cal, yeso y cemento.

La utilización de insumos en el proceso productivo se estimó por fases. Para la producción de plantas en viveros se estimó que se necesitan 165.9945 m³ de sustrato/ton de madera y un consumo efectivo de 30.2364 gal/ton de madera. El consumo de combustible para el transporte de una tonelada a campo definitivo se estimó en 113.088 gal/ton.

Las emisiones de CO₂ se dan en un equivalente de 0.3139 ton eq. de CO₂/ton de madera producida en viveros y de 6.5780 ton eq. de CO₂/ton de madera producida en bosque; también fue posible obtener las emisiones de metano y nitrógeno por uso de fuentes primarias de energía, pero su aportación es bastante baja, tal y como se presentan en la Tabla 4.

De residuos sólidos se producen 0.2740 ton de plásticos/ton de madera y 0.0027 ton de residuos líquidos (lubricantes)/ton de madera en viveros y 0.0713 ton de residuos líquidos (lubricantes) por ton de madera producida en bosque.

De forma similar se dan las interacciones para el proceso de corta y extracción de producto, donde se evidencia el uso de combustibles fósiles como insumo ambiental en la actividad del transporte del bosque a los centros de distribución, que es de 0.8421 gal/ton de leña y 3.7807 gal/ton de madera para el transporte de troza en especies latifoliadas. Para el caso de madera procedente de especímenes de coníferas, se consumen 0.96 gal de diésel/ton de madera para el transporte de leña y 4.31 gal de diésel/ton de madera para el transporte de troza.

Se evidencia ineficiencia en las operaciones forestales, puesto que para producir 1 ton de madera se necesitan 2.6340 m³ en especies de coníferas; siendo más ineficiente en la corta de especies de latifoliadas donde se requieren 3.2866 m³ para extraer una tonelada de madera (ver Tabla 5)³³.

33 Tomar en cuenta que de los residuos de la corta se puede producir leña y reducir las ineficiencias de la actividad forestal; sin embargo, no es una práctica habitual en las regiones en las cuales prevalecen los bosques conformados por especies de latifoliadas.

Para el caso de los productos forestales no maderables, el análisis se centró en la recolección o producción de xate (*Chamaedorea spp.*), e igualmente se consideraron los insumos ambientales para la recolección y transporte a un centro de procesamiento. Dentro de estos procesos, se estimó un consumo de 19.936 gal/ton de materia verde y se detectaron las emisiones de CO₂ al ambiente derivadas del consumo de combustible fósil de 0.201 ton eq. de CO₂/ton de materia verde. Las emisiones de CH₄ y N₂O resultan ser bastante bajas y los efluentes de lubricantes 0.6645 gal/ton de materia verde puesta en punto de procesamiento (ver Tabla 6).

El proceso de aserrado y cepillado de madera incorpora el uso de la energía en forma de electricidad, el cual es mayor si se procesa productos derivados de madera de especies de coníferas que de latifoliadas, puesto que para la producción de una tonelada de madera aserrada de especies latifoliadas se requiere de 45.388 kWh, en tanto que, para la producción de una tonelada de madera de especies de coníferas, 39.088 kWh (ver Tabla 7).

En el proceso de elaboración de muebles en carpinterías y tapicerías se evidencia la ineficiencia en los procesos de producción, puesto que se necesitan 9009 m³ de madera/ton de mueble de madera de especies latifoliadas y 6216 m³ de especies de coníferas para producir una tonelada de madera en mueble (ver Tabla 8).

Por último, de los procesos planteados para la producción de energía no se encontró mucha información, a excepción de la producción de energía por vapor de agua, en la que se pudieron estimar algunos insumos ambientales tales como agua y biomasa para la producción de un kWh y emisiones al ambiente de ton eq. de CO₂ por producir un kWh (ver Tabla 9).

Tabla 3. Matriz de interacciones ambientales para el Análisis Sectorial de la Cadena Forestal

	Insumo o residuo		Unidad
Del ambiente	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
	Agua	agua natural	m ³ /KW
	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/KWh
	aceite quemado (coníferas)	gal/ton	
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (coníferas)	m ³ /tonelada
biomasa		ton/KWh	
Recursos del subsuelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
Recursos del suelo	recursos del sustrato (suelo, compost, arena)	m ³ /tonelada	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	
	Residuos líquidos	lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

- X Datos definitivos
- X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora
- X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada
- n/a No aplica
- Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

6.2	26.1	26.2	35.1	47.01	Total
Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas	Aserrado y acepilladura de madera	Fabricación de productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables excepto muebles	Fabricación de muebles	Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente	
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	0.0016	0.002
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
113.068	n/a	n/a	n/a	n/a	113.068
5.270	n/a	n/a	n/a	n/a	5.270
0.417	2.259	n/a	n/a	n/a	2.676
0.245	0.546	n/a	n/a	n/a	0.792
n/a	45.388	19.3274	n/a	n/a	64.715
n/a	39.078	19.3274	n/a	n/a	58.405
0.23756	0.007	n/a	n/a	0.00002	0.244
4.27803	0.005	n/a	n/a	n/a	4.283
3.04460	n/a	n/a	n/a	n/a	3.045
n/a	n/a	9.009	n/a	n/a	9.009
n/a	n/a	6.216	n/a	n/a	6.216
5.26556	7.1450	n/a	n/a	n/a	
4.89002	5.4065	n/a	n/a	n/a	
n/a	n/a	n/a	n/a	2.769	2.769
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
161.26084	n/a	n/a	n/a	n/a	161.261
1.14250	0.0450	n/a	n/a	0.768935	1.956
0.05530	0.0106	n/a	n/a	n/a	0.066
0.00005	0.00000195	n/a	n/a	0.000021	0.000
0.000002	0.00000047	n/a	n/a	n/a	0.00000279
0.000016	0.00000065	n/a	n/a	0.000007	0.000023
0.0000008	0.00000016	n/a	n/a	n/a	0.000001
n/a	0.02114826	0.0090055	n/a	n/a	0.030154
n/a	0.01820823	0.0090055	n/a	n/a	0.027214
n/a	0.00004590	0.0000195	n/a	n/a	0.000065
n/a	0.00003952	0.0000195	n/a	n/a	0.000059
n/a	0.00000044	0.0000006	n/a	n/a	0.000001
0.2201	n/a	n/a	n/a	n/a	0.220064
0.8734					0.873376

Tabla 4. Coeficientes para la actividad: NAEG 6.2 Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas. NAEG 6.2.1 Producción de madera

	Insumo o residuo		Unidad
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
Del ambiente	Agua	agua natural	m ³ /KW
	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/KWh
	aceite quemado (coníferas)	gal/ton	
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
troncos de madera (latifoliadas)		m ³ /tonelada	
troncos de madera (coníferas)		m ³ /tonelada	
Recursos del subsuelo	biomasa	ton/KWh	
Recursos del suelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
	Residuos líquidos	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

6.2.1 Producción de madera			
Producción de bosque natural	Viveros	Producción de bosque plantado	Subtotal
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	30.2364	58.2725	88.509
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	0.6450	3.3798	4.025
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
	161.261		161.261
n/a	0.304904	0.587620	0.8925
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	0.000013	0.000024	0.0000
n/a	n/a	n/a	0.0000
n/a	0.000004	0.000008	0.0000
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a		n/a	n/a
n/a		n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	0.0026	n/a	0.0026
	0.0026	n/a	0.0026

Tabla 5. Coeficientes, actividad: NAEG 6.2 Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas. NAEG 6.2.2 Corta y extracción de producto

		Insumo o residuo	Unidad
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
Del ambiente	Agua	agua natural	m ³ /kW
	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/kWh
	aceite quemado (coníferas)	gal/ton	
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (latifoliadas)	m ³ /tonelada
troncos de madera (coníferas)		m ³ /tonelada	
Recursos del subsuelo	biomasa	ton/kWh	
Recursos del suelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
	Residuos líquidos	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

6.2.2 Corta y extracción del producto						
Habilitación de caminos	Tala, labrado y arrastre	Elaboración de leña	Elaboración de carbón	Transporte de leña	Transporte de madera	Subtotal
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0.0001	n/a	n/a	n/a	0.8421	3.7807	4.6229
n/a	n/a	n/a	n/a	0.9600	4.3100	5.2700
n/a	0.1650	0.0993	0.1528	n/a	n/a	0.4172
n/a	0.1322	0.1132	n/a	n/a	n/a	0.2455
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	0.0521	0.0314	n/a	0.0281	0.1260	0.2376
0.000001	0.0418	0.0358	n/a	0.0320	0.1437	0.2532
n/a	n/a	n/a	3.0446	n/a	n/a	3.0446
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	3.2866	1.9790	n/a	n/a	n/a	5.2656
n/a	2.6340	2.2560	n/a	n/a	n/a	4.8900
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
0.00000052	0.0014	0.0009	n/a	0.0085	0.0381	0.048940
n/a	0.0012	0.0010	n/a	0.0097	0.0435	0.055300
0.0000000002	0.00000007	0.00000043	0.00000066	0.00000159	0.00000035	0.0000021
n/a	0.000000057	0.000000049	n/a	0.00000181	0.00000040	0.0000023
0.000000000007	0.000000024	0.000000014	0.000000022	0.00000053	0.00000012	0.0000007
n/a	0.000000019	0.000000016	n/a	0.00000060	0.00000013	0.0000008
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	0.0418	n/a	n/a	0.0320	0.1437	0.2201
n/a	0.0521	n/a	n/a	0.1260	0.0281	0.2088

Tabla 6. Determinación de coeficientes, actividad: NAEG 6.2 Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas. NAEG 6.2.3 Recolección de vida silvestre

	Insumo o residuo		Unidad
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
Del ambiente	Agua	agua natural	m ³ /kW
	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/kWh
	aceite quemado (coníferas)	gal/ton	
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (latifoliadas)	m ³ /tonelada
troncos de madera (coníferas)		m ³ /tonelada	
Recursos del subsuelo	biomasa	ton/kWh	
Recursos del suelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
	Residuos líquidos	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Determinación de coeficientes, actividad: NAEG 26.1. Aserrado y cepillado de madera

	Insumo o residuo		Unidad
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
	Agua	agua natural	m ³ /KW
Del ambiente	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/KWh
		aceite quemado (coníferas)	gal/ton
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (coníferas)	m ³ /tonelada
Recursos del subsuelo	biomasa	ton/KWh	
Recursos del suelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	
	Residuos líquidos	lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

X Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

26.1.1 Madera aserrada (dimensionada)				26.1.2 Aserrado en campo		26.1.3 Industria de impregnación		Total
A serradero móvil	Sierra circular	A serradero móvil, sierra de cinta, sierra circular	Subtotal	Flitch, tablón, tablas y paralelas	Subtotal	impregnación de madera dimensionada y postes	Subtotal	
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a			n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
		4.0886	4.0886	0.4292	0.4292	n/a	n/a	2.2589
		0.7490	0.7490	0.3439	0.3439	n/a	n/a	0.5465
n/a		45.3876	45.3876	n/a	n/a			45.3876
n/a		39.0778	39.0778	n/a	n/a			39.0778
n/a				0.0068	0.0068	n/a	n/a	0.0068
				0.0055	0.0055	n/a	n/a	0.0055
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
		5.7408	5.7408	8.5492	8.5492			7.1450
		3.9613	3.9613	6.8516	6.8516			5.4065
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
n/a	n/a	0.04122915	0.0412	0.00377140	0.0038	n/a	n/a	0.0450
n/a	n/a	0.00755307	0.0076	0.00302254	0.0030	n/a	n/a	0.0106
n/a	n/a	0.00000177	0.0000	0.00000019	0.0000	n/a	n/a	0.000001953
n/a	n/a	0.00000032	0.0000	0.00000015	0.0000	n/a	n/a	0.000000472
n/a	n/a	0.00000059	0.0000	0.00000006	0.000000062	n/a	n/a	0.000006510
n/a	n/a	0.00000011	0.00000011	0.00000005	0.00000005	n/a	n/a	0.00000016
n/a	n/a	0.02114826	0.02114826	n/a	n/a	n/a	n/a	0.02114826
n/a	n/a	0.01820823	0.01820823	n/a	n/a	n/a	n/a	0.01820823
n/a	n/a	0.00004590	0.00004590	n/a	n/a	n/a	n/a	0.00004590
n/a	n/a	0.00003952	0.00003952	n/a	n/a	n/a	n/a	0.00003952
n/a	n/a	0.00000044	0.00000044	n/a	n/a	n/a	n/a	0.00000044
						n/a		

Tabla 8. Determinación de coeficientes, actividad: NAEG 26.2. –Fabricación de productos de madera, corcho, paja, y materiales trenzables, excepto muebles

	InsUMO o residuo		Unidad
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton
	Agua	agua natural	m ³ /KW
Del ambiente	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton
		electricidad (coníferas)	kw /ton
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/KWh
	aceite quemado (coníferas)	gal/ton	
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (latifoliadas)	m ³ /tonelada
		troncos de madera (coníferas)	m ³ /tonelada
Recursos del subsuelo	biomasa	ton/KWh	
Recursos del suelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	
	Recursos del suelo	recursos del sustrato (suelo, compost, arena)	m ³ /tonelada
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada
	emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada	
	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	
	Residuos líquidos	lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

X Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Determinación de coeficientes. Actividad: NAEG 47.1. Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente

	Insumo o residuo		Unidad	Producción de energía	
				Producción de energía	Total
	Aire	aire caliente insuflado	kg/ton		
Del ambiente	Agua	agua natural	m ³ /kW	0.0016	0.0016
	Energía	energía de fuentes primarias	terajoules/tonelada	n/a	n/a
		energía de fuentes secundarias (electricidad)	terajoules/tonelada	n/a	n/a
		combustible diésel (latifoliadas)	gal/ton	n/a	n/a
		combustible diésel (coníferas)	gal/ton	n/a	n/a
		combustible gasolina (latifoliadas)	gal/ton	n/a	n/a
		combustible gasolina (coníferas)	gal/ton	n/a	n/a
		electricidad (latifoliadas)	kw /ton	n/a	n/a
		electricidad (coníferas)	kw /ton	n/a	n/a
		aceite quemado (latifoliadas)	gal/kWh	0.00002	0.00002
		aceite quemado (coníferas)	gal/ton	n/a	n/a
	Biomasa	leña	m ³ /tonelada	n/a	n/a
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (latifoliadas)	m ³ /tonelada	n/a	n/a
		madera aserrada o cortada longitudinalmente, madera con librado continuo, madera sin elaborar (coníferas)	m ³ /tonelada	n/a	n/a
troncos de madera (latifoliadas)		m ³ /tonelada	n/a	n/a	
troncos de madera (coníferas)		m ³ /tonelada	n/a	n/a	
biomasa		ton/kWh	2.7686	2.7686	
Recursos del subsuelo	pedra de construcción o de talla, yeso, arenas y arcillas	toneladas/tonelada	n/a	n/a	
Recursos del suelo	recursos del sustrato (suelo, compost, arena)	m ³ /tonelada	n/a	n/a	
Hacia el ambiente	Emisiones	emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada	0.7689	0.7689
		emisiones de CO ₂ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada	0.000021	0.000021
		emisiones de CH ₄ del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (latifoliadas)	t eq/tonelada	0.00001	0.00001
		emisiones de N ₂ O del uso de fuentes primarias de energía (coníferas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de CO ₂ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
		emisiones de CH ₄ del uso de electricidad (coníferas)	t eq/tonelada	n/a	n/a
	emisiones de N ₂ O del uso de electricidad (latifoliadas)	t eq/tonelada	n/a	n/a	
	Residuos líquidos	lubricantes (coníferas)	tonelada/tonelada	n/a	n/a
		lubricantes (latifoliadas)	tonelada/tonelada	n/a	n/a

X Datos definitivos

X Existe una buena probabilidad de tener el dato o bien ya se tiene, pero es susceptible de mejora

X La posibilidad de obtener el dato es muy limitada

n/a No aplica

Investigar más sobre el tema

Para el gasto de combustible se asume un promedio porque los registros no precisan cuanto se procesa en el campo.

Fuente: elaboración propia.

6. Discusión

La principal interacción ambiental en el proceso de producción de madera es el agua y el sustrato para la producción de planta en campo definitivo; pero no fueron cuantificadas por no generar ningún problema de tipo ambiental. No obstante las interacciones ambientales expuestas en el planteamiento teórico, es evidente que algunos insumos no derivan precisamente del ambiente, tales como los combustibles fósiles, plásticos o fertilizantes nitrogenados, que han sufrido transformaciones previas a su incorporación en el proceso productivo, pero que de hecho las emisiones y los efluentes derivados de su utilización constituyen fuentes de contaminación.

El presente estudio permite visibilizar los impactos ambientales del sector y no ver las cosas por separado, puesto que considera la participación de cada uno de los actores de la cadena en las diferentes actividades.

Se tiene que poner en la balanza qué es más positivo, si el consumo de mayor biomasa a través del aserrío en campo que genera menos contaminación o el procesamiento en la industria de la madera que es más eficiente pero también más contaminante.

Por último, en los procesos planteados para la producción de energía no se encontró mucha información, a excepción de la producción de energía por vapor de agua (datos preliminares), actividad para la cual se identificó algunos insumos ambientales, tales como el agua y la biomasa para la producción de un kWh y emisiones al ambiente de ton eq de CO₂ para producir un kWh.

Los resultados obtenidos en esta investigación son preliminares, es necesaria su validación mediante encuestas o entrevistas a informantes claves del sector forestal, así como la colaboración de algunos actores del sector, sin lo cual no es posible llegar a obtener cierto número de coeficientes y dar consistencia y solidez a los obtenidos.

7. Conclusiones

El análisis de las cadenas productivas permitió estudiar y sintetizar los principales procesos involucrados en las actividades productivas del sector forestal. El desglose de los procesos productivos se logró mediante la revisión de información secundaria contenida en documentos técnicos que respaldan los coeficientes obtenidos.

El presente estudio identificó de forma preliminar coeficientes técnicos sobre insumos ambientales, residuos y emisiones, asociados a las actividades productivas del sector forestal.

En cuanto a los otros objetivos planteados, el análisis realizado permitió elaborar un mapeo de la cadena productiva del sector, identificando las interacciones ambientales, las cuales fueron descritas en fichas técnicas elaboradas con datos que respaldan los cálculos desarrollados. El análisis de insumos y residuos ambientales permitió evidenciar la alta dependencia que las actividades del sector forestal tienen del ambiente, así como la contaminación que la actividad genera a través de la descarga de flujos y emisiones contaminantes al ambiente.

Este estudio ha permitido identificar y caracterizar las principales interacciones ambientales de las actividades económicas del sector forestal. Aún y cuando el número de coeficientes es reducido, se cuenta ahora con información sobre procesos productivos e interacciones ambientales que pueden ser utilizados para la determinación de insumos y residuos ambientales dentro de la Cuenta Integrada de Bosque. Por lo tanto, los futuros enfoques deberán direccionarse a generar información para la obtención de coeficientes no determinados.

El punto de partida de la cadena es la producción de bosque natural o cultivado y se concluye en el consumo en los hogares o el consumo intermedio para la producción de otro bien o servicio para la economía. Los principales insumos ambientales que participan dentro de la producción de la madera son: el agua, el sustrato y la energía solar, y como insumos procesados, los combustibles fósiles (diésel y gasolina) y la electricidad.

Es fundamental dentro de todo el ciclo de vida el transporte de la materia prima para la producción de bienes intermedios o de consumo final.

Es necesario que por medio de un muestreo de campo se obtengan datos que de forma precisa establezcan las distancias para el abastecimiento de insumos y la venta de la producción en todos los procesos, el consumo de combustible y electricidad en el aserrado de la madera y recopilar información sobre procesos de impregnación de madera, elaboración de artesanías, industrias de MDF, industria del mueble y producción de energía.

En todas las actividades que provocan sólidos suspendidos (por construcción de caminos, por aserrado de madera) se deberán de hacer pruebas de campo para su determinación.

Bibliografía

- Álvarez, Daniel, Ynocente Betancourt, José Rodríguez, Juan Pastor, María Josefa Villalba, Joaquín Alaejos, Cristina Prades, Enrique Alvarez y Fidel Candano. «Aprovechamiento forestal». Universidad de Pinar del Río; Universidad de Huelva; Universidad de Córdoba, 2010. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/aprovechamiento-forestal-cuba/aprovechamiento-forestal-cuba.pdf>
- Aovero (blog). ¿Cuál es la densidad del aceite en Kg por m³? <https://www.aovero.es/cuales-la-densidad-del-aceite-en-kg-m3/>
- Arreaga, José. «Rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie caoba (*Swietenia macrophylla*) en dos aserraderos del municipio de Flores, Petén». Tesis de licenciatura (ingeniería agronómica), Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- Bámaca, Edgar, Marcus Kanninen, Bastian Louman, Lucio Pedroni y Manuel Gómez. «Contenido del carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de la Biosfera Maya». *CATIE. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente*, núm. 41 (2004): 102-110.
- Banco de Guatemala (Banguat). Cuadros de Oferta y Utilización, 2021. [Inédito].
- Banco de Guatemala (Banguat) e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL). *Compendio de cuadros estadísticos del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada de Guatemala (SCAIE). Período 2001-2006*. Guatemala: Iarna-URL, 2009.

- _____. *Cuenta Integrada del Bosque. Resultados y análisis*. Serie de Coediciones 31. Guatemala: Iarna-URL, 2009.
- Beaumont, Eduardo. *Caso de estudio: Autoproducción de electricidad a partir de residuos de madera y leña en la República Argentina*. Roma: FAO, 1994. <https://www.fao.org/3/v6204s/v6204s00.htm>
- Bran, Ernesto. «Determinación de rendimientos de carbón vegetal en bosques de encino del departamento de El Progreso, empleando dos métodos de producción». Tesis de licenciatura (ciencias agrícolas), Universidad Rafael Landívar, 2007.
- Brico-todo. «Tipos de tableros. MDF». s. f. <http://www.bricotodo.com/tipostableros.htm>
- Campos, René y Per Chirstiansen. «Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza». *Revista Forestal del Perú* 1, núm. 2 (1967). <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/836>
- Castillo, Roxana. «Aprovechamiento de residuos de madera de caoba y manchiche para una concesión forestal del departamento de Petén». Tesis de licenciatura (ingeniería mecánica), Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación (UNEP-WCMC). *Brasil. Panorama general del país respecto a la implementación del EUTR*. 2018. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/internacional-especies-madera/ficha_brasil_092018_tcm30-512587.pdf
- Chauvin, Henri. (1976). «Explotación inicial del bosque húmedo tropical y extracción de la meciera». *Unysilva* 28, núm. 3 (1976): 112-113.
- Coffee & Climate* (blog). «Bolsas más profundas». *Toolbox*, s. f. <https://toolbox.coffeeandclimate.org/es/tools/deeper-polybags/>
- Congreso de la República de Guatemala. Decreto núm. 101-96. Ley Forestal. https://www.inab.gob.gt/images/centro_descargas/legislacion/Ley%20Forestal.PDF
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) y Agencia Internacional para el Desarrollo (Usaid). *Planificación de aprovechamiento forestal y aserrío de 13 empresas comunitarias para la gestión 2004. Informe de asistencia técnica*. Proyecto BIOFOR/CHEMONICS/USAID, 2003.
- Environmental Protection Agency. *Emission Facts: Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel*. Pensilvania: EPA, 2005. <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPURL.cgi?Dockey=P1001YTF.txt>
- García, Roberto. «Estudio técnico justificativo para el aprovechamiento no maderable del Ejido de Peña Blanca, Municipio de Ocosingo, Chiapas». Chiapas: Servicios Técnicos Forestales; Dirección Técnica Forestal, 2003. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chis/estudios/2003/07CH2003FD071.pdf>

- Gereffi, Gary, John Humphrey & Timothy Sturgeon. «The governance of global value chains». *Review of International Political Economy* 12, núm. 2 (2005): 78-104. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/fisheries/docs/GVC_Governance.pdf
- Gobierno de Guatemala. *Los Acuerdos de Paz en Guatemala*. Guatemala: Presidencia de la República, Secretaría de La Paz, 1996. <http://biblioteca.oj.gob.gt/digitales/44084.pdf>
- Hirschman, Albert. *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press, 1958.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL). «Cuenta Integrada del Bosque». Documento de trabajo [inédito], 2011.
- _____. «Nota conceptual. Cadenas productivas y ambiente natural en Guatemala: Una perspectiva sectorial». Documento de trabajo [inédito], 2010.
- _____. *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Serie del Perfil Ambiental núm. 11. Guatemala: Iarna-URL, 2009.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar (Iarna-URL), Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Alianza Mundial para la Contabilidad de la Riqueza y la Valoración de los Servicios de los Ecosistemas (Waves). *Cuenta de Bosques de Guatemala 2001-2014*. Guatemala: Waves, 2019. <https://documents1.worldbank.org/curated/ru/369111561108913518/pdf/Cuenta-de-Bosques-de-Guatemala-2001-2014.pdf>
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). *Boletín estadístico 1998-2016*. Guatemala: Departamento de Incentivos Forestales, 2019.
- _____. *Programa Nacional de Investigación Forestal*. Serie Técnica. DT-007. Guatemala: Dirección de Desarrollo Forestal, Departamento de Investigación Forestal, 2015.
- _____. *Memoria de Labores 2021*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y Universidad Rafael Landívar (URL). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de la cobertura forestal 2010-2016*. Guatemala: URL, 2019. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/pPublicacion.aspx?pb=1033>
- Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Organización Internacional de Maderas Tropicales y Consejo Nacional de Estándares Forestales para Guatemala (Conesforgua). *Estudio de rendimiento de transformación primaria en la industria forestal de Guatemala*. Serie Técnica núm. GT-11. Guatemala: INAB, 2016.

- Instituto Nacional de Bosques (INAB), Programa Forestal Nacional (PFN), Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) e Instituto de Incidencia Ambiental. *Diagnóstico del proyecto «Forest Connects» sobre las MIPYMES en Guatemala*. Guatemala: INAB, 2008.
- Kaplinsky, Raphael. «Spreading the gains from globalization: What can be learned from value-chain analysis?». *Problems of Economic Transition* 47, núm. 2 (2004): 74-115.
- Manzanero, Manuel y Adela Salazar. *Estudio de rendimiento de aserrio de madera de la especie caoba (Swietenia macrophylla) en la Concesión Forestal Unidad de Manejo San Andrés Petén (Afisap). Informe de Regencia Forestal*. Guatemala: Acofop; Conap, 2003.
- Ministerio de Agricultura de Chile. «Estadísticas Forestales». Instituto Forestal de Chile. s. f. <https://wef.infor.cl/index.php/destacados/anuario/a-nivel-nacional-el-sector-forestal-participa-con-el-2-1-del-pib-total-en-la-region-del-biobio-se-alcanza-el-15-8#:~:text=Los%20resultados%20muestran%20que%20el,es%20unos%20US%24%204.692%20millones>.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) y Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG). *Agenda Nacional Forestal de Guatemala en el marco del Programa Forestal Nacional. Programa Forestal Nacional de Guatemala 2003-2012*. Guatemala: MAGA; PAFG, 2003. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/gua148601.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG). «Apoyo al seguimiento de la Agenda Forestal de Guatemala 2002-2012». Documento base. Proyecto GCP/GUA/OO8/NET. Guatemala: MAGA; PAFG, 2003.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. «Características y estructura del sector forestal-madera-muebles en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica». Documento de trabajo núm. 95, *Observatorio Agrocadenas Colombia*, 2005.
- Mosquera, Virginia. «Balanza de masas sobre la cadena de aprovechamiento forestal de pino candelillo (*Pinus maximinoii* H.E. Moore Pinaceae) en la subregión V-2, Chimaltenango, Guatemala». Tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar, 2009.
- Oficina Económica y Comercial de España en Panamá. *Informe económico y comercial Costa Rica*. 2021. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/america-central-caribe/ofecom-informeeconcomercial_may2021_tcm30-542367.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Estadística de energía: Definiciones, unidades de medida y factores de conversión*. Estudios de Métodos. Serie F, núm. 44. Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Internacionales; Oficina de Estadística, 1987.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Stationary Combustion. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama: Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), 2006.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). «Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina». Documento de trabajo. Informe Nacional de Guatemala. 2004. <https://www.fao.org/3/j3029s/j3029s07.htm>
- Ortiz, Paulo. «Comparación financiera de tres métodos de producción de xate cola de pescado (*Chamaedorea ernesti-augustii*) en los departamentos de Petén e Izabal, Guatemala». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- Pineda, Pedro. *Biodiversidad*. Edición técnica por Juventino Gálvez. Guatemala: Editorial Cara Parens, 2022. <https://cparens.url.edu.gt/producto/biodiversidad/>
- Pinelo, Gustavo. *Informe sobre rendimiento de madera en rollo*. Proyecto Catie-Conap, NPV. Turrialba, 2000.
- Porter, Michael. *Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*. Ciudad de México: Compañía Editorial Continental, 1982.
- Prado, Rony. «Comparación del establecimiento de dos líneas de procesos de transformación primaria, con maderas de coníferas, en el aserradero de FEDECOVERA, R. L., Cobán, Alta Verapaz, Guatemala». Tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar, 2010.
- Quevedo, Jerson. «Propuesta de manejo para la producción-extracción de los xates *Chamaedorea elegans* Martius, *C. oblongata* Martius, *C. ernestii-augustii* Wendl en la zona de usos especiales del parque nacional Xaha-Nakún-Naranjo, Petén, Guatemala». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.
- Quiroz, Rodolfo, Orlando Chinchilla y Marianela Gómez. «Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales». *Agronomía Costarricense* 29, núm. 2 (2005): 7-15. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n02_007.pdf
- Regino, Patricia, Juan Regino y Charles Riba. «Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos maderables. El análisis de ciclo de vida y su adecuación para empresas forestales comunitarias en Oaxaca». *Innovación y Ecología Industrial* (2010). https://www.researchgate.net/publication/275333562_Un_instrumento_para_el_analisis_y_evaluacion_ambiental_de_productos_maderables_El_analisis_de_ciclo_de_vida_y_su_adequacion_para_empresas_forestales_comunitarias_en_Oaxaca
- Reyes, José, Arnulfo Aldrete, Víctor Cetina-Alcalá y Javier López Upton. «Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Apulcensis* en sustratos de base de aserrín». *Revista Chapingo* 11, núm. 2 (2005): 105-110.
- Sazo, Sergio Estuardo. «Implementación del uso de aglomerados de madera, como alternativa en la industria de muebles». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

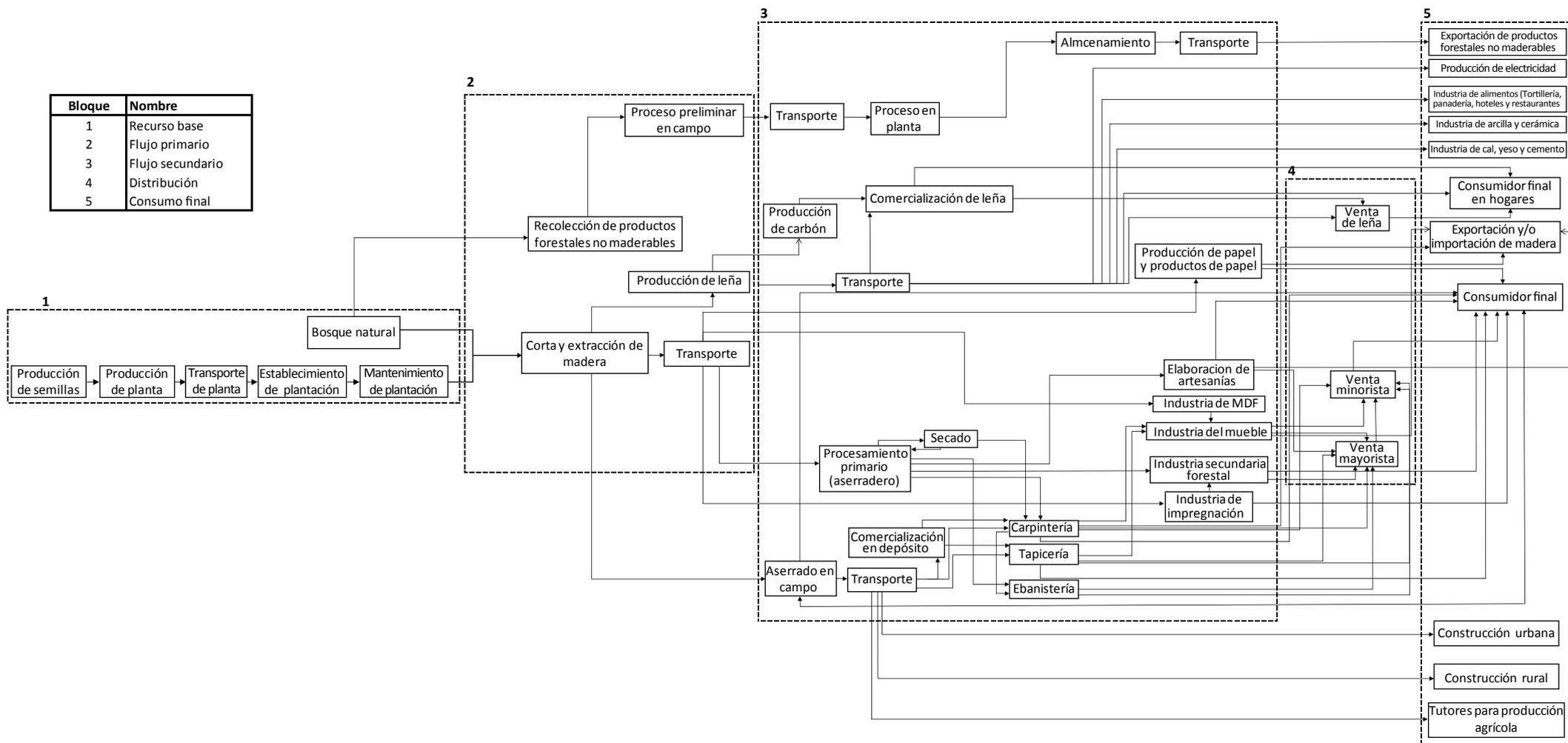
Schneider, Dana. «Cómo calcular el costo de combustible por milla de sus camiones». *RTS* (blog). *Fuel Savings*, 11 de agosto de 2022. <https://www.rtsinc.com/es/articles/cmo-calcular-el-costo-de-combustible-por-milla-de-sus-camiones#:~:text=En%20promedio%2C%20los%20camiones%20obtienen,y%20la%20antig%C3%B3nidad%20del%20cami%C3%B3n>

Sistema de Información Forestal de Guatemala (Sifgua). *Comercio interno de productos forestales*. Guatemala: Sifgua, 2022. <http://www.sifgua.org.gt/SIFGUAData/PaginasEstadisticas/Comercio-interno/seinef.aspx>

_____. *Empresas forestales*. Guatemala: Sifgua, 2022. <https://www.sifgua.org.gt/PaginasEstadisticas/registro-nacional/empresas-forestales.aspx>

_____. *Información detallada de manejo forestal*. Guatemala: Sifgua, 2022. <http://www.sifgua.org.gt/SIFGUAData/PaginasEstadisticas/Recursos-forestales/manejo-forestal.aspx>

Anexo 1. Mapa de la cadena de la madera



— Flujos
- - - Bloques

Fuente: elaboración propia.