

La huella ambiental del libro

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
DE UN LIBRO EDITADO,
PRODUCIDO, COMERCIALIZADO
Y DISPUESTO EN COLOMBIA**



cerlalc
Centro Regional para el
Fomento del Libro en América
Latina y el Caribe





Ministerio de las Culturas, las Artes y los Saberes

Yannai Kadamani Fonrodona
Ministra de las Culturas, las Artes
y los Saberes

William Fabián Sánchez Molina
Viceministro (e) de las Artes
y la Economía Cultural y Creativa

Saia María Vergara Jaimes
Viceministra de los Patrimonios,
las Memorias y Gobernanza Cultural

Luisa Fernanda Trujillo Bernal
Secretaria General

Adriana Martínez-Villalba
Directora de la Biblioteca Nacional
de Colombia

Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe - Cerlalc

Margareth Menezes
Ministra de Cultura de Brasil
Presidenta del Consejo

Ernest Urtasun Domenèch
Ministro de Cultura de España
Presidente del Comité Ejecutivo

Margarita Cuéllar Barona
Directora

Francisco Thaine
Subdirector general

María Fernanda de la Ossa
Secretaria general

Jeimy Hernández Toscano
Directora técnica de Lectura,
Escritura y Bibliotecas

José Diego González M.
Director técnico de Ecosistema Editorial

LA HUELLA AMBIENTAL DEL LIBRO. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN LIBRO EDITADO, PRODUCIDO, COMERCIALIZADO Y DISPUESTO EN COLOMBIA

Agosto de 2025

ISBN (PDF): 978-958-671-282-8

Publicado por

**Centro Regional para el Fomento del Libro
en América Latina y el Caribe – Cerlalc**

Calle 70 n.º 9-52

cerlalc@cerlalc.org • www.cerlalc.org

Bogotá, D.C., Colombia

Responsable del estudio

Casostenible S. A. S.

gerencia@casostenible.com

<https://www.casostenible.com/>

Bogotá, D. C., Colombia

Coordinación

José Diego González Mendoza

Catalina Ospina

Gabriela Rojas

Revisión técnica

Catalina Ospina

Resumen ejecutivo

José Diego González Mendoza

Coordinación editorial

Daniela Abella

Corrección de estilo

Isadora González Rojas

Ojo de Lupa Editores

Diseño y diagramación

Natalia Ayala Pacini

estudiocausal.co

CON LA COLABORACIÓN:



Multiimpresos
Siempre habrá una primera impresión.



nomos
impresores

PANAMERICANA
formas e IMPRESOS S.A.



Esta publicación está disponible bajo la licencia Atribución/Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>)

	Presentación p. 6	
	Resumen ejecutivo p. 8	
01 [↗]	Introducción p. 20	
02 [↗]	Aspectos generales p. 22	
03 [↗]	Objetivo del estudio p. 23	
04 [↗]	Alcance del estudio p. 26	
05 [↗]	Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV) p. 40	
06 [↗]	Evaluación del inventario de ciclo de vida (EICV) p. 48	
07 [↗]	Interpretación del ciclo de vida p. 69	
08 [↗]	Recomendaciones p. 71	
	Referencias p. 75	

	ÍNDICE DE TABLAS	↗
TABLA 1	Categorías de impacto ambiental	p. 27
TABLA 2	Composición del libro objeto de análisis	p. 28
TABLA 3	Transporte de materias primas e insumos (impresión <i>offset</i> y digital)	p. 41
TABLA 4	Inventario de producción (impresión <i>offset</i> y digital)	p. 43
TABLA 5	Resultados de EICV (impresión <i>offset</i>)	p. 52
TABLA 6	Resultados de EICV (impresión digital)	p. 55
TABLA 7	Resultados de impacto (impresión <i>offset</i>)	p. 58
TABLA 8	Resultados de impacto (impresión digital)	p. 59
TABLA 9	Comparativo de los resultados de EICV – Impresión <i>offset</i> vs. digital	p. 60
TABLA 10	Variables de cálculo para determinar el tiraje mínimo requerido para que el impacto ambiental de un ejemplar impreso en <i>offset</i> sea equivalente al de un ejemplar impreso en digital	p. 62

	ÍNDICE DE FIGURAS	↗
FIGURA 1	Ciclo de vida del libro	p. 29
FIGURA 2	Contribución porcentual de las distintas etapas del ciclo de vida por categoría de impacto ambiental (impresión <i>offset</i>)	p. 53
FIGURA 3	Contribución de cada etapa del ciclo de vida a la categoría potencial de calentamiento global (impresión <i>offset</i>)	p. 54
FIGURA 4	Contribución porcentual de las distintas etapas del ciclo de vida por categoría de impacto ambiental (impresión digital)	p. 56
FIGURA 5	Contribución de cada etapa del ciclo de vida a la categoría potencial de calentamiento global (impresión digital)	p. 57
FIGURA 6	Resultados comparativos - Impresión <i>offset</i> vs. digital	p. 60
FIGURA 7	Participación de las materias primas del libro en las categorías de impacto evaluadas	p. 64
FIGURA 8	Comparativo de sensibilidades de papel	p. 65
FIGURA 9	Comparativo de sensibilidades del libro con tres tipos de papel	p. 66
FIGURA 10	Comparativo de sensibilidades de tinta	p. 67
FIGURA 11	Comparativo de sensibilidades de un libro con dos tipos de tinta	p. 68

Presentación

El compromiso del sector editorial con la sostenibilidad ambiental no es solo una cuestión ética o de responsabilidad social: es también una estrategia necesaria ante las exigencias regulatorias, las expectativas de los lectores y los desafíos que impone el calentamiento global. Sin embargo, conviene introducir una dosis de perspectiva: comparado con sectores como el energético, el agroindustrial o el transporte, el impacto ambiental del sector editorial es modesto. Además, el libro es de por sí un bien que no se agota en un solo uso, que está pensado para durar.

Ahora bien, el hecho de que el impacto sea bajo no exime al sector editorial de responsabilidad. El libro es un bien cultural con una alta carga simbólica. Como se señaló en una de las conclusiones del Parlamento de la Ecoedición 2024, convocado por el Institut de l'Ecoedició, “el impacto ambiental del mundo del libro no es de los más elevados, pero su impacto social sí”. De ahí que asumir el compromiso de medir, mitigar y comunicar los efectos ambientales de la producción y circulación del libro pueda convertirse en un ejemplo de considerable repercusión.

Por otra parte, el libro no escapa a la globalización de las cadenas de suministro —hasta una pequeña editorial imprime hoy sus libros en China—. Hay que mencionar también que estamos en un contexto en el que la sociedad es cada vez más sensible a los impactos ambientales, sociales y de gobernanza de las diferentes actividades productivas, lo que se traduce en exigencias de los consumidores.

En suma, la adopción de una agenda de sostenibilidad ambiental por parte del sector editorial puede traducirse en una ventaja competitiva, en beneficios reputacionales e inclusive en mayor acceso a capital. No hay razón para pensar que los países latinoamericanos no vayan a adoptar en un futuro cercano regulaciones específicas que afecten al sector editorial, lo que convertirá la adopción de prácticas ambientalmente sostenibles en una cuestión de obligatoriedad y no de buena voluntad. En ese sentido, cabe destacar la entrada en vigor del Reglamento de la Unión Europea sobre productos libres de deforestación, por cuanto puede convertirse en un precedente para los países latinoamericanos.

En América Latina, el camino hacia una edición ambientalmente responsable enfrenta retos estructurales: acceso desigual a tecnologías limpias, escasa



disponibilidad de papeles certificados o reciclados, altos costos logísticos y limitada articulación entre actores de la cadena de valor. A esto se suma un rasgo común de los sectores editoriales en la región: la atomización y la polarización. Los actores más pequeños —que son la mayoría— pueden tener una menor capacidad para adoptar prácticas sostenibles, lo que convierte la colaboración sectorial en una condición indispensable para avanzar en una agenda verde. A todo esto se añade la falta de información precisa sobre los impactos reales de la producción editorial, lo cual dificulta la toma de decisiones basadas en evidencia.

En este contexto, gracias a un convenio de cooperación internacional suscrito con la Biblioteca Nacional - Ministerio de las Culturas, las Artes y los Saberes de Colombia, el Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe (Cerlalc) llevó a cabo el análisis de ciclo de vida de un libro en Colombia, desde la cuna hasta la tumba (esto es, desde la extracción de los recursos necesarios para su fabricación hasta su disposición final). Los datos se obtuvieron gracias a la insustituible colaboración de tres imprentas ubicadas en Bogotá, a las que agradecemos su apertura, disposición y paciencia.

El objetivo de este estudio —quizás el primero de su tipo realizado en América Latina— es doble: dimensionar el impacto ambiental del libro impreso y delinear pautas para su mitigación. Su realización deja, además, importantes lecciones respecto a la dificultad de obtener información específica, así como sobre la necesidad de establecer acuerdos sobre los límites y supuestos. Solo así se podrá asegurar una base común que permita cierto grado de comparabilidad entre diferentes estudios.

El camino es todavía largo, más aún si se trata de implementar iniciativas de alcance regional. Esta es apenas una iniciativa piloto. Para avanzar hacia una edición sostenible, se requiere una agenda sectorial compartida, con datos, compromiso y trabajo colaborativo entre actores públicos y privados. Como bien se indica en otras de las conclusiones del Parlamento de la Ecoedición:

la ecoedición es una propuesta colaborativa que implica a todo el ecosistema del libro y a todas sus cadenas de valor [...]. Hay muchas maneras de hacer bien una misma cosa. La ecoedición acoge este ecosistema e incorpora las necesidades, preocupaciones y singularidades de esta bibliodiversidad.

JOSÉ DIEGO GONZÁLEZ MENDOZA

Director técnico de Ecosistema Editorial
Cerlalc-Unesco



Resumen ejecutivo

Este estudio de análisis de ciclo de vida (ACV) de un libro evalúa los impactos ambientales, en nueve categorías de impacto, asociados a las siguientes etapas: edición y diseño; fabricación de materias primas e insumos y su transporte; producción (impresión *offset* y digital); distribución, uso y fin de vida de un libro de interés general en Colombia. Fue realizado por Casostenible, empresa colombiana con más de trece años de experiencia. La coordinación estuvo a cargo del Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe (Cerlalc).

El estudio se realizó bajo las normas internacionales ISO 14040 e ISO 14044; se utilizó el *software* especializado SimaPro 9.5. Como fuente de datos genéricos, se seleccionó la base de datos Ecoinvent, en su versión 3.10. Se trata de una base desarrollada por el centro del mismo nombre ubicado en Suiza. Esta contiene datos de más de 10.000 procesos en múltiples sectores. Además, se tomaron como referencia algunos requisitos y recomendaciones de la regla de categoría de producto del *International EPD System PCR 2010:14*, versión 3.1, *Processed Paper and Paperboard Product Category Classification: UN CPC 3214, 32151* y *Global Services Product Category Rule Module for Market Pulp and Paper Products*.

Tres imprentas radicadas en Bogotá brindaron información a través de un formulario y de reuniones periódicas. Esta etapa se extendió desde octubre de 2024 hasta enero de 2025.

¿QUÉ ES EL ACV?

El análisis de ciclo de vida es una metodología estandarizada que permite evaluar de manera sistemática los impactos ambientales potenciales asociados a un producto o servicio a lo largo de todas las etapas de su existencia. Este enfoque integral abarca desde la extracción de las materias primas hasta el fin de su vida útil, incluyendo fases intermedias como la fabricación, el transporte y el uso.



Este estudio tiene como finalidad cuantificar y caracterizar las entradas (recursos, energía) y salidas (emisiones a la atmósfera, vertidos al agua, residuos) asociadas a cada fase del ciclo de vida del producto analizado, en este caso, un libro. El objetivo es determinar la magnitud y naturaleza de los impactos ambientales generados desde la cuna (extracción de materias primas) hasta la tumba (disposición final).

A partir del análisis de los datos recabados, el ACV permite identificar las etapas, procesos o componentes específicos dentro del ciclo de vida del producto que contribuyen de manera más significativa a los impactos ambientales. La identificación de estos “puntos calientes” es de crucial importancia, ya que orienta las estrategias de mejora hacia las áreas con mayor potencial de reducción de impacto, lo que optimiza la asignación de recursos para el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles.

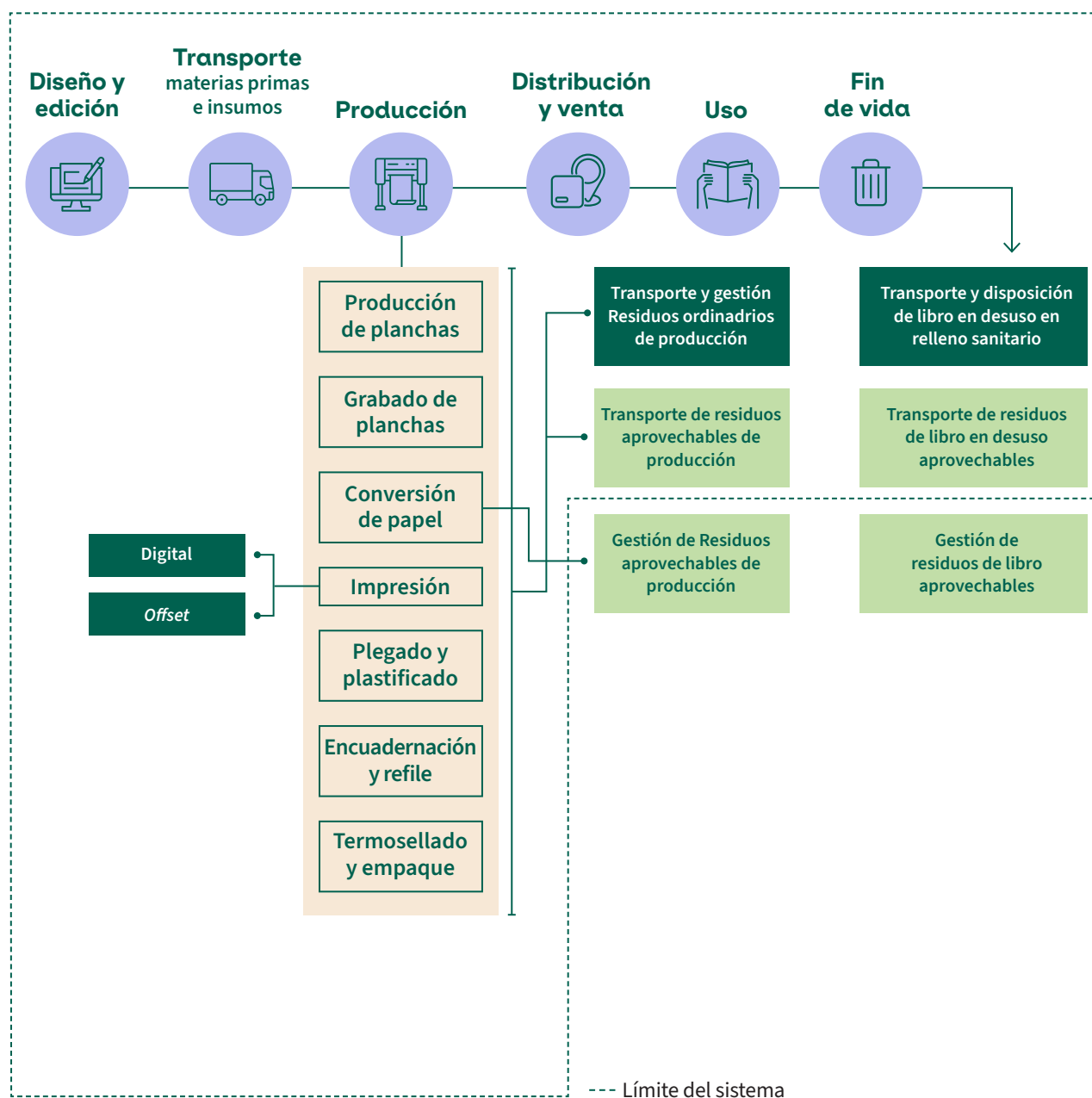
¿POR QUÉ EL SECTOR EDITORIAL DEBE PREOCUPARSE POR SU HUELLA AMBIENTAL?

En la edición, producción y distribución del libro se utilizan cantidades considerables de papel, tintas, energía y transporte, todo lo cual genera, entre otros:

- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Consumo de agua y energía
- Residuos y materiales no reciclables
- Impactos sobre la salud humana y el ambiente

Conocer estos efectos permite identificar oportunidades para reducir impactos, ser más eficientes y responder a las demandas en torno a la sostenibilidad por parte de los lectores y gobiernos.

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL LIBRO EVALUADAS



UNIDAD FUNCIONAL DEL ESTUDIO

En un estudio de análisis de ciclo de vida (ACV), la **unidad funcional** es el **punto de referencia central** que permite medir y comparar todos los impactos ambientales. Es una descripción clara, cuantificable y coherente del **producto evaluado**, y se utiliza para normalizar todos los datos de entrada (materiales, energía) y salida (emisiones, residuos).

¿Por qué es importante?

- Garantiza una **base común para la comparación** entre tecnologías (por ejemplo, impresión *offset* vs. digital).
- Permite evaluar escenarios alternativos con total coherencia (por ejemplo, cambiar el tipo de papel o la tinta utilizada).
- La unidad funcional es, en esencia, la “**regla de medición**” del ACV, y constituye la base para entender y reducir el impacto ambiental de cada producto.

Este estudio analizó el impacto ambiental de un libro de lectura corrida, editado, impreso, distribuido y vendido en Colombia, con las siguientes características:

- **Formato:** A5 (14,8 × 21 cm).
- **Número de páginas:** 200.
- **Encuadernación:** rústica (tapa blanda), tanto cosida como pegada.
- **Interiores:** papel bond blanco de 70 gr.
- **Cubierta:** papel estucado mate de 250 gramos, plastificado mate.
- **Tintas:** dos terceras partes impresas en una sola tinta y el resto en cuatricromía.
- Impresión *offset*, tiraje de 1.000 ejemplares.
- Impresión **digital**, tiraje de 300 ejemplares.
- Retractilado individual.

CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL EVALUADAS

Hoy por hoy, al pensar en el impacto ambiental de un producto o servicio, es común que la atención se centre casi exclusivamente en la *huella de carbono*. Este concepto, que mide las emisiones de gases de efecto invernadero y su contribución al calentamiento global, es sin duda crucial. Sin embargo, en un análisis de ciclo de vida se pueden tomar en consideración muchas otras categorías de impacto que son igual de importantes para tener una visión global de las repercusiones ambientales de un producto o servicio.

Si bien el cambio climático es una gran preocupación, también se deben considerar otros efectos negativos como la contaminación del aire y del agua, la pérdida de la capa de ozono, el agotamiento de los recursos naturales y los efectos tóxicos en la salud humana. Tratándose de un libro, la huella de carbono habla de las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento

global en su edición, producción, distribución y disposición final, aunque —entre otras— cabe considerar también:

- El uso de agua para hacer el papel y otras materias primas, así como su consumo en diferentes procesos.
- La contaminación del agua.
- La energía utilizada.
- Los químicos que pueden ser tóxicos para los trabajadores o el ambiente.

Aunque la huella de carbono es esencial, es necesario ampliar la mirada y entender que el impacto ambiental es multifacético. Al considerar todas estas categorías de impacto, se evitan soluciones que solo resuelven un problema pero empeoran otros.

Para este análisis se seleccionaron las categorías de impacto que se enuncian y explican a continuación. Estas permiten evaluar de manera integral los efectos potenciales del ciclo de vida del libro en el medio ambiente y los recursos naturales:

- **Potencial de calentamiento global (PCG):** aquí es donde entra la huella de carbono; el PCG mide las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO₂) que contribuyen al calentamiento global.
- **Potencial de destrucción de ozono estratosférico (PDOE):** cuantifica la emisión de sustancias que dañan la capa de ozono, la cual nos protege de la radiación ultravioleta del sol.
- **Potencial de acidificación (PA):** mide la emisión de compuestos que pueden mezclarse con la lluvia y hacerla más ácida, lo que daña los suelos, los lagos y los bosques.
- **Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF):** mide la emisión de contaminantes que reaccionan con la luz solar para formar *smog*.
- **Potencial de eutrofización (PE):** evalúa la liberación de residuos que pueden llegar al agua y actuar como fertilizantes. Esto puede afectar la vida en los ríos y lagos.
- **Potencial de toxicidad humana (PTH):** evalúa los posibles efectos negativos para la salud de las personas por exposición a sustancias tóxicas.
- **Potencial de agotamiento de recursos abióticos (PERA):** evalúa el consumo de recursos naturales no renovables, como minerales y metales.
- **Demanda acumulada de energía (CEM):** mide la cantidad total de energía utilizada en todas las etapas del ciclo de vida del producto.
- **Consumo de agua:** cuantifica el volumen de agua dulce consumida directa o indirectamente en todo el ciclo de vida.

¿QUÉ MUESTRA EL ESTUDIO HECHO EN COLOMBIA?

Como resultado del ACV, se identificaron las contribuciones porcentuales de las diferentes etapas del ciclo de vida de un libro (diseño y edición; transporte de materias primas; producción del papel; impresión y encuadernación; termosellado y empaque; distribución y venta, y fin de vida) a cada una de las categorías de impacto ambiental evaluadas, así como las variaciones de estas contribuciones según el tipo de impresión (*offset* o digital).

- En **ambos tipos de impresión**, la extracción y el procesamiento de las materias primas, **en particular el papel**, son la etapa del ciclo de vida que genera el mayor impacto ambiental. La fabricación del papel implica **consumo masivo de agua** para procesamiento de fibras; **uso de energía térmica y eléctrica** para secado y blanqueado; **emisión de nutrientes y residuos orgánicos** que generan impactos en el agua (eutrofización) y toxicidad. Además, si el papel es de fibra virgen, también hay una carga asociada a la **deforestación y al uso de suelos**.
- La **impresión offset** introduce un impacto adicional significativo por la **producción de planchas**, lo que afecta particularmente la destrucción de la capa de ozono, el consumo energético y el uso de recursos minerales.
- La fabricación de planchas *offset* requieren de **aluminio**, cuya extracción y refinamiento son intensivos en energía y recursos minerales. Además, en su grabado se utilizan **químicos corrosivos y sensibilizantes** que generan residuos y emisiones con potencial de toxicidad o impacto en la atmósfera. Dado que las planchas se utilizan por tirada y no se reutilizan de forma indefinida, su huella se transfiere directamente a cada ejemplar impreso.
- En la **impresión digital**, el impacto ambiental está aún más concentrado en las materias primas y en la etapa de impresión.
- La **distribución** tiene una contribución más bien baja a las diferentes categorías de impacto. Es importante señalar que no se consideraron los recorridos adicionales que supondrían las devoluciones de ejemplares desde los puntos de venta a las distribuidoras o editoriales.



➤ CATEGORÍA	➤ IMPRESIÓN DIGITAL	➤ IMPRESIÓN OFFSET
(PCG) Calentamiento global	Las materias primas contribuyen con el 49 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, seguidas por la impresión (11 %) . El termosellado representa el 7 % .	Las materias primas aportan el 39 % y la producción de planchas el 23 % del total.
(PDOE) Destrucción de la capa de ozono	El 88 % del impacto se atribuye a las materias primas , probablemente asociado al uso de ciertos compuestos químicos durante la fabricación del papel.	El impacto está fuertemente concentrado en la impresión , que representa el 84 % del total, por cuenta del uso de refrigerantes.
(PA) Acidificación	Las materias primas representan el 44 % . La impresión (14 %) y la edición y diseño (12 %) tienen también participaciones importantes.	Las materias primas aportan el 33 % del total. También en esta categoría es significativa la contribución porcentual de la producción de planchas (27 %) .
(PFOF) Formación de oxidantes fotoquímicos	Las materias primas (51 %) y la impresión (11 %) son las principales fuentes de emisión de compuestos que contribuyen a la formación de ozono troposférico.	En esta categoría es compartida la contribución entre materias primas (38 %) y producción de planchas (26 %) .
(PE) Eutrofización	El 68 % del impacto proviene de las materias primas , lo que refleja el alto consumo de agua y la generación de efluentes con nutrientes en la fabricación del papel.	Las materias primas explican el 60 % del total, mientras que el grabado de planchas aporta el 13 % .
(PTH) Toxicidad humana	Las materias primas representan el 65 % y la impresión el 14,4 % del total. Esto último se debe principalmente al uso de tintas, solventes y aditivos.	Las materias primas contribuyen con la mitad del impacto en esta categoría (49 %). Otras etapas con un peso alto son la producción de las planchas (24 %) y la impresión (10 %) .
(PERA) Agotamiento de recursos abióticos	Esta categoría muestra una concentración extrema en las materias primas , que representan el 95 % del total, debido al uso de recursos minerales y energéticos en la cadena de suministro del papel.	El 92 % del impacto se concentra en las materias primas .

Puntos clave para el sector editorial

- Emplear papeles reciclados o certificados puede tener un **efecto inmediato y significativo en la huella ambiental** del libro.
- Mejorar la eficiencia energética de las imprentas y reducir residuos en la impresión también ayuda.



- Acortar distancias de transporte (optar por materias primas y proveedores cercanos), optimizar la logística de distribución y usar empaques sostenibles son medidas con potencial significativo.
- Ajustar los tirajes para reducir los no vendidos y las devoluciones.

IMPACTOS DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL LIBRO

El impacto de la producción del papel es preponderante en seis de las siete categorías de impacto, lo que no es ninguna sorpresa, pues se trata de la principal materia prima de los libros, por lo que cualquier impacto ambiental asociado a su producción se amplifica proporcionalmente. La fabricación de papel implica:

- **Elevado consumo de energía** en procesos como secado, refinado y calandrado.
- **Grandes volúmenes de agua** para lavado de fibras, transporte de pasta y tratamiento de residuos.
- **Fabricación de pasta celulósica**, con sus propias emisiones y uso de químicos **Emisiones de CO₂, SO₂** y otros compuestos a partir de calderas, hornos de secado y procesos de blanqueo.
- **Extracción forestal** (plantación, corte, transporte de troncos).
- El **transporte** hasta las imprentas.

¿QUÉ IMPACTOS TIENEN DISTINTOS TIPOS DE PAPEL?

Dependiendo del origen, proceso de fabricación y contenido de material reciclado, el impacto ambiental del papel varía en las distintas categorías. En este ACV se llevó a cabo lo que se conoce como un análisis de sensibilidad con cinco tipos de papel, con miras a evaluar justamente las variaciones de los efectos medioambientales según el papel utilizado. Se consideraron los siguientes tipos de papel:

- Papel 100 % fibra virgen (de madera)
- Papel de bagazo de caña
- Papel 100 % reciclado
- Papel 50 % reciclado
- Papel 30 % reciclado

¿QUÉ HALLAZGOS ARROJÓ EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PAPELES?

Según el análisis de sensibilidad, el **papel de fibra virgen de madera** muestra los **mayores impactos ambientales** en al menos cinco de las nueve categorías evaluadas: **calentamiento global, consumo acumulado de energía, toxicidad humana, acidificación y formación de oxidantes fotoquímicos**.

No obstante, el uso de papel reciclado **no implica una mejora automática** en todas las categorías. En **tres categorías específicas**, los papeles reciclados muestran **impactos mayores** que otras alternativas:

➤ CATEGORÍA DE IMPACTO	➤ ¿POR QUÉ?
Destrucción de ozono estratosférico	Uso de refrigerantes y químicos en el proceso de destintado
Eutrofización	Descargas de nutrientes y compuestos al agua por tratamiento químico
Agotamiento de recursos abióticos	Uso de abrillantadores ópticos, producción de pulpa de papel y eliminadores de tinta

Estos hallazgos indican que, si bien el papel reciclado **reduce el uso de madera** y tiene una **menor huella de carbono**, su procesamiento también implica **consumos energéticos y químicos** que pueden incrementar otros impactos.

¿QUÉ SIGNIFICA ESTO PARA LA TOMA DE DECISIONES?

- No todos los **papeles reciclados son iguales**: el porcentaje de contenido reciclado, los procesos de limpieza y el tipo de residuos usados influyen en el resultado final.
- El papel de bagazo de caña aparece como una alternativa prometedora en varias categorías, por su **origen agrícola renovable** y menor procesamiento.
- La **elección del papel** debe considerar el contexto local, la disponibilidad de materiales y el objetivo ambiental prioritario (menos CO₂, menos agua, menos tóxicos, etc.).

RECOMENDACIONES

- Priorizar papeles certificados ambientalmente (FSC, PEFC).
- Evaluar alternativas renovables como el de bagazo de caña.
- Balancear el uso de reciclado según el impacto global y no solo en una categoría.
- Evitar plastificados o acabados que dificultan el reciclaje.

COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTALES ENTRE IMPRESIÓN OFFSET Y DIGITAL (POR EJEMPLAR)

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los **impactos ambientales promedio** generados por la producción de cada ejemplar de la unidad funcional definida para el estudio según la tecnología utilizada. Para facilitar la interpretación, se incluyen equivalencias cotidianas que ayudan a dimensionar lo que representa cada categoría de impacto por ejemplar producido. Es importante indicar que las equivalencias son absolutamente aproximadas, pues para una comparación precisa se requeriría conocer las características del vehículo o el tipo de computador.

➤ CATEGORÍA DE IMPACTO	➤ OFFSET	➤ DIGITAL	➤ EQUIVALENCIA
Calentamiento global (kg CO ₂ eq)	1,13	0,78	≈ 6 km recorridos en un carro o automóvil
Consumo de energía (Kwh)	4,55	3,37	≈ 4 kWh → computador portátil encendido por 40 horas
Consumo de agua (litros)	17	15	≈ 16 litros → 1 ducha de 5 minutos

- **Calentamiento global:** las diferencias entre ambos tipo de impresión son pequeñas, a: ambos casos representan la emisión de aproximadamente 1 kg de CO₂, lo que equivale a conducir un auto por 6 km.
- **Consumo de energía:** el libro impreso en *offset* tiene un consumo energético ligeramente mayor. La diferencia es casi imperceptible a escala unitaria, pero relevante sí se multiplican los tirajes. El consumo promedio por libro equivale a dejar un computador portátil encendido durante 40 horas.

- **Consumo de agua:** el papel es la principal materia prima que demanda el uso de agua. Se consumen entre 15 y 17 litros de agua por ejemplar, lo mismo que una ducha breve.
- **Toxicidad humana:** los impactos provienen del uso de tintas, solventes y químicos industriales. La impresión *offset* presenta una carga mayor, asociada al grabado de planchas y la necesidad de insumos adicionales en el proceso de grabado. Aun así, la diferencia por libro es moderada.
- **Formación de ozono troposférico:** este indicador mide las emisiones que contribuyen al *smog* urbano. Ambos sistemas generan valores muy bajos.

En suma:

- **No hay una diferencia drástica** entre tecnologías cuando se analiza un solo ejemplar.
- La selección de materiales (especialmente el tipo de papel) y la **planificación del tiraje influyen más que la tecnología de impresión.**

HACIA UNA INDUSTRIA EDITORIAL SOSTENIBLE

La elaboración de este estudio enfrentó diversas dificultades que merecen ser destacadas. Una de las principales fue la **recopilación de datos**. Pese a la apertura de las imprentas participantes, el ACV requiere de información muy detallada. La heterogeneidad en los procesos productivos y la dificultad de determinar magnitudes exactas de consumos de materias primas, energía o agua para la unidad funcional determinada fueron algunos de los obstáculos. Además, el estudio puso de nuevo en evidencia la **complejidad del ciclo de vida del libro**, con múltiples etapas interdependientes y diversos factores que influyen en su impacto ambiental. Esta complejidad requiere un enfoque holístico y la participación de todos los actores de la cadena de valor para implementar soluciones efectivas.

Es fundamental, en cualquier caso, **realizar este tipo de mediciones** para comprender los impactos ambientales de la edición, producción y comercialización del libro, y orientar la toma de decisiones hacia la sostenibilidad. Los resultados del ACV proporcionan una línea de base para evaluar el desempeño ambiental del sector, identificar áreas de mejora y monitorear el progreso a lo largo del tiempo. De este modo, se pueden establecer criterios comunes para mitigar los impactos negativos y construir herramientas para que editoriales e imprentas puedan medir estos impactos de forma sencilla.

Es necesario **promover un mayor diálogo y colaboración entre las editoriales y las imprentas**. Este diálogo puede facilitar la transferencia de conocimientos y buenas prácticas, así como la definición e implementación de estrategias conjuntas para reducir el impacto ambiental de la producción de libros. Como recordó el Parlamento de la Ecoedición, cuando se dio cita en febrero de 2024, “las imprentas, por su conocimiento, son pieza clave para ayudar en el ecodiseño de colecciones y libros que minimicen sus impactos”.



Introducción

Este documento presenta el análisis de ciclo de vida (ACV) sectorial desarrollado para el Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe (Cerlalc). El objetivo principal fue evaluar los impactos ambientales asociados a las siguientes etapas: edición y diseño; transporte de materias primas e insumos; producción (impresión *offset* y digital); distribución; uso y fin de vida de un libro de texto corrido.

El análisis tuvo un alcance de cuna a tumba:

- **Etapla edición y diseño:** conjunto de actividades relativas a corrección y ajuste del texto, diseño de las páginas interiores y la cubierta, diagramación, etc.
- **Etapla de transporte de materias primas e insumos:** abarca el traslado de los materiales necesarios para la producción del libro, desde los proveedores (nacionales e internacionales) hasta las imprentas en Colombia.
- **Etapla de producción:** comprende desde la conversión de papel, impresión (*offset* y digital), encuadernación, empaque y embalaje final.
- **Etapla de distribución y venta:** se consideró un escenario de transporte a punto de venta nacional.
- **Etapla de uso:** lectura y almacenamiento de los libros.
- **Etapla de fin de vida:** se evaluó la proporción de disposición final en relleno sanitario.

Este análisis de ciclo de vida inició con una etapa de socialización dirigida a editoriales, imprentas y otros actores clave del sector editorial, que se llevó a cabo en octubre de 2024.

Posteriormente, en noviembre y diciembre de 2024 y enero de 2025, se realizaron sesiones de trabajo con las imprentas participantes, en las cuales se explicó en detalle la información requerida para el análisis y se hicieron recorridos por sus instalaciones, con el propósito de observar de primera mano los procesos productivos y tener acceso a la información de la producción de libros (consumo de energía, insumos, residuos, etc.). Las reuniones periódicas con las imprentas que apoyaron el estudio permitieron recopilar datos de calidad y garantizar la trazabilidad del análisis, siguiendo los principios establecidos en las normas ISO 14040 e ISO 14044.

El desarrollo del estudio y sus resultados ofrecen aprendizajes sobre los retos que enfrentan este tipo de mediciones por cuenta de las dificultades para recabar datos. El proceso de desarrollo de este proyecto es, además, muy didático del camino que hace falta recorrer con el conjunto de actores que intervienen en la producción, edición y distribución del libro para construir una estrategia sectorial que permita mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente. En todo caso, los resultados del ACV constituyen un insumo clave para el desarrollo de un manual de buenas prácticas que ofrezca estrategias puntuales para reducir los impactos ambientales de la industria editorial.



Aspectos generales

2.1 RESPONSABLE DEL ESTUDIO

El consultor externo responsable de la elaboración del estudio del análisis de ciclo de vida es una empresa colombiana (Casostenible) con más de trece años de experiencia que brinda soluciones en sostenibilidad a empresas pertenecientes a diferentes industrias nacionales e internacionales.

2.2 FECHA DEL INFORME

28 de marzo de 2025.

2.3 DECLARACIÓN DEL ESTUDIO DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS Y NORMAS APLICABLES

Durante el desarrollo del estudio se han considerado las normas ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia e ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

Además, se tomaron como referencia algunos requisitos y recomendaciones de la regla de categoría de producto del *International EPD System PCR 2010:14*, versión 3.1, *Processed Paper and Paperboard Product Category Classification: UN CPC 3214, 32151* y *Global Services Product Category Rule Module for Market Pulp and Paper Products*.

Objetivo del estudio

3.1 RAZONES PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida es una herramienta para comprender los impactos ambientales asociados al diseño y edición, transporte de materias primas e insumos, producción (con impresión *offset* y digital), distribución, uso y fin de vida de un libro compuesto primordialmente de texto. Este enfoque no solo permite evaluar los procesos individuales, sino que fomenta una perspectiva más amplia del impacto ambiental de la industria editorial. A continuación, se presentan las razones que motivan la realización de este ACV.

3.1.1 Evaluar la carga ambiental en todo el ciclo de vida del libro

El ACV permite analizar de manera integral los impactos ambientales de las etapas de diseño y edición, producción (*offset* y digital), distribución, uso y fin de vida de un libro. Este enfoque ayuda a entender que el impacto ambiental de un producto no se reduce a la impresión del libro, sino que abarca todo su ciclo de vida:

- Diseño y edición
- Transporte de materias primas e insumos
- Producción
- Distribución y transporte
- Uso por parte de los lectores
- Fin de vida, proporción llevada a disposición final

Pensar más allá de la etapa de producción y venta ayuda a tomar decisiones más responsables que consideren el impacto acumulado a lo largo del tiempo.

3.1.2 Identificar “puntos calientes” de especial interés para la reducción de impacto

El estudio facilita la localización de aquellos aspectos ambientales relevantes o *puntos calientes* en términos de impacto ambiental. Estas áreas suelen incluir:

- Altos consumos de energía en el ciclo de vida del libro.
- Emisiones asociadas al transporte de materiales y libros terminados.
- Residuos generados durante la producción o al final de la vida útil del producto.

Identificar estas áreas permite diseñar intervenciones específicas y eficaces para mitigar los impactos ambientales.

3.2 APLICACIÓN PREVISTA

Este ACV proporciona información clave sobre los impactos ambientales de los libros editados, producidos y distribuidos en Colombia, lo que permite identificar las etapas más críticas del proceso. Con base en estos resultados, se podrán generar recomendaciones para mejorar el desempeño ambiental del sector editorial, y optimizar así el uso de materiales, energía y recursos. Además, este estudio puede servir como insumo para la elaboración de una guía de buenas prácticas.

3.3 GRUPO OBJETIVO

El grupo objetivo principal de este ACV es el Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe (Cerlalc). Como entidad interesada en promover el desarrollo de políticas y prácticas sostenibles en la industria editorial en la región, el Cerlalc será el responsable de comunicar los resultados del ACV a sus grupos de interés.

3.4 ASEVERACIONES COMPARATIVAS PARA DIVULGACIÓN

De acuerdo con la **norma ISO 14044**, las aseveraciones comparativas deben fundamentarse en una base metodológica coherente y transparente para evitar interpretaciones erróneas de los resultados. En este análisis, se establecen las siguientes consideraciones y limitaciones:

- **Unidad funcional específica:** los resultados del ACV solo son válidos dentro del contexto de la unidad funcional definida, es decir, un libro con las características y especificaciones establecidas en el estudio (véase sección 4.1). Por lo tanto, no pueden compararse directamente con libros de dimensiones, gramajes, materiales o procesos productivos distintos.
- **Alcance geográfico y sectorial:** los datos de producción utilizados corresponden exclusivamente a tres imprentas colombianas que participaron en el estudio. Dado que no se cuenta con información sobre la representatividad de estas empresas dentro del mercado nacional, los resultados reflejan únicamente el comportamiento de estos casos específicos y no pueden extrapolarse como valores promedio para toda la industria editorial del país.
- **Periodo de referencia:** la información empleada en el análisis corresponde al año 2024, lo que significa que cualquier comparación con estudios previos o futuros debe considerar posibles variaciones en tecnologías, insumos y eficiencia de los procesos productivos a lo largo del tiempo.

Bajo estas condiciones, el presente análisis proporciona una evaluación detallada del impacto ambiental del libro editado, impreso y distribuido en Colombia, pero cualquier comparación con otros productos o contextos debe realizarse con precaución, asegurando la alineación metodológica y la equivalencia de los sistemas evaluados.



Alcance del estudio

4.1 UNIDAD FUNCIONAL

Para el presente ACV comparativo, se tomarán como unidades funcionales:

- Un libro del que se haya hecho una tirada de 1000 ejemplares. Comprende las etapas de diseño y edición, transporte de materias primas e insumos, producción a través de impresión *offset*, distribución nacional, uso por un periodo de 10 a 20 años y fin de vida.
- Un libro del que se haya hecho una tirada de 1000 ejemplares. Comprende las etapas de diseño y edición, transporte de materias primas e insumos, producción a través de impresión digital, distribución nacional, uso por un periodo de 10 a 20 años y fin de vida.

Ambas unidades funcionales contarán con las siguientes características:

- **Formato:** tamaño A5 (14,8 x 21 cm).
- **Extensión:** 200 páginas.
- **Material interior:** papel bond blanco de 70 gramos.
- **Encuadernación:** rústica, con escenarios para pegado y cosido.
- **Cubierta:** papel estucado o esmaltado de 250 gramos, plastificado mate.
- **Impresión:** dos terceras partes impresas en una sola tinta y el resto en cuatricromía.
- **Empaque:** retractilado individual para distribución.

El análisis incluirá los impactos asociados a cada tipo de impresión en los diferentes tirajes, lo que permitirá comparar los escenarios y comprender las implicaciones ambientales de cada tecnología y escala de producción.

4.2 CATEGORÍAS DE IMPACTO Y METODOLOGÍA DE EICV

Se seleccionaron las siguientes categorías de impacto ambiental, validadas conforme a las directrices del *Manual de la buena ecoedición* (2013) y las reglas de categoría de producto (PCR) relacionadas, para así evaluar de

manera integral los efectos potenciales del ciclo de vida del libro. La metodología principal fue **CML-IA**, complementada con **ReCiPe Midpoint (H)** para reportar el consumo de agua total y **Cumulative Energy Demand (CED)** para el consumo de energía.

La combinación de estas metodologías permite obtener una visión completa del desempeño ambiental del libro, lo cual asegura que el análisis no se limite a una única categoría de impacto, sino que refleje de manera integral sus efectos potenciales.

TABLA 1

Categorías de impacto ambiental

↗	PCG	Potencial de calentamiento global
↗	PDOE	Potencial de destrucción de ozono estratosférico
↗	PA	Potencial de acidificación
↗	PFOF	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos
↗	PE	Potencial de eutrofización
↗	PTH	Potencial de toxicidad humana
↗	PERA	Potencial de agotamiento de recursos abióticos
↗	CEM	Demanda de acumulada de energía
↗	CA	Consumo de agua

4.3 INFORMACIÓN DEL CONTENIDO

A continuación, se presenta la composición típica del producto evaluado, incluyendo las sustancias, su peso, función y la declaración relacionada con SVHC (*Substances of Very High Concern* o sustancias extremadamente preocupantes).

De acuerdo con la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA), las SVHC son sustancias que pueden tener graves efectos en la salud humana y el medio ambiente. Estas sustancias incluyen aquellas con propiedades carcinógenas, mutagénicas o reprotóxicas, así como las que presentan características de persistencia y bioacumulación en el entorno. En la Tabla 2 se puede observar que ninguna de estas sustancias está presente en el producto analizado.



TABLA 2

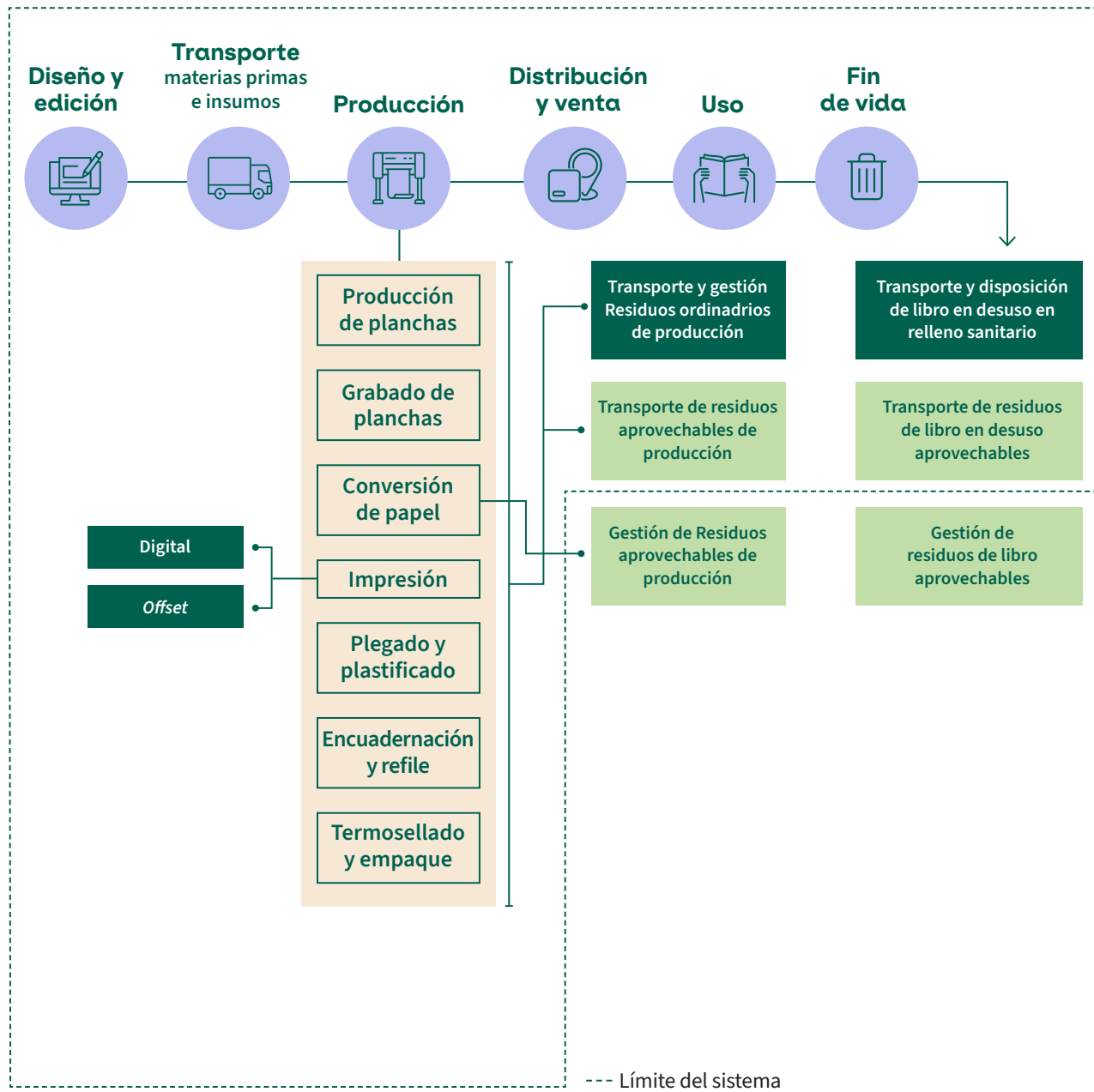
Composición del libro objeto de análisis

↗MATERIAL	↗PESO (G)	↗PORCENTAJE EN PESO	↗FUNCIÓN	↗DECLARACIÓN SVHC ¹
Papel bond 70 gr	292	83,5 %	Base principal del contenido del libro	No listado
Tintas CMYK – B/N	2	0,4 %	Impresión de texto e imágenes en blanco y negro	No listado
Tintas CMYK - Color	1	0,3 %	Impresión de imágenes o gráficos en color	No listado
Cubierta rústica (Esmaltado 250 gr)	38	10,9 %	Protección externa y presentación del libro	No listado
Plastificado mate	12	3,3 %	Recubrimiento protector y acabado mate	No listado
Hilo	2	0,6 %	Unión de las hojas en el proceso de encuadernación	No listado
Pegante/Adhesivo	3	1,0 %	Adhesión de los elementos de la encuadernación	No listado

4.4 SISTEMA DE PRODUCTO Y DIAGRAMA DE FLUJO¹

A continuación, se presenta el sistema de producto con los límites definidos, en el cual se contemplan todas las etapas del ciclo de vida para el libro bajo análisis, que van desde el diseño y edición del libro, hasta su disposición final. Además, se detalla la etapa de producción (Figura 1).

FIGURA 1
Ciclo de vida del libro



4.5 LÍMITES DEL SISTEMA

4.5.1 Etapa de edición y diseño

La etapa de edición y diseño constituye el punto de partida para la materialización del libro. En esta se toman decisiones clave que incidirán en todas las fases posteriores del ciclo de vida del producto. Este proceso abarca varias fases interrelacionadas: la edición del contenido, el diseño y la diagramación. Las decisiones tomadas en esta etapa —como el formato, la tipografía, la composición y el uso del color— influyen directamente en la elección de materiales, acabados y procesos de impresión. Una vez definidos estos elementos, se generan los archivos finales listos para imprenta, que incluyen especificaciones técnicas detalladas: los colores, dimensiones del libro, márgenes, sangrados y otros aspectos esenciales para asegurar que la producción respete fielmente el diseño aprobado.

4.5.2 Etapa de transporte de materias primas e insumos

Esta etapa abarca el traslado de los materiales necesarios para la producción del libro, desde los proveedores hasta las imprentas en Colombia. En esta etapa se consideró transporte marítimo y terrestre para materias primas o insumos de origen internacional, y terrestre para las de origen nacional. La capacidad de los vehículos dependerá de la cantidad y tamaño de materias primas o insumos adquiridos (véase sección 5.1.2).

4.5.3 Etapa de producción

La etapa de producción abarca las actividades necesarias para transformar los insumos en el producto final: el libro impreso. Este proceso varía según el método de impresión utilizado (*offset* o digital), aunque ambos comparten ciertas fases. A continuación, se detallan los pasos principales en cada uno:

4.5.3.1 Producción mediante impresión *offset*

- **Preprensa:** en esta fase inicial se preparan los archivos digitales para la impresión.
- **Conversión de papel:** el rollo de papel (empacado con un cono y protegido con sábana de papel kraft) se convierte en pliegos. Este proceso asegura que el papel esté listo para su manipulación en las etapas siguientes.

- **Quemado de planchas:** se utilizan planchas de aluminio específicas para cada color. En un espacio controlado con aire acondicionado, y con la ayuda de un líquido revelador, se realiza el quemado de las planchas, una por cada tinta que se empleará.
- **Impresión offset:** la impresión se lleva a cabo con máquinas *offset* de 2, 3, 5 o 10 colores, según las necesidades del diseño. Este proceso aplica las tintas al papel en los pliegos previamente preparados.
- **Plegado y plastificado:** los pliegos impresos se doblan de acuerdo con el tamaño del libro final. La cubierta del libro recibe un plastificado mate para protegerla.
- **Encuadernación y refile:** los cuadernillos resultantes del plegado se cosen y se pegan a la cubierta rústica. Finalmente, el conjunto se recorta mediante el refile, lo que asegura bordes uniformes y precisos.
- **Termosellado y empaque:** los libros terminados se envuelven en plástico termosellado para protegerlos durante el transporte. Luego, se empaquetan en cajas con etiquetas de trazabilidad, organizadas sobre estibas listas para su distribución.

4.5.3.2 Producción mediante impresión digital

El proceso de impresión digital sigue pasos similares a los de *offset*, pero con algunas diferencias clave:

- **Preprensa y conversión:** al igual que en el método *offset*, esta fase prepara los insumos para la impresión; se ajustan los formatos y se prepara el papel en pliegos.
- **Impresión:** las máquinas digitales imprimen simultáneamente con todos los colores requeridos; no se queman planchas.
- **Plegado y plastificado:** se realizan los mismos pasos que en la impresión *offset* (plegado de los pliegos y plastificado mate de la cubierta).
- **Encuadernación y refile:** incluye el cosido de cuadernillos, pegado a la cubierta y corte final en refile.
- **Termosellado y empaque:** el termosellado y empaque son idénticos a los del método *offset*.

4.5.4 Etapa de distribución y venta

La etapa de distribución y venta corresponde al proceso mediante el cual los libros, una vez producidos, son trasladados desde las imprentas. Se consideran los siguientes transportes:

- De la imprenta a la bodega de la editorial.
- De la editorial a los puntos de venta.

El detalle de las distancias y supuestos en esta etapa se amplía en la sección 5.1.4.

4.5.4.1 Proceso de distribución

- **Transporte desde la imprenta a las editoriales:** una vez terminados, los libros se transportan en vehículos con capacidad de 7,5 a 16 toneladas, desde las instalaciones de la imprenta hacia las bodegas de almacenamiento de las editoriales.
- **Distribución a los puntos de venta:** las editoriales, como responsables de la logística posterior, gestionan la distribución de los libros hacia distintos puntos de venta (tanto puntos de venta finales como distribuidoras mayoristas).
- **Cobertura de distribución:** para este análisis, se considera la distribución a las principales ciudades del país. Esto implica trayectos variados en distancia y condiciones, que se evaluarán en términos de su impacto ambiental. El detalle de las distancias y trayectos considerados se menciona en la sección 5.1.4.

4.5.5 Etapa de uso

La etapa de uso evalúa el impacto ambiental asociado a la vida útil del libro una vez que ha sido adquirido por el usuario final. Para este análisis, se considera una vida útil estimada de 10 a 20 años, durante los cuales el libro se mantendrá en condiciones adecuadas.

4.5.5.1 Características del uso del libro

- **Público objetivo:** los libros analizados son de lectura corrida, destinados al público general.

- **Frecuencia de lectura:** se estima que el libro se leerá al menos una vez al año, lo que implica una rotación de uso activa durante su vida útil. Es probable que un libro sea compartido entre varios lectores.

4.5.5.2 Aspectos considerados en el análisis

- **Durabilidad:** la encuadernación y los materiales empleados (como el plastificado mate y el papel bond de 70 gramos) contribuyen a la resistencia del libro frente al uso prolongado.
- **Conservación:** factores como almacenamiento adecuado y cuidado personal de los lectores son determinantes para mantener el libro en condiciones óptimas.

4.5.6 Etapa de fin de vida

La etapa de fin de vida analiza qué ocurre con los libros al finalizar su uso, considerando los procesos de gestión de residuos predominantes en el país. Para este análisis, se contemplan dos posibles destinos principales: aprovechamiento y disposición final en relleno sanitario, con las siguientes proporciones estimadas:

- **60 % de aprovechamiento:** representa los libros que son reciclados o reutilizados adecuadamente.
- **40 % de disposición en relleno sanitario:** corresponde a los libros que, debido a una incorrecta separación de residuos o falta de infraestructura, son enviados a disposición final en rellenos sanitarios.

De acuerdo con el enfoque *cut-off* adoptado en este ACV, no se consideraron los impactos ambientales asociados al proceso de aprovechamiento de materiales reciclables generados durante la etapa de fin de vida del libro. Esto se debe a que dicho proceso forma parte de un sistema de producto independiente, cuya responsabilidad recae en el gestor que realiza el aprovechamiento del material (véase Límites del sistema, en la sección 4.4).

En este enfoque, los flujos de salida pueden utilizarse en otros sistemas (como el papel reciclado). Se contabilizan como un “corte” del sistema analizado, lo que transfiere cualquier impacto ambiental posterior al siguiente sistema de producto que utilice esos materiales.

4.5.6.1 Aspectos clave de la etapa de fin de vida

- **Aprovechamiento:** incluye la recuperación de fibras de papel para su uso en nuevos productos. Depende de una adecuada separación en la fuente y de la existencia de sistemas de reciclaje funcionales.
- **Disposición en relleno sanitario:** los libros que no son reciclados terminan en rellenos sanitarios, donde generan impactos ambientales como emisiones de gases de efecto invernadero y ocupación de espacio. La presencia de plastificados y adhesivos puede dificultar la biodegradación de los materiales.

4.6 CRITERIOS DE CORTE

Siguiendo los requisitos de la norma ISO 14044, en este estudio se establecieron criterios de corte para definir los flujos de materiales y energía que se incluyeron o excluyeron del análisis de ciclo de vida (ACV). Esto asegura que las omisiones no afecten significativamente los resultados.

- Se incluyeron los principales consumos de materias primas y energía en los procesos unitarios evaluados.
- Para el transporte de residuos generados en los procesos productivos hasta los sitios de tratamiento, se asumieron capacidades de vehículos entre 3,5 y 32 toneladas; esto, con base en los registros mensuales de despachos de residuos.
- Se incluyeron todas las materias primas e insumos principales asociados directamente con la producción del libro, con el fin de garantizar un análisis representativo y preciso.
- No se incluyó el impacto ambiental asociado a la producción de equipos, maquinaria y vehículos utilizados en el ciclo de vida del libro. Sin embargo, sí se consideraron las emisiones derivadas del consumo de energía y combustibles durante su operación.
- No se tuvieron en cuenta insumos de baja masa empleados en la limpieza e higienización de equipos e instalaciones, debido a su impacto insignificante en el análisis.
- Se excluyeron las actividades administrativas relacionadas con la impresión del libro (energía consumida en las oficinas, papel de archivo, residuos generados, etc.).
- Se descartaron los residuos cuya contribución al peso total del producto final fuese inferior al 1 %.

- Los flujos de entrada y salida excluidos no superan el 5% del consumo total de energía o la masa en relación con el peso total del libro.
- Se excluye la etapa de escritura del libro ya que no es posible establecer un escenario estándar de tiempo empleado por el autor para su escritura.

4.7 PROCEDIMIENTOS DE ASIGNACIÓN

Según la norma ISO 14044:2006, numeral 4.3.4, las entradas y salidas deben asignarse a los distintos productos de acuerdo con procedimientos claramente especificados, que deben documentarse y explicarse junto con los procedimientos de asignación.

La suma de las entradas y salidas asignadas a un proceso unitario debe ser igual a las entradas y salidas del proceso unitario antes de la asignación.

Cuando puedan ser aplicables varios procedimientos alternativos de asignación, debe realizarse un análisis de sensibilidad para ilustrar las consecuencias de apartarse del enfoque seleccionado. Para las asignaciones por realizar, se aplican las reglas descritas en la norma ISO 14044: 2006.

El estudio identificó los procesos compartidos con otros sistemas del producto, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

Paso 1:

Evitar la asignación de acuerdo con:

- La división del proceso unitario por asignar en dos o más subprocesos y de esta manera recopilar los datos de entrada y salida relacionados con estos subprocesos.
- La ampliación del sistema del producto para incluir las funciones adicionales relacionadas con los coproductos.

Paso 2:

Cuando no se pueda evitar la asignación, se deberían separar las entradas y salidas del sistema entre sus diferentes productos o funciones, de tal forma que reflejen las relaciones físicas existentes entre ellos; es decir, deberían reflejar la forma en la cual se modifican las entradas y salidas por cambios cuantitativos en los productos o funciones procedentes del sistema.



Paso 3:

Cuando la relación física por sí misma no pueda establecerse o utilizarse como base de la asignación, se deberían asignar las entradas entre los productos y funciones de tal forma que reflejen otras relaciones entre ellos. Por ejemplo, los datos de entrada y salida podrían asignarse entre coproductos proporcionalmente al valor económico de los productos.

Algunas salidas pueden ser en parte coproductos y en parte desechos. En estos casos, es necesario identificar la proporción entre coproductos y desechos ya que solamente se deben asignar las entradas y salidas a la parte correspondiente a los coproductos. Los procedimientos de asignación deben aplicarse de manera uniforme a las entradas y salidas similares del sistema en consideración.

Para el análisis de ciclo de vida del libro **no se realizaron asignaciones en los procesos evaluados**, ya que las imprentas participantes proporcionaron directamente los datos de producción específicos. Esta información se ingresó al *software* de análisis sin necesidad de distribución o estimaciones adicionales, lo que asegura mayor precisión en los resultados del estudio.

4.8 SUPOSICIONES

Para el desarrollo del análisis de ciclo de vida, se establecieron las siguientes suposiciones con el objetivo de garantizar la coherencia y representatividad de los datos.

- Se asumió que las imprentas participantes proporcionaron información transparente, real y representativa de su proceso productivo; esto asegura la fidelidad de los datos utilizados en el estudio.
- Las planchas de aluminio consideradas en el análisis corresponden a un libro impreso, del que dos terceras partes se imprimieron en una sola tinta y el restante en cuatricromía.
- Dado que algunas imprentas no contaban con información específica sobre la generación de residuos exclusivamente para la fabricación de libros, se modeló un promedio con los datos reportados por aquellas que sí pudieron proporcionar esta información. Esta aproximación permitió estandarizar la estimación del impacto ambiental asociado a la gestión de residuos en el proceso productivo.

4.9 JUICIOS DE VALOR Y ELEMENTOS OPCIONALES

El presente estudio de ACV ha requerido la toma de decisiones metodológicas basadas en juicios de valor fundamentados en literatura técnica y en la experiencia de los expertos participantes. Entre estas decisiones se incluyen:

- **Selección de metodología de evaluación de impacto:** se optó por la metodología CML-IA para la mayoría de las categorías de impacto, complementada con *ReCiPe Midpoint* (H) para el análisis del consumo de agua y *Cumulative Energy Demand* (CED) para evaluar el consumo de energía, con base en la evaluación de impacto realizada en Cataluña, España.
- **Suposiciones sobre datos faltantes:** en algunos casos, en los que no fue posible obtener información específica de ciertos procesos, se utilizaron datos promedio de aquellas imprentas que sí reportaron la información, asumiendo que estas representan un comportamiento típico del sector.
- **Criterios de corte:** se excluyeron insumos de baja masa utilizados en limpieza e higienización de equipos, en línea con lo establecido en la norma ISO 14044.
- **Asignación de impactos ambientales:** no se realizaron asignaciones, ya que cada imprenta participante proporcionó directamente sus datos de producción; esto evitó la distribución de impactos entre distintos productos.

Estos juicios de valor se definieron de manera transparente y fundamentada para asegurar la validez y representatividad de los resultados del estudio.

4.10 LIMITACIONES

El presente análisis de ciclo de vida se llevó a cabo con la participación de tres imprentas, cuya representatividad en el mercado colombiano no se pudo determinar con exactitud. Sin embargo, su inclusión en el estudio responde a su disposición para participar y aportar datos como ejemplo representativo del sector.

Todas las imprentas analizadas están ubicadas en Bogotá, por lo que los resultados pueden no reflejar completamente la realidad de otras regiones del país, donde las condiciones logísticas, tecnológicas y ambientales pueden diferir.

Además, las imprentas participantes varían en tamaño y capacidad tecnológica, lo que implica diferencias en eficiencia productiva y consumo de recursos. Algunas empresas cuentan con equipos más modernos y eficientes

que otras, lo que puede derivar en cierto sesgo en los datos recopilados. No obstante, se considera que en conjunto reflejan una situación típica del mercado editorial en Colombia.

Se desconoce el detalle de consumos de recursos, energía, agua, insumos y generación de residuos en instalaciones transformadoras de papel reciclado, por lo que para los escenarios de sensibilidad, se tomará la información de ICV suministrada por la base de datos Ecoinvent 3.10 (véase sección 6.7).

4.11 REQUISITOS DE CALIDAD DE DATOS

Para este estudio, se utilizaron datos primarios recopilados durante el año 2024, obtenidos directamente de tres imprentas colombianas participantes en el análisis. Con el fin de garantizar la calidad y representatividad de la información, se llevó a cabo un proceso comparativo en el que se analizaron las diferencias en los datos reportados por cada imprenta, a fin de identificar variaciones en los procesos productivos y posibles datos atípicos.

El procedimiento de validación y refinamiento de los datos se extendió por un período de tres meses, durante el cual se realizaron verificaciones con cada imprenta. Esto incluyó la revisión de diferencias en consumos de materiales, energía y emisiones, para asegurar que los valores reflejaran de manera precisa la realidad operativa de cada empresa. En caso de inconsistencias, se trabajó en conjunto con los equipos técnicos de las imprentas para rectificar y ajustar la información hasta alcanzar la calidad esperada para el análisis.

Este enfoque permitió obtener datos confiables y coherentes, fundamentales para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del libro y garantizar la robustez del estudio.

4.12 REVISIÓN CRÍTICA

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ISO 14044, se llevó a cabo una revisión crítica interna del estudio con el fin de garantizar la calidad, coherencia y trazabilidad de los datos utilizados.

Para ello, se validaron las variaciones entre las imprentas participantes, asegurando que la información recopilada fuera representativa y consistente. Los expertos encargados de la ejecución del ACV utilizaron formatos diseñados específicamente para la recolección de datos, lo que facilitó la sistematización y estandarización de la información.

El proceso de revisión incluyó reuniones periódicas de análisis, comparación y validación interna, en las cuales participaron profesionales del Cerlalc, expertos en producción y medio ambiente de las imprentas, así como los responsables técnicos del ACV. Este enfoque garantizó que la información recopilada cumpliera con los principios de completitud, coherencia, transparencia, relevancia y precisión, en línea con los requisitos de la norma ISO 14044.



Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV)

5.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

5.1.1 Etapa de diseño y edición

Para el escenario de diseño y edición del presente análisis se considera el tiempo necesario para editar un libro, que abarca la edición de mesa, corrección de estilo, revisiones, diseño y diagramación, y ajustes finales.

5.1.1.1 Cálculo del consumo de energía eléctrica en kWh

El consumo de energía dependerá del uso de computadores y otros equipos durante este período. Se dio por supuesto el uso de un computador especializado en diseño y edición, durante una jornada laboral de ocho horas al día.

5.1.1.2 Suposiciones

- **Potencia promedio del computador:** 350 W (incluyendo monitor y CPU).
- **Horas de uso diario:** 8 horas.
- **Días de trabajo al mes:** 20 días.
- **Duración del proceso:** 5 meses.

5.1.1.3 Cálculo

1. Consumo diario

$$350\text{W} \times 8 \text{ horas} = 2800 \text{ Wh/día o } 2,8\text{kWh/día}$$

2. Consumo mensual

$$2,8 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 20 \text{ días} = 56 \text{ kWh / mes}$$

3. Consumo total en 12 meses

$$56 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 5 \text{ meses} = 280 \text{ kWh}$$

5.1.1.4 Resultado

- **Consumo eléctrico aproximado:** 280 kWh en cinco meses de trabajo, basado en un computador utilizado ocho horas al día durante 20 días al mes.

5.1.2 Etapa de transporte de materias primas e insumos

La información sobre la procedencia exacta de las materias primas e insumos utilizados en el proceso productivo es considerada sensible por las imprentas participantes, por lo que no es posible detallar los proveedores específicos. Sin embargo, para garantizar la transparencia del análisis, a continuación se presentan los países de origen de estos materiales y los medios de transporte empleados para su llegada al país. Esta información es clave para evaluar el impacto ambiental asociado al traslado de los insumos y su contribución al impacto del ciclo de vida del producto.

TABLA 3

Transporte de materias primas e insumos (impresión *offset* y digital)

➤ PROCESO	➤ TIPO	➤ MATERIA PRIMA / INSUMO	➤ PAÍS DE ORIGEN	➤ TIPO DE TRANSPORTE
Materias primas	Nacional	Papel bond 70 gr.	Colombia Suiza	Marítimo o terrestre
		Tintas CMYK	Colombia Brasil	Marítimo o terrestre
		Cubierta rústica (esmaltado 250 gr.)	Colombia China	Marítimo o terrestre
		Plastificado mate	Colombia	Terrestre
		Hilo	Colombia Alemania	Marítimo o terrestre
		Pegante/Adhesivo	Colombia Alemania	Marítimo o terrestre
Producción de planchas	Nacional	Plancha aluminio	Colombia	Terrestre
Grabado de planchas	Nacional	Revelador (quemado de planchas)	Colombia	Terrestre

➤ PROCESO	➤ TIPO	➤ MATERIA PRIMA / INSUMO	➤ PAÍS DE ORIGEN	➤ TIPO DE TRANSPORTE
Conversión de papel	Nacional	Papel stretch / Vinipel	Colombia	Terrestre
Impresión	Nacional	Alcohol	Colombia	Terrestre
		Solución de fuente	Colombia	Terrestre
Termosellado y empaque	Nacional	Plástico termoencogible	Colombia	Terrestre
		Etiqueta trazabilidad	Colombia	Terrestre
		Caja	Colombia	Terrestre
		Cinta	Colombia	Terrestre

Fuente: imprentas consultadas.

5.1.3 Etapa de producción

La etapa de producción comprende todas las actividades necesarias para transformar las materias primas en el libro final, ya sea mediante impresión *offset*, ya digital. Este proceso incluye desde la preparación del papel hasta la encuadernación y el empaque para distribución.

A continuación, se presenta el inventario de los insumos y recursos utilizados, considerando las particularidades de cada método y sus etapas específicas. Este inventario abarca los consumos de energía, materiales, químicos y otros recursos, además de los residuos resultantes a lo largo del proceso productivo.

La Tabla 4 detalla los elementos clave de cada etapa para ambos métodos de impresión, y proporciona una visión integral de los recursos involucrados y su impacto potencial en el ciclo de vida del libro.

TABLA 4

Inventario de producción (impresión *offset* y digital)

			IMPRESIÓN OFFSET		IMPRESIÓN DIGITAL			
			CANTIDAD					
			Materia prima/ Insumo	Libro	Tiraje	Libro		Tiraje
Materias primas	Materias primas	Papel bond 70 gr.	0,292	292,00	0,292	87,60	kg	
		Tintas CMYK	0,002	1,55	0,002	0,47	kg	
		Tintas CMYK	0,001	0,89	0,001	0,27	kg	
		Cubierta rustica (esmaltado 250 gr.)	0,038	38,11	0,038	11,43	kg	
		Hilo	0,002	2,00	0,002	0,60	kg	
		Pegante/Adhesivo	0,003	3,47	0,003	1,04	kg	
	Energía eléctrica	Montacargas	0,002	1,75	0,002	0,53	kWh	
Producción de planchas	Insumos	Plancha aluminio 1055 x 811	0,014	13,56			kg	
Grabado de planchas	Insumos	Revelador (quemado de planchas)	0,005	4,88			kg	
	Energía eléctrica	CTP (quemado de planchas)	0,011	10,50			kWh	
	Agua	CTP	0,024	24,400			kg	
Conversión de papel	Insumos	Papel strech / Vinipel	0,0002	0,20	0,0002	0,06	kg	
	Energía eléctrica	Convertidora	0,007	6,55	0,007	1,96	kWh	
		Guillotina	0,005	5,31	0,005	1,59	kWh	
	Residuos	Refile preliminar	0,015	15,20	0,015	4,56	kg	
		Empaque (conos y sábana)	0,012	12,00	0,012	3,60	kg	
		Papel strech / Vinipel	0,003	2,56	0,003	0,77	kg	

Impresión	Insumos	Alcohol	0,003	3,00	0,003	0,90	kg
		Solución de fuente	0,003	3,00	0,003	0,90	kg
		Líquido refrigerante - Máquina bicolor para páginas internas	0,0005	0,49	0,0005	0,15	kg
		Líquido refrigerante - Máquina 4 colores para carátulas	0,000004	0,004	0,000004	0,001	kg
	Energía eléctrica	Impresora offset - 1 tinta	0,091	91,23			kWh
		Impresora offset - policromía	0,065	64,51			kWh
		Impresión de carátulas	0,024	23,96	0,024	7,19	kWh
		Impresora digital			0,286	85,70	kWh
	Residuos	Residuos contaminados con tinta	0,005	4,85	0,005	1,46	kg
		Planchas usadas	0,014	13,56			kg
		Agua del CTP	0,004	3,92			kg

Plegado y plastificado	Insumos	Plastificado mate	0,012	11,59	0,012	3,48	kWh
	Energía eléctrica	Plastificadora	0,171	170,84	0,171	51,25	
		Plegadora	0,017	17,18	0,017	5,15	
	Residuos	Plastificado residual	0,0002	0,17	0,000	0,05	kg
		Residuos contaminados con grasa	0,0015	1,50	0,002	0,45	kg

Encuadernación y refile	Energía eléctrica	Cosedora	0,047	46,94	0,047	14,08	kWh
		Encuadernadora y refiladora	0,044	44,26	0,044	13,28	
		Residuos contaminados con pegante	0,002	2,00	0,002	0,60	kg

Termo-sellado y empaque	Insumos	Plástico termoencogible	0,001	0,85	0,001	0,40	kh
		Etiqueta trazabilidad	0,0001	0,05	0,000	0,02	kg
		Caja	0,010	10,00	0,010	3,00	kg
		Cinta	0,009	9,00	0,009	2,70	kg
	Energía eléctrica	Termoselladora	0,072	71,78	0,072	21,53	kWh
	Residuos	Cono interno plástico termosellado	0,00015	0,15	0,00015	0,05	kg

Fuente: imprentas consultadas.

5.1.4 Etapa de distribución y venta

El análisis de la etapa de distribución y venta considera el transporte de los libros desde la imprenta hasta las bodegas de la editorial, y desde estas a los puntos de venta. Las distancias y su ponderación han sido determinadas según los siguientes escenarios:

5.1.4.1 Transporte de la imprenta a la bodega de la editorial

Este trayecto tiene una distancia máxima de 40 km, considerando que las imprentas y las editoriales se encuentran ubicadas principalmente en Bogotá y la región de la Sabana.

5.1.4.2 Transporte de la editorial a los puntos de venta:

Para esta etapa se identifican dos escenarios principales:

- **Distribución en Bogotá:** representa el 80 % de las ventas y contempla una distancia promedio de 50 km.
- **Distribución nacional:** corresponde al 20 % de las ventas, con una distancia promedio de 1000 km para llegar a las principales ciudades del país.

5.1.4.3 Cálculo de la distancia total ponderada:

La distancia ponderada se calcula como sigue:

$$(0,8 \times 50 \text{ km}) + (0,2 \times 1000 \text{ km}) = 40 \text{ km} + 200 \text{ km} = 240 \text{ km}$$

La **distancia total ponderada** para el análisis de distribución y venta, considerando las dos etapas, será de **40 km** (imprenta a bodega) + **240 km** (bodega a puntos de venta), para un total de **280 km por lote de libros**.

5.1.5 Etapa de uso

La etapa de uso no representa un impacto ambiental significativo adicional en el desempeño del libro, ya que no requiere consumos energéticos o materiales específicos durante este periodo. No obstante, para el análisis, se considera que la vida útil del libro oscila entre 10 y 20 años, de acuerdo con el cuidado dado por los usuarios y las condiciones de almacenamiento. Este rango refleja el tiempo promedio durante el cual un libro de lectura general mantiene su funcionalidad y utilidad para múltiples lectores.

5.1.6 Etapa de fin de vida

Para la etapa de fin de vida, se consideró un escenario de aprovechamiento del papel y cartón en Colombia del 60% y una disposición final del 40% en relleno sanitario. El peso promedio de cada libro se estima en 350 gr, de manera que 210 gr se considerarán como aprovechados (el impacto del aprovechamiento se considera fuera de los límites del sistema) y 140 gr se modelarán como disposición final.

5.2 FUENTE DE DATOS GENÉRICOS

Para este estudio, se ha seleccionado la base de datos Ecoinvent 3.10 como la fuente principal de datos genéricos. Esta elección se basa en la amplitud y calidad de su biblioteca, que proporciona información detallada y confiable sobre procesos productivos y flujos ambientales a nivel global. Aunque no está específicamente diseñada para el contexto colombiano, Ecoinvent permite realizar adaptaciones al ámbito local al ofrecer datos representativos y ampliamente utilizados en estudios de análisis de ciclo de vida. Su enfoque estandarizado y su actualización constante la convierten en una herramienta adecuada para evaluar de manera integral los impactos asociados a la producción de libros en el país.



5.2.1 Ecoinvent 3.10

Base de datos desarrollada por el centro Ecoinvent de Suiza, creada a partir de una iniciativa conjunta del instituto suizo de investigación ETH y diversas oficinas federales de suiza (PSI, EPFL, EMPA, ART). Los datos están basados en masa, más de 10.000 procesos en muchos sectores como la energía, el transporte, los materiales de construcción, productos químicos, productos de lavado, papel y cartón, la agricultura y la gestión de residuos. Esta base de datos se encuentra actualizada a noviembre de 2023.



Evaluación del inventario de ciclo de vida (EICV)

6.1 PROCEDIMIENTO DE EICV

El análisis de ciclo de vida (ACV) se desarrolló siguiendo un enfoque metodológico riguroso, conforme a las normas internacionales ISO 14040 e ISO 14044, que establecen los principios, requisitos y directrices para realizar un ACV. Este marco normativo asegura la calidad, consistencia y comparabilidad del estudio y, de esta forma, se alinea con las mejores prácticas en el ámbito ambiental.

6.1.1 Validación de reglas y referencias

Como primera etapa, se validaron las reglas de categoría de producto (PCR) relevantes para la evaluación del papel y se revisaron análisis previos en el sector editorial. En este proceso se utilizó como documento principal de referencia el *Manual de la buena ecoedición. Guía de buenas prácticas para la ecoedición y el ecodiseño en el sector de las publicaciones (libros y revistas)* (2013), desarrollado por Leitat, El Tinter y Simpple, en el marco del Proyecto LIFE+ 09 ENV/ES/000457. Este aportó lineamientos clave para estructurar el estudio.

6.1.2 Uso del software SimaPro 9.5

El software **SimaPro 9.5** se empleó como herramienta principal para la modelación del ciclo de vida. Este software permitió integrar datos primarios y secundarios, realizar cálculos detallados de impactos ambientales y visualizar los flujos de entrada y salida a lo largo del ciclo de vida del producto.

6.1.3 Modelación del sistema

Se modelaron todas las etapas del ciclo de vida del libro, desde la extracción y transporte de las materias primas hasta el fin de vida del producto. El análisis incluyó las tecnologías de impresión *offset* y digital, teniendo en cuenta las particularidades operativas y logísticas de cada método².

6.1.4 Selección, clasificación y caracterización de impactos

En esta fase, se seleccionaron las categorías de impacto relevantes para el estudio; se consideraron aspectos ambientales clave como emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de energía y generación de residuos. Los flujos de entrada y salida del sistema fueron clasificados y caracterizados utilizando métodos de evaluación de impacto reconocidos, como el IPCC para emisiones de carbono.

6.2 CATEGORÍAS DE IMPACTO

A continuación, se presentan las categorías de impacto ambiental seleccionadas para este análisis, las cuales permiten evaluar de manera integral los efectos potenciales del ciclo de vida del libro en el medio ambiente y los recursos naturales. Para el análisis, se utilizó la metodología CML-IA en la mayoría de las categorías de impacto, complementada con *ReCiPe Midpoint (H)* para evaluar el consumo de agua y *Cumulative Energy Demand (CED)* para analizar el consumo de energía.

1. **Potencial de calentamiento global (PCG):** el PCG mide las emisiones de gases de efecto invernadero liberadas durante todo el ciclo de vida del libro y tiene en cuenta su capacidad de atrapar calor en la atmósfera. Los resultados se expresan en **kilogramos de CO₂ equivalente**; representa el impacto relativo en el cambio climático.
2. **Potencial de destrucción de ozono estratosférico (PDOE):** el PDOE evalúa la contribución de los compuestos liberados al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico. Este indicador se expresa en **kilogramos de CFC-11 equivalente**, una referencia estándar para comparar el impacto relativo de diversas sustancias.

2. En caso de querer conocer detalles técnicos adicionales, como el montaje de la información en el *software* Sigma Pro, el listado de los paquetes de datos extraídos de Ecoinvent o las metodologías, puede solicitar el anexo técnico al Cerlalc (cerlalc@cerlalc.org).

3. **Potencial de acidificación (PA):** el PA representa la liberación de compuestos acidificantes, como dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que afectan la acidez del suelo y las aguas. Los valores se expresan en **kilogramos de SO_2 equivalente**; proporciona una medida del daño potencial a los ecosistemas.
4. **Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF):** el PFOF mide la contribución de los precursores de ozono troposférico, como compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno, a la formación de *smog* fotoquímico. Este impacto se expresa en **kilogramos de C_2H_4 equivalente**; indica la incidencia en la calidad del aire.
5. **Potencial de eutrofización (PE):** el PE evalúa el aporte de nutrientes, como fósforo y nitrógeno, que pueden generar proliferación de algas y deterioro de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos. Los resultados se expresan en **kilogramos de PO_4^{3-} equivalente**; refleja el nivel de enriquecimiento de nutrientes.
6. **Potencial de toxicidad humana (PTH):** el PTH cuantifica el impacto potencial de sustancias químicas tóxicas en la salud humana. Los resultados se expresan en **kilogramos de 1,4-diclorobenceno (1,4-DB) equivalente**; permite comparar la toxicidad relativa de diversos compuestos.
7. **Potencial de agotamiento de recursos abióticos (PERA):** el PERA mide el consumo de recursos minerales y metálicos no renovables, expresado en **kilogramos de antimonio equivalente**. Este indicador refleja la presión ejercida sobre la disponibilidad de recursos abióticos críticos.
8. **Demanda acumulada de energía (CEM):** la CEM representa el total de energía primaria requerida a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, incluyendo fuentes renovables y no renovables. Los resultados se expresan en **megajulios (MJ)**; proporciona una visión integral del consumo energético.
9. **Consumo de agua:** este indicador cuantifica el volumen total de agua utilizado directa e indirectamente en las diferentes etapas del ciclo de vida. Permite evaluar la presión sobre los recursos hídricos en **metros cúbicos**, considerando su disponibilidad y sostenibilidad.

6.3 RESULTADOS DE EICV

Los resultados que se mostrarán a continuación corresponden al desempeño ambiental de:

- Un libro del que se haya hecho una tirada de 1000 ejemplares. Comprende las etapas de diseño y edición, transporte de materias primas e insumos, producción a través de **impresión offset**, distribución nacional, uso por un periodo de 10 a 20 años y fin de vida.
- Un libro del que se haya hecho una tirada de 300 ejemplares. Comprende las etapas de diseño y edición, transporte de materias primas e insumos, producción a través de **impresión digital**, distribución nacional, uso por un periodo de 10 a 20 años y fin de vida.
- Comparación de libro impreso *offset* frente a libro impreso digital.
- Representatividad de las materias primas.
- Sensibilidad de los tipos de tinta.
- Sensibilidad de los tipos de papel.



6.3.1 Impresión *offset*

TABLA 5

Resultados de EICV (impresión *offset*)

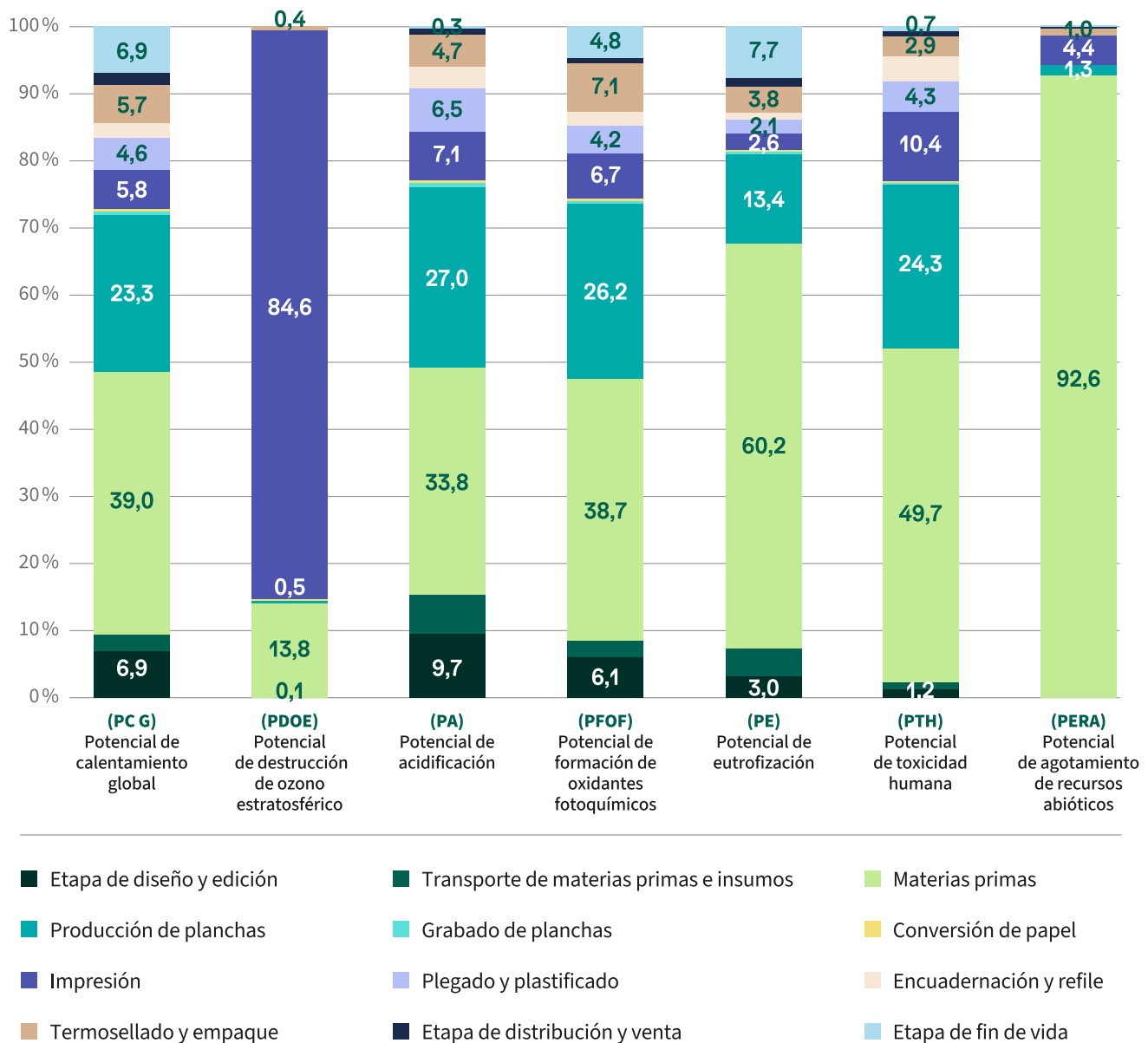
↗CATEGORÍA DE IMPACTO	↗UNIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	7,77E-02	2,99E-02	4,40E-01	2,63E-01	5,26E-03	3,67E-03	6,61E-02	5,28E-02	2,59E-02	6,44E-02	1,89E-02	7,83E-02
Potencial de destrucción de ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	2,27E-10	3,48E-10	3,18E-08	1,15E-09	1,34E-10	2,64E-11	1,94E-07	1,56E-10	7,71E-11	9,66E-10	2,18E-10	3,50E-11
Potencial de acidificación	kg SO2 eq	5,27E-04	3,03E-04	1,83E-03	1,47E-03	2,90E-05	2,09E-05	3,86E-04	3,56E-04	1,73E-04	2,58E-04	4,97E-05	1,69E-05
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	2,14E-05	9,00E-06	1,35E-04	9,12E-05	1,20E-06	1,10E-06	2,34E-05	1,46E-05	7,18E-06	2,49E-05	2,23E-06	1,67E-05
Potencial de eutrofización	kg PO4 eq	2,71E-05	3,71E-05	5,28E-04	1,17E-04	2,87E-06	1,32E-06	2,35E-05	1,85E-05	9,08E-06	3,41E-05	9,62E-06	6,75E-05
Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	9,56E-03	9,05E-03	3,84E-01	1,88E-01	2,79E-03	6,49E-04	8,10E-02	3,39E-02	3,05E-02	2,25E-02	4,46E-03	5,88E-03
Potencial de agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	1,20E-09	1,30E-09	1,18E-06	1,71E-08	9,95E-10	1,17E-10	5,68E-08	9,50E-10	5,32E-10	1,33E-08	1,12E-09	5,92E-10
Demanda acumulada de energía	MJ	1,23E+00	9,29E-03	1,01E+01	2,12E+00	6,23E-02	4,69E-02	8,65E-01	8,32E-01	4,06E-01	6,76E-01	7,32E-03	8,39E-03
Consumo de agua	m3	9,26E-04	1,24E-05	1,28E-02	1,40E-03	8,75E-05	4,12E-05	6,78E-04	6,25E-04	3,05E-04	6,22E-04	9,49E-06	-5,28E-04

1. Etapa de diseño y edición 2. Materias primas 3. Transporte de materias primas 4. Producción de planchas 5. Grabado de planchas 6. Conversión de papel 7. Impresión 8. Plegado y plastificado 9. Encuadernación y refile 10. Termosellado y empaque 11. Distribución y venta 12. Etapa de fin de vida.



FIGURA 2

Contribución porcentual de las distintas etapas del ciclo de vida por categoría de impacto ambiental (impresión offset)



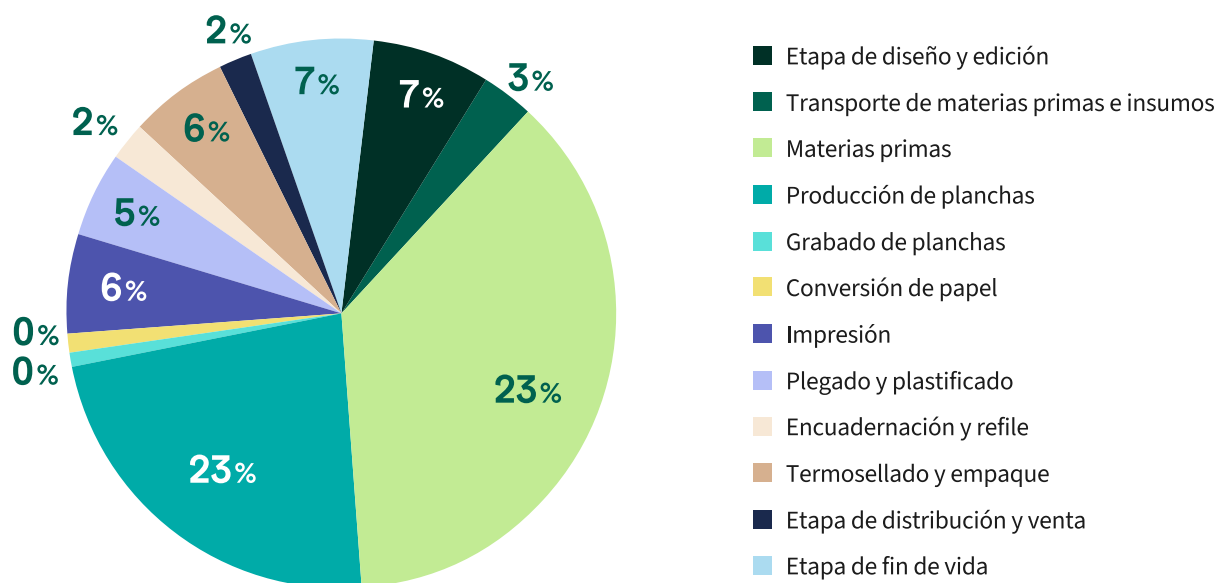
La Figura 2 muestra el aporte porcentual de cada etapa del ciclo de vida al cambio climático, medido en kgCO₂e por libro. Las mayores contribuciones provienen de las materias primas (39 %) y la producción de planchas (23 %).

Además, al considerar el impacto por ejemplar, las etapas de grabado de planchas, conversión de papel, distribución y venta, así como encuadernación y refilado, representan menos del 5 % del total. Cabe señalar que la etapa de distribución y venta contempla únicamente el transporte hasta el punto de venta en la ciudad de Bogotá; posibles trayectos adicionales, causados por devoluciones o redistribución de ejemplares, se excluyen del alcance del sistema analizado.



FIGURA 3

Contribución de cada etapa del ciclo de vida a la categoría potencial de calentamiento global (impresión *offset*)



Por otra parte, para desagregar la contribución relativa dentro de cada etapa, se presenta un diagrama de red correspondiente al proceso de impresión *offset*. En línea con lo observado en la Figura 3, las materias primas y la producción de planchas destacan como los componentes de mayor impacto. En particular, el papel de las páginas interiores y de la cubierta, junto con el plastificado —debido al consumo de papel y resinas plásticas—, concentran el mayor aporte en el componente de materias primas, mientras que el impacto asociado a la producción de planchas se explica principalmente por el empleo de aluminio de origen primario.

6.3.2 Impresión digital

A continuación, se presenta el impacto ambiental del ciclo de vida de un libro impreso en digital. En este tipo de impresión no se utilizan planchas. Se consideran el uso de los equipos propios de esta tecnología y la reducción de insumos auxiliares.

TABLA 6

Resultados de EICV (impresión digital)

↗CATEGORÍA DE IMPACTO	↗UNIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	7,77E-02	2,99E-02	4,40E-01	3,67E-03	9,79E-02	5,28E-02	2,59E-02	6,44E-02	1,89E-02	7,83E-02
Potencial de destrucción de ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	2,27E-10	3,47E-10	3,18E-08	2,64E-11	2,02E-09	1,56E-10	7,71E-11	9,66E-10	2,18E-10	3,50E-11
Potencial de acidificación	kg SO2 eq	5,27E-04	3,03E-04	1,83E-03	2,09E-05	6,18E-04	3,56E-04	1,73E-04	2,58E-04	4,97E-05	1,69E-05
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	2,14E-05	8,99E-06	1,35E-04	1,10E-06	3,15E-05	1,46E-05	7,18E-06	2,49E-05	2,23E-06	1,67E-05
Potencial de eutrofización	kg PO4 eq	2,71E-05	3,71E-05	5,28E-04	1,32E-06	3,49E-05	1,85E-05	9,08E-06	3,41E-05	9,62E-06	6,75E-05
Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	9,56E-03	9,03E-03	3,84E-01	6,49E-04	8,40E-02	3,39E-02	3,05E-02	2,25E-02	4,46E-03	5,88E-03
Potencial de agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	1,20E-09	1,29E-09	1,18E-06	1,17E-10	3,54E-08	9,50E-10	5,32E-10	1,33E-08	1,12E-09	5,92E-10
Demanda acumulada de energía	MJ	1,23E+00	9,26E-03	1,01E+01	4,69E-02	1,43E+00	8,32E-01	4,06E-01	6,76E-01	7,32E-03	8,39E-03
Consumo de agua	m3	9,26E-04	1,24E-05	1,28E-02	4,12E-05	1,09E-03	6,25E-04	3,05E-04	6,22E-04	9,49E-06	-5,28E-04

1. Etapa de diseño y edición 2. Materias primas 3. Transporte de materias primas e insumos 4. Conversión de papel 5. Impresión 6. Plegado y plastificado 7. Encuadernación y refile 8. Termosellado y empaque 9. Distribución y venta 10. Etapa de fin de vida.

La Figura 4 muestra la contribución porcentual de cada etapa del ciclo de vida a las distintas categorías de impacto evaluadas para la impresión digital. Se observa que la mayor proporción del impacto proviene de la producción, aguas arriba, de las materias primas utilizadas. Por otra parte, la Figura 5 detalla la participación de cada etapa del ciclo de vida en la categoría de cambio climático. Las materias primas mantienen la mayor contribución, con el 50 % del impacto, seguidas por la etapa de impresión, con el 11 %.

FIGURA 4

Contribución porcentual de las distintas etapas del ciclo de vida por categoría de impacto ambiental (impresión digital)

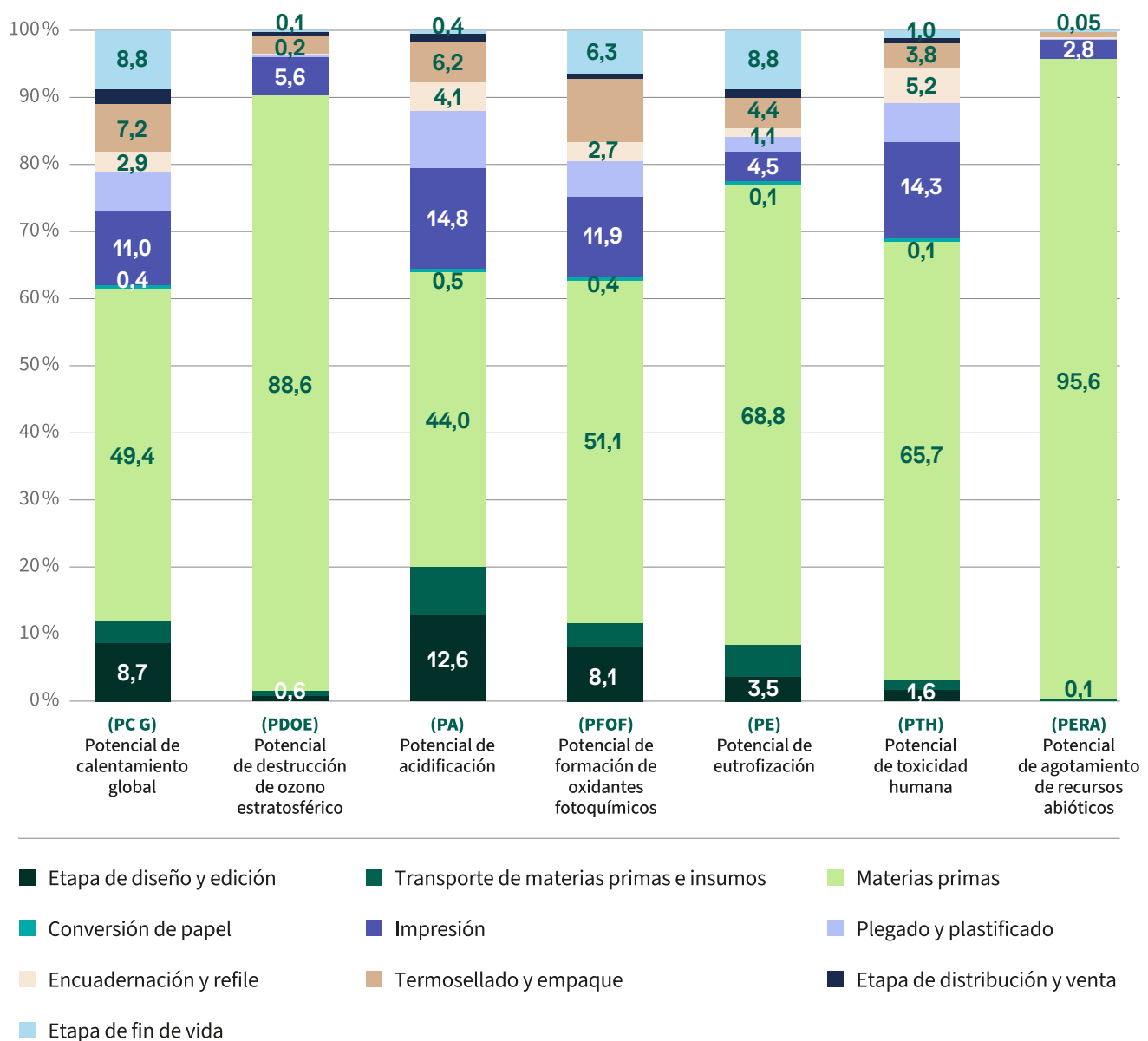
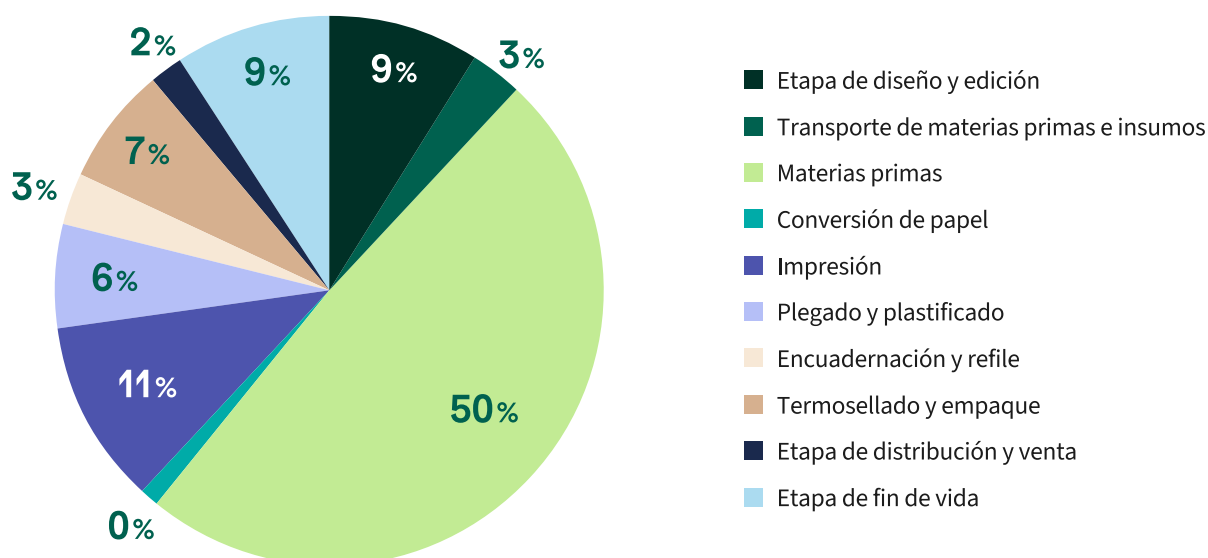


FIGURA 5

Contribución de cada etapa del ciclo de vida a la categoría potencial de calentamiento global (impresión digital)



En este tipo de impresión cobran mayor relevancia etapas de impacto medio como el diseño y edición y el fin de vida, cada una con una contribución del 9 %. Esto subraya, por un lado, la necesidad de mejorar la eficiencia energética en el sector editorial y, por otro, la importancia de fortalecer los sistemas de recolección y aprovechamiento posconsumo, con el fin de minimizar la disposición final en rellenos sanitarios.

También destacan las etapas de pegado y plastificado (6 %) y de termosellado y empaque (7 %), lo que pone de relieve la conveniencia de evaluar la incorporación de materiales y elementos de protección adicionales. Estas decisiones, que pueden afectar la durabilidad del ejemplar, contribuyen a la posibilidad de reducir su huella de carbono a lo largo del ciclo de vida.

6.4 COMPARATIVO *OFFSET* FRENTE A DIGITAL

A continuación, se presentan los resultados de forma comparativa del desempeño ambiental general para la producción de un ejemplar con las características indicadas, a través de impresión *offset* y digital.

El promedio de las tres imprentas evaluadas arroja un impacto, para impresión *offset*, de aproximadamente 1,13 kgCO₂e por libro, con un consumo

energético de 4,55 kWh y un requerimiento hídrico de 17 litros a lo largo del ciclo de vida. En contraste, la impresión digital presenta un impacto estimado de 0,78 kgCO₂e por libro, 3,37 kWh de energía y 15,2 litros de agua requeridos.

Al comparar ambos sistemas, se evidencian diferencias significativas en varias categorías de impacto. Por ejemplo, en el potencial de destrucción de la capa de ozono, la impresión digital presenta un mejor desempeño, debido a que no hay recambio de refrigerantes en los equipos. Las principales diferencias se concentran en las etapas de grabado y producción de planchas —inexistentes en impresión digital—, así como en la tecnología y los requerimientos energéticos propios de cada tipo de equipo de impresión.

TABLA 7
Resultados de impacto (impresión *offset*)

➤CATEGORÍA DE IMPACTO	➤UNIDAD	IMPRENTA 1	IMPRENTA 2	IMPRENTA 3	RESULTADOS PROMEDIO
Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	0,98	1,11	1,30	1,13
Potencial de destrucción de ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	6,20E-07	3,42E-08	3,48E-08	2,30E-07
Potencial de acidificación	kg SO2 eq	4,56E-03	5,37E-03	6,32E-03	5,42E-03
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	3,34E-04	3,00E-04	4,10E-04	3,48E-04
Potencial de eutrofización	kg PO4 eq	8,73E-04	6,77E-04	1,08E-03	8,76E-04
Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	6,24E-01	6,88E-01	1,01E+00	7,73E-01
Potencial de agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	1,08E-06	1,53E-06	1,23E-06	1,28E-06
Demanda acumulada de energía	MJ	1,80E+01	9,83E+00	2,13E+01	1,64E+01
	kWh	5,01	2,73	5,91	4,55
Potencial de calentamiento global	m3	1,51E-02	1,77E-02	1,80E-02	1,70E-02
	Litros	15,15	17,75	17,97	16,96



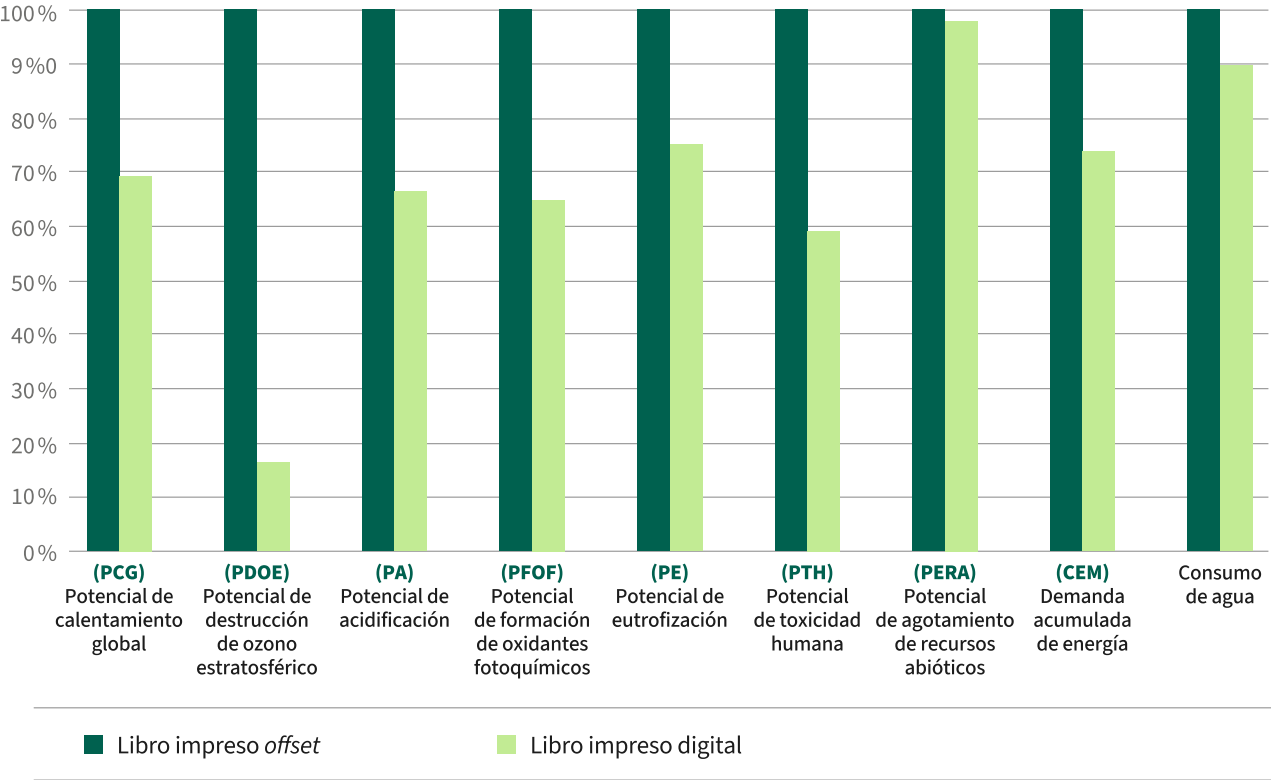
TABLA 8
Resultados de impacto (impresión digital)

➤CATEGORÍA DE IMPACTO	➤UNIDAD	IMPRENTA 1	IMPRENTA 2	IMPRENTA 3	RESULTADOS PROMEDIO
Potencial de calentamiento global (PCG)	kg CO2 eq	0,78	0,79	1,10	0,78
Potencial de destrucción de ozono estratosférico (PDOE)	kg CFC-11 eq	4,14E-08	3,25E-08	3,38E-08	3,70E-08
Potencial de acidificación (PA)	kg SO2 eq	3,55E-03	3,64E-03	5,28E-03	3,60E-03
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)	kg C2H4 eq	2,60E-04	1,91E-04	3,39E-04	2,26E-04
Potencial de eutrofización (PE)	kg PO4 eq	7,81E-04	5,33E-04	9,88E-04	6,57E-04
Potencial de toxicidad humana (PTH)	kg 1,4-DB eq	4,55E-01	4,57E-01	8,42E-01	4,56E-01
Potencial de agotamiento de recursos abióticos (PERA)	kg Sb eq	9,98E-07	1,51E-06	1,21E-06	1,25E-06
Demanda acumulada de energía (CEM)	MJ	1,69E+01	7,36E+00	2,00E+01	1,21E+01
	kWh	4,69	2,04	5,56	3,37
Consumo de agua	m3	1,44E-02	1,60E-02	1,72E-02	1,52E-02
	Litros	14,42	16,02	17,19	15,22

TABLA 9
Comparativo de los resultados de EICV – Impresión *offset* vs. digital

➤CATEGORÍA DE IMPACTO	➤UNIDAD	IMPRESIÓN OFFSET	IMPRESIÓN DIGITAL
Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	1,13	0,78
Potencial de destrucción de ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	2,30E-07	3,70E-08
Potencial de acidificación	kg SO2 eq	5,42E-03	3,60E-03
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	3,48E-04	2,26E-04
Potencial de eutrofización	kg PO4 eq	8,76E-04	6,57E-04
Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	7,73E-01	4,56E-01
Potencial de agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	1,28E-06	1,25E-06
Demanda acumulada de energía	MJ	1,64E+01	1,21E+01
	kWh	4,55	3,37
Consumo de agua	m3	1,70E-02	1,52E-02
	Litros	16,96	15,22

FIGURA 6
Resultados comparativos - Impresión *offset* vs. digital



6.5 EQUIVALENCIA DE IMPACTO

6.5.1 Contexto

El mayor impacto ambiental de la impresión *offset*, en comparación con la digital, se atribuye principalmente a la producción y grabado de planchas, así como a las diferencias tecnológicas entre ambos procesos. Este impacto tiende a reducirse a medida que se incrementa el tiraje, ya que el impacto fijo asociado a las planchas se distribuye entre un mayor número de ejemplares.

En el escenario considerado, la impresión *offset* para una tirada de 1000 ejemplares presenta un impacto promedio de 1,13 kg CO₂e por libro. En contraste, la impresión digital registra un impacto menor, de 0,89 kg CO₂e por ejemplar.

En el caso del *offset*, el impacto total se compone de:

- Un componente fijo correspondiente a la producción y grabado de planchas, independiente de la cantidad de libros impresos.
- Un componente variable asociado al proceso de impresión (insumos como tinta, papel, energía, etc.), proporcional al número de ejemplares.

Dado que el impacto fijo de las planchas se distribuye entre todos los ejemplares impresos, su peso relativo disminuye con mayores tirajes. En consecuencia, para tirajes bajos, la impresión *offset* presenta una huella de carbono superior a la digital.

¿Cuál es la cantidad mínima de ejemplares necesarios impresos en *offset* para que el impacto ambiental por ejemplar sea equivalente al de la impresión digital? ¿Cuál es el punto de equilibrio a partir del cual la impresión *offset* iguala o mejora el desempeño ambiental de la digital, en términos de emisiones de CO₂ equivalente?



6.5.2 Definición de variables

↗SÍMBOLO	↗DESCRIPCIÓN	↗VALOR
I_o	Impacto total de imprimir 1000 libros en offset	1130 kg CO ₂ eq
I_d	Impacto total de imprimir 1000 libros en digital	889 kg CO ₂ eq
N_o	Número actual de libros en offset	1000 libros
I_{PP}	Impacto de producción de las planchas	0,263 kg CO ₂ eq
I_{GP}	Impacto de grabado de las planchas	0,00526 kg CO ₂ eq
f_p	Fracción de plancha usada por libro	0,014

N_o representa la representa la cantidad inicial de **ejemplares impresos en offset**, en este caso, 1000 ejemplares. Este valor se utiliza como base de comparación con la impresión digital y permite calcular el impacto ambiental por libro en ambos escenarios.

Dado que el impacto de las planchas se encontraba expresado en términos unitarios (**por ejemplar**), el impacto total asociado a la producción y grabado de las planchas para una tirada de 1000 ejemplares se calcula multiplicando dicho valor por N_o :

$$I_{PP\text{ total}} = I_{PP} * N_o = 0,263 * 1000 = 263 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$I_{GP\text{ total}} = I_{GP} * N_o = 0,00526 * 1000 = 5,26 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

Entonces, el impacto total de las planchas es:

$$I_p = I_{PP\text{ total}} + I_{GP\text{ total}} = 263 \text{ kgCO}_2\text{e} + 5,26 \text{ kgCO}_2\text{e} = 268,26 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

Y el impacto de la impresión offset, sin contar las planchas:

$$I_{o-s} = I_o - I_p = 1130 \text{ kgCO}_2\text{e} - 268,26 \text{ kgCO}_2\text{e} = 861,74 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

6.5.3 Cálculo del número de libros X para igualar digital

Queremos encontrar X tal que el impacto por libro en *offset* sea igual al de la impresión digital:

$$\frac{I'_o}{X} = \frac{I_d}{N_o}$$

Donde I_o es el impacto total para X libros:

$$I'_o = I_{o-s} + I_p$$

Reemplazamos en la ecuación:

$$\frac{I_{o-s} + I_p}{X} = \frac{I_D}{N_o}$$

Despejamos X :

$$X = \frac{I_{o-s} + I_p}{\frac{I_D}{N_i}} = \frac{861,74 \text{ kgCO}_2\text{e} + 268,26 \text{ kgCO}_2\text{e}}{\frac{889 \text{ kgCO}_2\text{e}}{1000 \text{ libros}}} = \frac{1.130 \text{ kgCO}_2\text{e}}{0,880 \text{ kgCO}_2\text{e}} = 1271 \text{ libros}$$

6.5.4 Validación del resultado

Verifiquemos si, con una **tirada de 1271 ejemplares**, el impacto por libro en impresión *offset* se iguala al de la impresión digital:

$$I'_o = I_{o-s} + I_p = 1130 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$\frac{1130 \text{ kgCO}_2\text{e}}{1271 \text{ libros}} = 0,889 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

Este valor coincide con el impacto por libro estimado para la impresión digital, lo que confirma la validez del cálculo.

Para que el impacto ambiental de la impresión *offset* sea igual o inferior al de la impresión digital, es necesario producir al menos 1271 ejemplares utilizando las mismas planchas. Para tirajes menores, la impresión digital continúa siendo la opción más eficiente en términos ambientales.

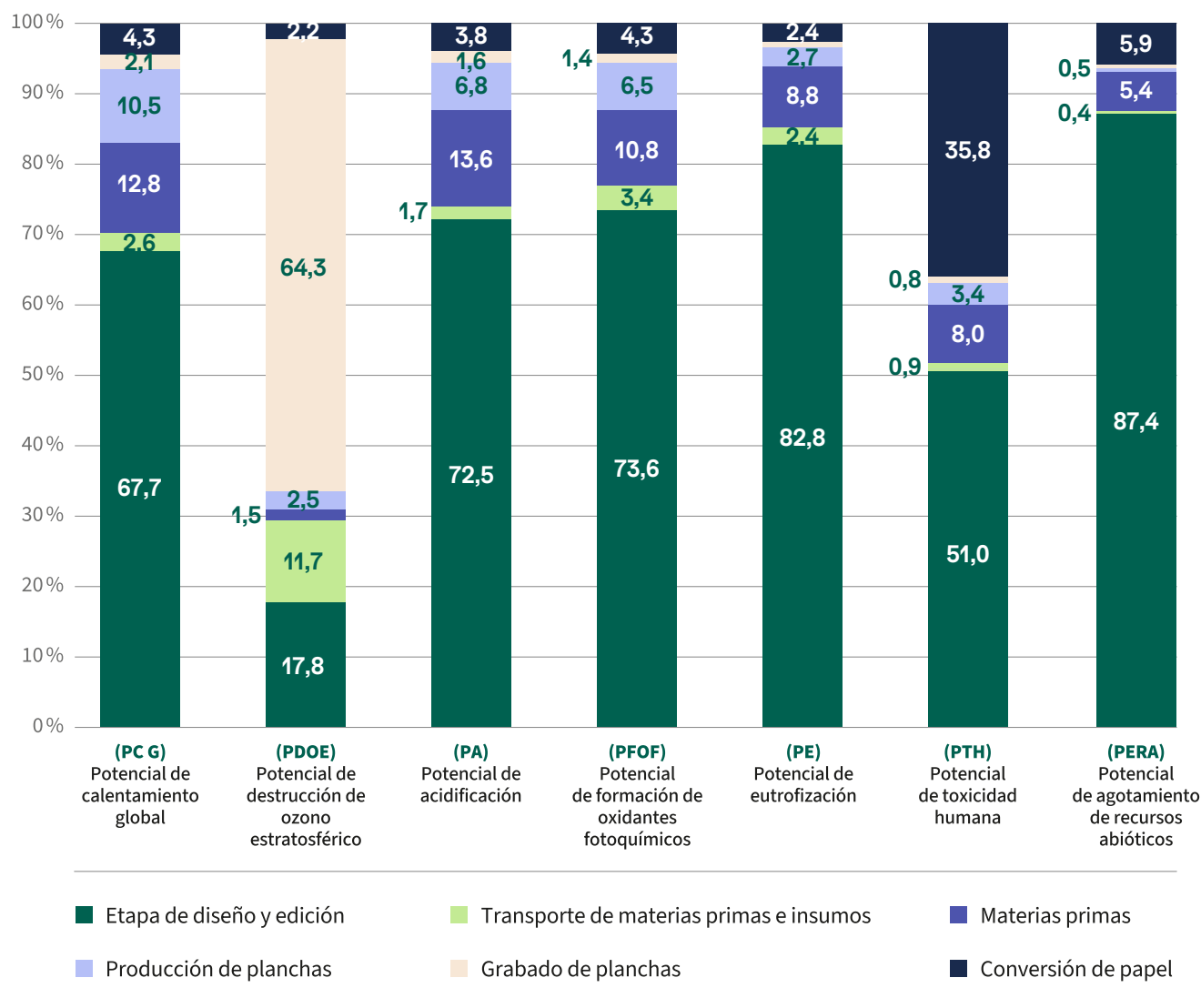
6.6 REPRESENTATIVIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS

A continuación, se presentan los porcentajes de participación, en cada categoría de impacto evaluada, de las materias primas que componen el libro: papel de interiores y cubierta, tintas, plastificado, hilo y pegante para la encuadernación. Como se observa, el papel representa entre 17,8% de impacto en la categoría de potencial de destrucción de ozono estratosférico (PDOE) y 87,4% en la categoría de potencial de agotamiento de recursos abióticos.



FIGURA 7

Participación de las materias primas del libro en las categorías de impacto evaluadas



6.7 SENSIBILIDAD DE IMPACTO PARA TIPOS DE PAPEL

Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo varía el impacto ambiental del libro según el tipo de papel utilizado en su fabricación. El análisis consideró cinco variantes de papel, diferenciadas por su composición y origen de la materia prima:

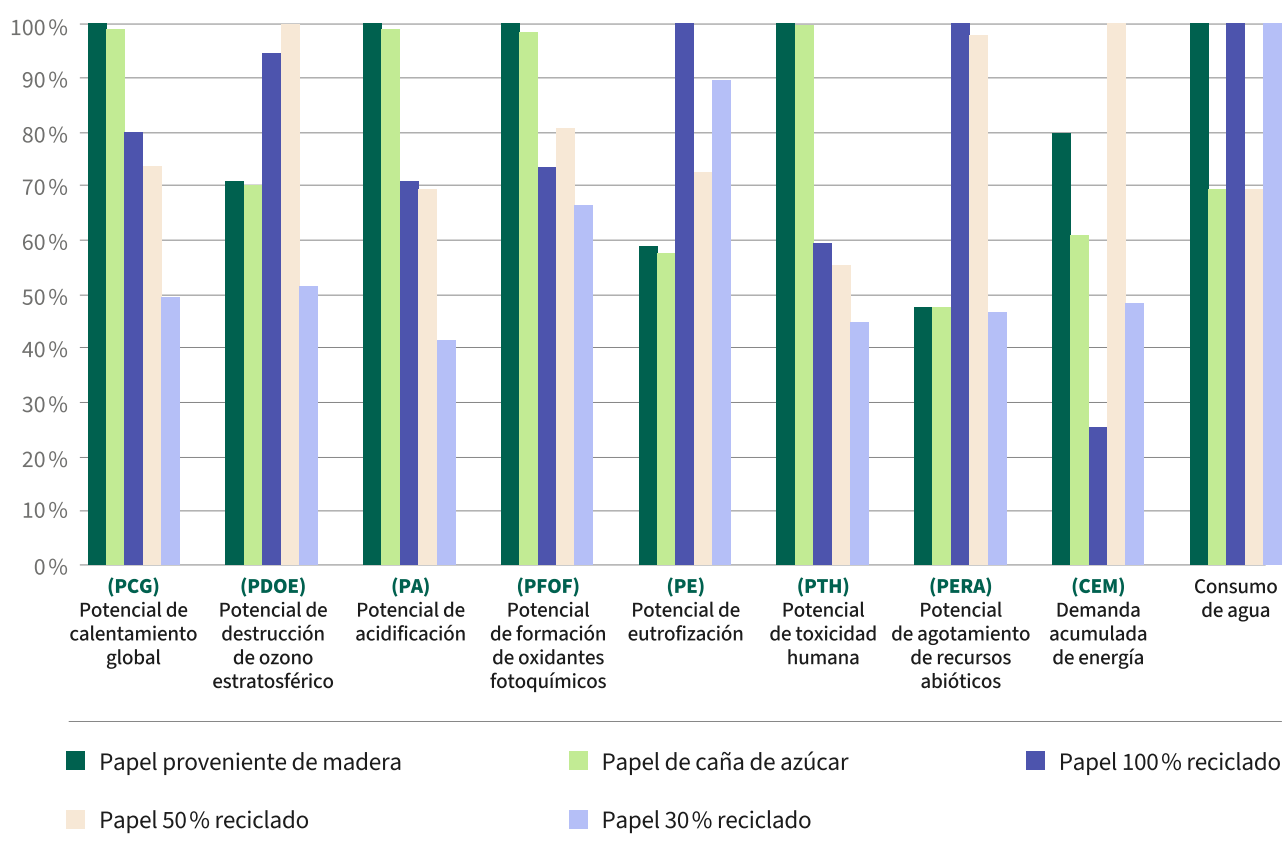
- Papel a partir de fibra virgen de origen maderable
- Papel fabricado con pulpa de bagazo de caña
- Papel 100 % reciclado
- Papel con 50 % de contenido reciclado
- Papel con 30 % de contenido reciclado



Como se muestra en la Figura 8, en cinco de las nueve categorías de impacto evaluadas, el papel elaborado a partir de fibra virgen de origen maderable presenta el mayor impacto ambiental en comparación con las demás alternativas. No obstante, en categorías como el potencial de destrucción de la capa de ozono estratosférico, el potencial de eutrofización y el potencial de agotamiento de recursos abióticos, los papeles reciclados registran impactos superiores. Este comportamiento se debe a los procesos involucrados en la producción de pulpa destintada, que requieren el uso de compuestos químicos para la limpieza del papel, así como un consumo significativo de energía y combustibles durante el procesamiento.

FIGURA 8

Comparativo de sensibilidades de papel



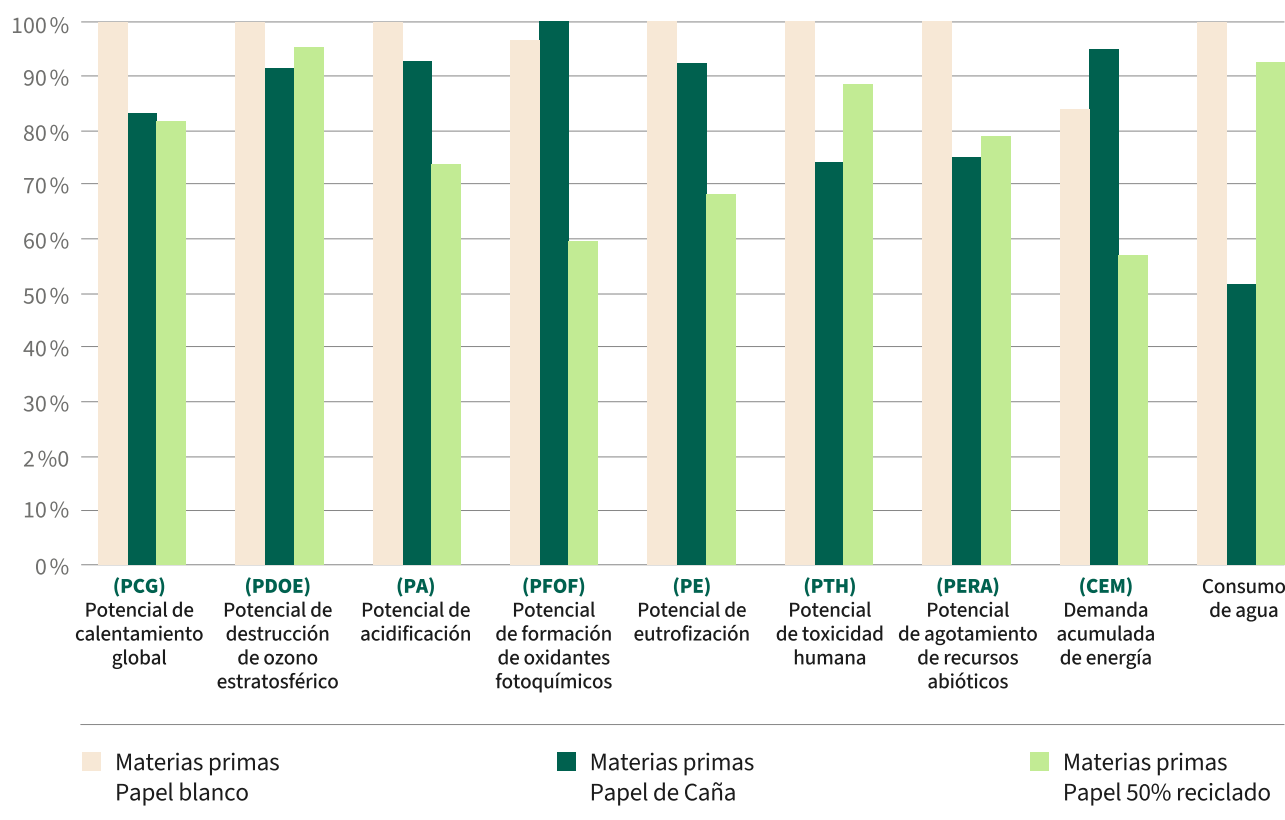
Se realizó una comparación entre tres tipos de libros, considerando únicamente el impacto ambiental asociado a las materias primas utilizadas en el papel: uno con papel bond blanco, otro con papel de bagazo de caña y un tercero con papel con 50 % de contenido reciclado.

Como se observa en la Figura 9, al analizar el potencial de calentamiento global, el papel bond blanco presenta el mayor impacto. El papel de bagazo de caña muestra una reducción del 16,5 %, mientras que el papel con 50 % de contenido reciclado registra el menor impacto en esta categoría, con una reducción del 18 %.

Sin embargo, en otras categorías de impacto, como el consumo de agua, el papel de bagazo de caña presenta un mejor desempeño ambiental, con una disminución del 50 % en el uso de agua durante su producción en comparación con el papel blanco.

FIGURA 9

Comparativo de sensibilidades del libro con tres tipos de papel



Los procesos con mayor contribución al impacto ambiental están asociados principalmente al consumo de energía eléctrica y la generación de calor mediante gas natural. En el caso del papel blanco y del papel reciclado al 50 %, también destacan los impactos vinculados a la producción de pulpa blanqueada y al uso de abrillantadores ópticos empleados para alcanzar la tonalidad deseada.

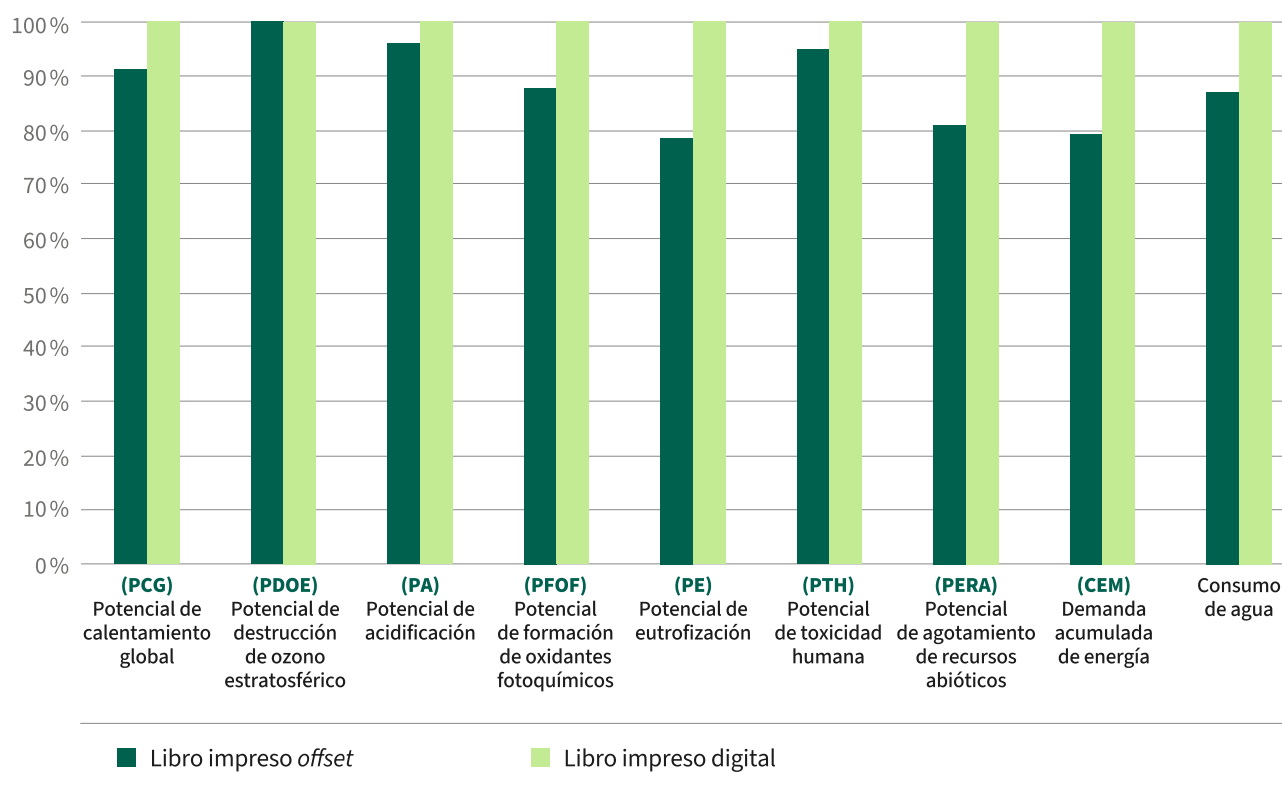
6.8 SENSIBILIDAD DE IMPACTO PARA TIPOS DE TINTA

Se realizó un análisis de sensibilidad considerando dos tipos de tinta empleadas en el proceso de impresión. La primera utiliza aceites minerales como base, mientras que la segunda incorpora aceites vegetales en proporciones iguales de soja (*soybean oil*) y palma (*palm oil*).

Los resultados indican que las tintas formuladas con aceites vegetales presentan un mayor impacto en todas las categorías analizadas, debido principalmente a la extracción de aceites, la producción de ácidos grasos y el uso del suelo para cultivos. No obstante, como se observa en la Figura 10, la tinta de aceites minerales representa únicamente un 2,6 % del impacto en la categoría de potencial de calentamiento global (PCG), lo que sugiere que no constituye un factor crítico en el impacto total del ciclo de vida del libro.

FIGURA 10

Comparativo de sensibilidades de tinta



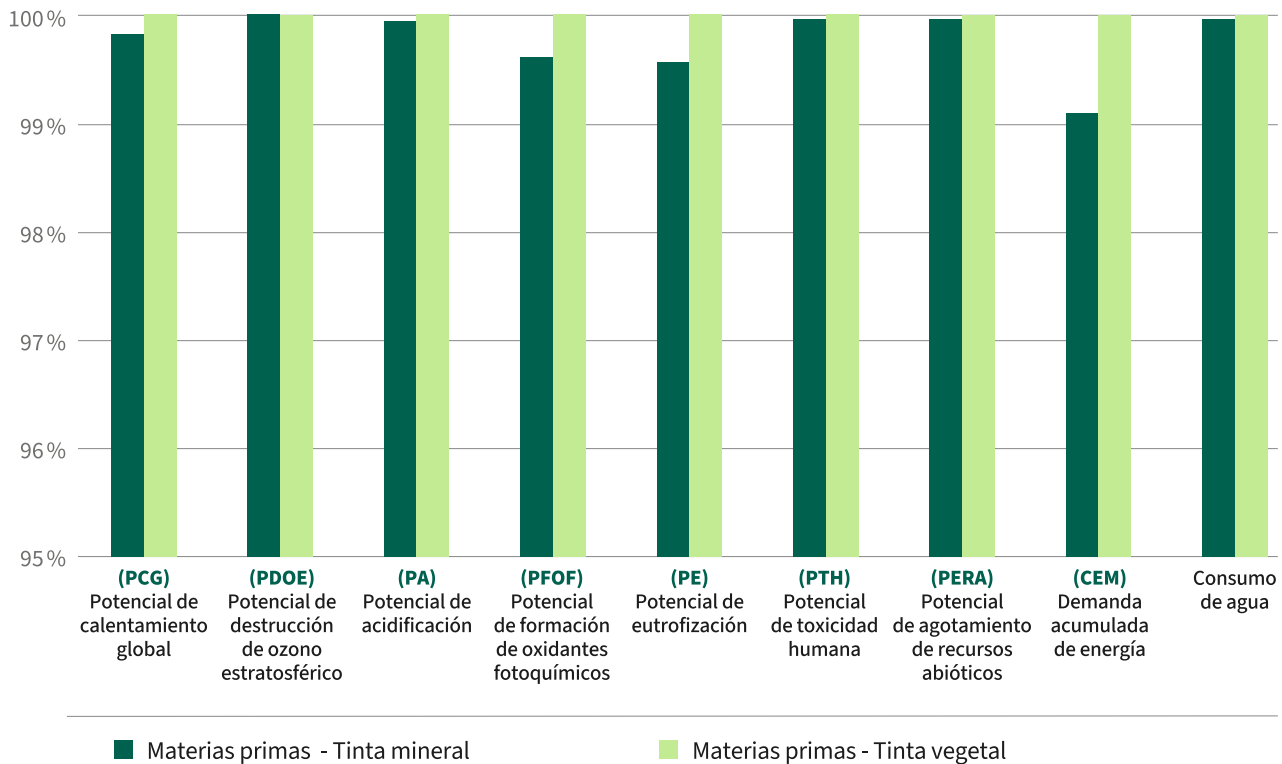
La gráfica comparativa (Figura 11) del impacto ambiental de un libro impreso con ambas tintas muestra que, incluso al ampliar la escala del eje y, las diferencias en la huella ambiental son mínimas al sustituir una tinta por otra. Además, el cambio por tintas vegetales puede generar impactos superiores debido a los procesos asociados a la producción de aceite de palma y soja.



Este análisis se ha ajustado a la matriz energética de Colombia, por lo que se recomienda, en estudios futuros, recopilar datos primarios sobre la producción y el uso de tintas en los distintos contextos locales, a fin de mejorar la precisión y representatividad de la evaluación.

FIGURA 11

Comparativo de sensibilidades de un libro con dos tipos de tinta*



* Comparando 1 p "Materias primas - Tinta mineral" con 1 p "Materias primas - Tinta vegetal". Método: CML-IA baseline - Cataluña V3.09 / EU25 / Caracterización / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo.

El desempeño ambiental de ambos tipos de tinta es similar, lo que indica que la base oleosa tiene una influencia marginal sobre el impacto total. En contraste, otros componentes, como las resinas alquídicas, el polietileno y el *carbon black* utilizado como pigmento, presentan mayor relevancia. Esto sugiere que una estrategia más efectiva para optimizar ambientalmente el proceso de impresión debería centrarse en evaluar alternativas para estos compuestos, en lugar de enfocar los esfuerzos únicamente en la sustitución de aceites.

Interpretación del ciclo de vida

7.1 IMPRESIÓN OFFSET

Los resultados del análisis de ciclo de vida (ACV) para la impresión offset muestran que la etapa con mayor contribución a los impactos ambientales es la producción de materias primas, que lidera seis de las siete categorías evaluadas. Este resultado se explica por el alto consumo de insumos como papel, tintas, adhesivos e hilos, con un impacto particularmente alto en la categoría de agotamiento de recursos abióticos (92,65 %).

La producción de planchas representa la segunda mayor fuente de impacto ambiental, debido a que el modelo considera su uso exclusivo para la impresión de 1000 libros. No obstante, como se señaló en la sección 6.5, al aumentar el tiraje a por lo menos 1271 ejemplares, el impacto de estas planchas se diluye, igualando el nivel registrado en impresión digital. Para tirajes menores, la impresión digital sigue siendo una opción ambientalmente más eficiente.

En cuanto a la etapa de termosellado y empaque, esta aporta entre el 1 % y el 7,85 % del impacto en distintas categorías, principalmente por el consumo energético del equipo de termosellado y el uso de polietileno de baja densidad como material de embalaje. Evaluar la posibilidad de eliminar esta etapa podría reducir hasta 64,4 kgCO₂e por cada 1000 libros.

Un hallazgo crítico del estudio es la alta incidencia de la etapa de impresión en la categoría de destrucción del ozono estratosférico, atribuida a la liberación de gases refrigerantes por los equipos de impresión. Esta emisión sugiere la posible presencia de emisiones fugitivas, asociadas a fallas técnicas o mantenimiento inadecuado de los sistemas de refrigeración, lo que representa una oportunidad de mejora mediante estrategias de gestión y control.

Por último, la etapa de diseño y edición aporta entre el 1,24 % y el 9,72 % del impacto, dependiendo de la categoría, debido al consumo energético de los equipos informáticos utilizados en edición, diseño, corrección y ajustes finales. Al igual que en el caso de las planchas, este impacto puede disminuir por unidad de producto al aumentar el tiraje, mejorando así la eficiencia ambiental del proceso a mayor escala.

7.2 IMPRESIÓN DIGITAL

La etapa de producción de materias primas es la que genera el mayor impacto ambiental en todas las categorías evaluadas, debido al uso intensivo de recursos en la fabricación del libro. Le sigue el proceso de impresión, con una contribución de hasta un 14,9 % en la categoría de potencial de acidificación.

En términos generales, el impacto ambiental del libro impreso en digital resulta menor que en *offset*, ya que no requiere la producción ni el grabado de planchas, ni el uso de insumos como solución de fuente o agua para la dilución de tintas. Además, a diferencia del proceso *offset*, las impresoras digitales no presentan emisiones asociadas a gases refrigerantes, lo que reduce significativamente el impacto en la categoría de destrucción del ozono estratosférico.

Otras etapas relevantes son el termosellado y el empaque, cuyos impactos son comparables a los observados en la impresión *offset*, debido al uso de polietileno de baja densidad (LDPE) como material de embalaje. Tal como se indicó anteriormente, eliminar esta etapa podría representar una reducción de hasta 64,4 kgCO₂e por cada 1000 ejemplares producidos.

Por último, la etapa de diseño y edición aporta un 8,7 % al potencial de calentamiento global, como resultado del consumo energético de los equipos informáticos utilizados. Este hallazgo refuerza la necesidad de mejorar la eficiencia energética del *hardware*, así como de considerar los resultados de este análisis como insumo para futuras decisiones de diseño.



Recomendaciones

Como resultado del análisis de ciclo de vida realizado, se presentan las siguientes recomendaciones estructuradas para reducir los impactos ambientales del sector editorial. Se consideran la selección de materiales, la eficiencia en los procesos y estrategias a largo plazo para mejorar el desempeño de la industria.

8.1 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

- **Uso de papel certificado:** priorizar la compra de materiales con certificaciones ambientales como FSC o PEFC, que garanticen una gestión forestal responsable.
- **Evaluación de alternativas de papel:** considerar opciones de cambio en los tipos de papel usado, como papel de color sepia o aquel tratado con abrillantadores ópticos de menor impacto ambiental.
- **Fomento del abastecimiento local:** favorecer la adquisición de insumos y materias primas de proveedores de proximidad para evitar el impacto ambiental del transporte internacional desde países como Suiza y Brasil.

8.2 ECODISEÑO

- **Optimización del gramaje:** reducir el peso del papel utilizado siempre que sea viable y se garantice la calidad y durabilidad del producto final.
- **Reducción de tintas y colores:** optar por diseños con menor cantidad de colores; privilegiar la impresión en blanco y negro o en escala de grises cuando sea posible, para disminuir el uso de planchas y tintas, así como el consumo de energía en impresoras de varios colores.

8.3 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE IMPRESIÓN

- **Reducción de desperdicios:** identificar oportunidades de mejora en la generación de retales y pérdidas de material en función de la tecnología utilizada (*offset* o digital).

- **Uso de planchas recicladas:** fomentar la utilización de planchas de impresión fabricadas con aluminio reciclado, lo cual disminuye el impacto asociado a la extracción de recursos naturales.

8.4 TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS Y RESIDUOS

- **Optimización logística:** mejorar las rutas de distribución a librerías para reducir emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte.
- **Gestión de residuos cercana:** priorizar el tratamiento de residuos con gestores ubicados en un radio de no más de 50 km, con el fin de minimizar las emisiones derivadas del transporte de residuos.

8.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CICLO DE VIDA

- **Uso de equipos energéticamente eficientes:** adquirir equipos de cómputo con certificaciones como *Energy Star* para la edición y diseño.
- **Renovación tecnológica:** fomentar la actualización tecnológica de maquinaria en imprentas, priorizando equipos con menor consumo energético y mayor eficiencia operativa.

8.6 DISTRIBUCIÓN

- Se recomienda el uso de vehículos que cumplan con la normativa de emisiones Euro IV o superior, lo que no solo optimiza el consumo de combustible, sino que también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

8.7 GESTIÓN DEL FIN DE VIDA DEL PRODUCTO

- **Fomento del reciclaje:** implementar programas de recolección posconsumo, en alianza con librerías y consumidores para aumentar la tasa de recuperación del papel.
- **Campañas de recolección:** promover estrategias con los usuarios y lectores para la recolección de libros en desuso y su reincorporación a la cadena de producción mediante reciclaje.

8.8 COMUNICACIÓN AMBIENTAL EFECTIVA

- **Marketing verde:** desarrollar estrategias de comunicación que resalten los beneficios ambientales del libro ecoeditado y conciencien al consumidor sobre su impacto positivo.
- **Información transparente:** incluir en los libros un apartado que detalle su impacto ambiental y brinde recomendaciones sobre su disposición final.

8.9 INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Investigación sobre reciclaje de papel:** promover el desarrollo de estudios detallados sobre el reciclaje de papel en Colombia, ya que el proceso de reciclaje, limpieza y blanqueo del papel genera impactos que pueden llegar a ser equivalentes o mayores a la producción de papel a partir de materias primas vírgenes.
- **Reutilización de planchas:** explorar el desarrollo de tecnologías que permitan la reutilización de planchas de aluminio mediante procesos de borrado o regeneración, con el objetivo de evitar su desecho tras el primer uso y reducir el impacto ambiental asociado a su fabricación.
- **Alternativas de tintas:** impulsar la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción de tintas a partir de aceites vegetales de menor impacto, evitando el uso de aceite de palma y soya, cuyas cadenas de producción presentan efectos ambientales significativos. Se recomienda priorizar materias primas con menor huella ecológica en toda su cadena de valor.
- **Reducción del uso de retractilado:** el proceso de retractilado representa entre el 6 % y el 7 % del impacto total en el ciclo de vida del libro. Dado que se trata de un material de un solo uso, se sugiere evaluar alternativas que permitan su eliminación, lo cual podría generar una reducción estimada de 64,4 kgCO₂e por cada 1000 ejemplares producidos.
- **Evaluación y modernización de equipos de impresión:** realizar un diagnóstico técnico del parque de maquinaria en imprentas, con énfasis en el desempeño energético. El análisis de ciclo de vida (ACV) evidenció diferencias significativas entre plantas; en algunas se encontraron consumos de energía por libro hasta dos veces superiores a otras. En este sentido, se recomienda considerar la renovación de equipos obsoletos por modelos más eficientes, con el doble objetivo de reducir la huella ambiental y mejorar la competitividad operativa.



8.10 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

- Recomendar a las imprentas recopilar y evaluar periódicamente los consumos de materiales, insumos, energía, así como la generación de residuos que faciliten la evaluación de indicadores por libro producido para futuros análisis. Si bien esta etapa fue exitosa con las imprentas participantes, tomó más tiempo del proyectado debido a la dispersión de información.
- El presente análisis se ha centrado en la comparación entre el ciclo de vida de un libro impreso *offset* frente a un libro impreso con tecnología digital, sin embargo, existe la oportunidad de crear escenarios comparativos alternativos sobre:
 - a. Gestión de los libros no vendidos devueltos a la editorial.
 - b. Comparación de libros impresos en diversos formatos (ej.: pasta dura, papel encerado, diversos tamaños, etc.).
 - c. Estrategias posconsumo en las librerías.

8.11 PROYECCIÓN FUTURA Y ESTRATEGIA SECTORIAL

- **Fomentar la cultura de la ecoedición:** promover desde el Cerlalc procesos de sensibilización en torno a los beneficios ambientales, sociales y económicos de la ecoedición, fortaleciendo su incorporación progresiva en las prácticas del sector editorial iberoamericano.
- **Construcción de un repositorio sectorial:** para ampliar el alcance y la utilidad de futuros estudios, se recomienda crear un repositorio de información sectorial que permita a los actores del ecosistema editorial reportar avances en estrategias de gestión ambiental. Este espacio deberá garantizar la confidencialidad de los datos y facilitar la actualización periódica de la información, contribuyendo así al seguimiento continuo y a la toma de decisiones informadas.
- **Impulsar redes de investigación e innovación:** los avances en sostenibilidad deben estar respaldados por procesos de investigación y desarrollo tecnológico. En este sentido, se sugiere conformar grupos de trabajo con participación de expertos, universidades y actores de distintos países, con el fin de identificar soluciones innovadoras y ampliar las oportunidades de mejora para el sector editorial.



Referencias

- BOUSTEAD, I., & HANCOCK, G. F.** (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Ltda.
- ECOINVENT.** (2023). *Ecoinvent v3.10*. <https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-10/#relevant-documents-files>
- EL TINTER, SIMPPE, & LEITAT.** (2013). *Manual de la buena ecoedición. Guía de buenas prácticas para la ecoedición y el ecodiseño en el sector de las publicaciones (libros y revistas)*. Greening Books. t.ly/zFzCV
- GUINÉE, J. B.** (2002). *Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards*. Springer.
- HISCHIER, R., & WEIDEMA, B. (EDS.).** (2010). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*. Ecoinvent Report. Data V2.2. t.ly/Thsfl
- HUIJBREGTS, M. A., STEINMANN, Z. J., ELSHOUT, P. M., STAM, G., VERONES, F., VIEIRA, M., HOLLANDER, A., ZIJP, M., & VAN ZELM, R.** (2017). *ReCiPe 2016 v1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level –Report I: Characterization*. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- HUIJBREGTS, M. A., THISSEN, U., GUINÉE, J. B., JAGER, T., & VAN DE MEENT, D.** (2003). Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(3), 675–682. <https://doi.org/10.1002/etc.5620220323>
- INTERNATIONAL EPD SYSTEM.** (18 de Noviembre de 2024). *Processed Paper and Paperboard PCR 2010:14 V3.1*. Product Category Classification: UN CPC 3214, 32151.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN.** (2006). *ISO 14040. Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*. t.ly/QkEkZ
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN.** (2006). *ISO 14044. Gestión ambiental — Análisis de ciclo de vida — Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida*. t.ly/XHwZ0



- PIMENTEL, D., HURD, L. E., BELLOTTI, A. C., FORSTER, M. J., OKA, I. N., SHOLES, O. D., & WHITMAN, R. J.** (1973). Food Production and the Energy Crisis. *Science*, 182(4111), 443-449. 10.1126/science.182.4111.443
- SCS GLOBAL SERVICES.** (18 de Octubre de 2016). *PCR Module for Market Pulp and Paper Products*. t.ly/Y7fwl
- THOMPSON, M., ELLIS, R. J., WILDAVSKY, A., & WILDAVSKY M.** (1990). *Cultural Theory*. Routledge.
- VDI.** (1997). VDI-Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand (KEA) Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. *Düsseldorf: VDI.*, 5

