

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EL PROCESO DE  
PRODUCCIÓN DE UN MEDIO IMPRESO (PERIÓDICO)**

**TESIS**

**Que para obtener el GRADO de  
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD**

**Presenta:**

**Christian Vaeza Gastélum**

**Director de Tesis:  
Dr. Javier Esquer Peralta**

**HERMOSILLO, SONORA**

**Febrero del 2015**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess





"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

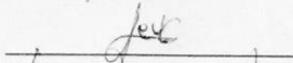
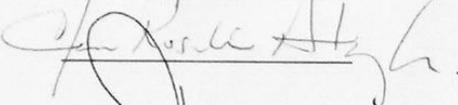
Universidad de Sonora  
División de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Posgrado en Sustentabilidad  
Maestría en Sustentabilidad  
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermosillo, Sonora a 27 de Enero del 2015

**Dra. Nora Elba Munguía Vega**  
**Coordinadora de Programa**  
**Maestría en Sustentabilidad**  
**Presente.-**

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Christian Vaeza Gastélum con Expediente 213190033, el cual será el día 03 de Febrero del 2015 en el aula 201, Edificio 5M a las 09:00 horas.

**Relación de Jurados:**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE:</b>	Dr. Javier Esquer Peralta	
<b>SECRETARIO:</b>	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
<b>VOCAL:</b>	Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez	
<b>SUPLENTE:</b>	Dra. Andrea Guadalupe Zavala Reyna	

**A T E N T A M E N T E**

**MIEMBROS DEL JURADO**



## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), utilizada como soporte científico para transitar hacia patrones de producción y consumo sustentable. El producto de estudio fue el material impreso bajo un proceso de impresión offset en una empresa ubicada en el noroeste de México. El ACV ha sido utilizado como herramienta analítica para obtener un marco conceptual de los impactos ambientales asociados al producto desde la dimensión social y ambiental de la sustentabilidad. En México, no se han encontrado estudios publicados de ACV de material impreso bajo el proceso de impresión offset. El diseño del estudio se basó en la Plataforma Europea para la Evaluación del Ciclo de Vida (EPLCA por sus siglas en inglés) que están en línea con las normas ISO 14040:2006 y 14044: 2006 sobre el ACV. El alcance del estudio fue de la cuna a la puerta; el enfoque principal respecto a los impactos ambientales fue en la producción de material impreso. Los métodos elegidos para la evaluación del impacto fueron Impact 2002+ y ReCiPe (H). Las principales limitaciones fueron el uso de bases de datos de empresas europeas y la falta de inventario corriente arriba para empresas mexicanas. De acuerdo con las metodologías, las categorías de impacto más relevantes fueron la ocupación de tierras, la radiación ionizante, la eco-toxicidad acuática y agotamiento de agua. Los resultados del estudio mostraron que el principal contribuyente a efectos adversos fue la operación de impresión, y la preparación de placas con efectos favorables. El menor impacto se observó en la limpieza de maquinaria y el transporte interno. Las principales cuestiones de interés derivadas de los resultados son el consumo de electricidad, papel y tintas; ambas actividades dominan casi todas las categorías de punto medio y punto final. Después de identificar los puntos clave en el sistema, se hicieron varias propuestas para mejorar la eco-eficiencia de los recursos y las prácticas laborales a lo largo del proceso de producción de material impreso. Con las propuestas se espera hacer uso más eficiente de los recursos, disminuir el impacto ambiental, mejorar las condiciones laborales de la empresa y ahorro de costos. Dichas propuestas pueden ser utilizadas también por otras imprentas de las artes gráficas para mejorar el desempeño ambiental de sus productos y mantenerse competentes dentro del mercado.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, ACV, Periódico, Impresión Offset, México

## **ABSTRACT**

The following document presents a Life Cycle Assessment (LCA) study used as scientific support to move towards sustainable patterns of production and consumption. The studied product was printed matter under a sheet-fed offset printing process by a company located at Northwestern Mexico. The LCA has been used as an analytical tool to obtain a conceptual framework of the environmental impacts associated with the product from the social and environmental dimensions of sustainability. No previous published studies were found on LCA in Mexico for sheet-fed offset printing processes. The study design was based on the European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA) which are in line with the ISO 14040 and 14044:2006 standards on LCA. The scope of the study was from the cradle to the gate; the main focus regarding environmental impacts being the production of printed matter. The methods chosen for the impact assessment was Impact 2002+ and ReCiPe (H). The main limitations were the use of databases of European companies and lack of current inventory up for Mexican companies. In accordance with both methodologies, the more relevant impact categories were land occupation, ionizing radiation and aquatic ecotoxicity/water depletion. The results of the study showed that the major contributor to adverse effects was the printing operation, while plates making had favorable effects. The least impacts were observed in cleaning of machinery and internal transport. The main issues of concern stemming from the results are electricity consumption, paper and inks. After identifying hotspots in the system, several proposals were made to enhance the eco-efficiency of the resources and improve working practices along the production process of printed matter. With the proposals is expected to have a more eco-efficient use of resources, reduce environmental impacts, improve working conditions of the company and cost savings. These proposals can also be used for other printers in the graphic arts in Mexico to improve the environmental performance of their products and stay in the green market as a competitive product.

Key words: Life Cycle Assessment, LCA, Newspaper, Offset printing, Mexico

# ÍNDICE

## Índice de Contenido.

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
<u>I. Introducción</u>	1
<u>II. Objetivo General</u>	2
<u>III. Objetivos Específicos</u>	2
<u>IV. Análisis Literario</u>	3
<u>4.1 Análisis de ciclo de vida en la industria</u>	3
<u>4.2 Aspectos clave a considerar dentro del ACV</u>	5
<u>4.3 Herramientas que apoyan el ACV</u>	7
<u>4.4 Impacto de la Industria de la Imprenta en la Salud Ambiental</u>	9
<u>4.5 Casos de Estudio del Análisis de Ciclo de Vida</u>	12
<u>V. Metodología</u>	15
<u>5.1 Tipo de estudio</u>	15
<u>5.2 Diseño metodológico</u>	15
<u>5.3 Alcance</u>	16
<u>5.4 Preguntas de investigación</u>	16
<u>5.5 Objeto de estudio</u>	16
<u>5.6 Selección del lugar que ubica el objeto de estudio</u>	16
<u>5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos</u>	17
<u>VI. Resultados</u>	18
<u>6.1 Fase 1: Definición del objetivo y el alcance</u>	18
<u>6.1.1 Objetivo</u>	18
<u>6.1.2 Alcance</u>	18
<u>6.2 Fase 2: Análisis de inventario del ciclo de vida</u>	23
<u>6.2.1 Inventario de Datos</u>	23
<u>6.2.2 Medición de recursos en la imprenta</u>	26
<u>6.2.3 Medición del empaque de la materia prima</u>	27
<u>6.2.4 Criterios de corte</u>	28
<u>6.3 Fase 3: Evaluación de impacto del ciclo de vida</u>	28
<u>6.3.1 Evaluación de impacto</u>	28
<u>6.3.2 Análisis de Sensibilidad</u>	40
<u>6.4 Fase 4: Interpretación del ciclo de vida</u>	43

<a href="#"><u>6.4.1 Evaluación de impacto con Impact 2002+</u></a>	43
<a href="#"><u>6.4.2 Evaluación de impacto con ReCiPe (H)</u></a>	44
<a href="#"><u>6.4.3 Evaluación de inventario de sustancias para los métodos Impact 2002+ y ReCiPe</u></a>	45
<a href="#"><u>6.4.4 Evaluación de ponderación por Stepwise, Impact 2002+ y ReCiPe</u></a>	46
<a href="#"><u>6.4.5 Análisis de Sensibilidad</u></a>	46
<a href="#"><u>6.5 Propuestas para mejorar el desempeño ambiental del proceso</u></a>	47
<a href="#"><u>6.5.1 Propuestas para el consumo de papel</u></a>	48
<a href="#"><u>6.5.2 Propuestas para el consumo de electricidad</u></a>	49
<a href="#"><u>6.5.3 Propuestas para el consumo de tintas</u></a>	54
<a href="#"><u>VII. Discusión</u></a>	55
<a href="#"><u>7.1 Impactos Ambientales</u></a>	55
<a href="#"><u>7.2 Relación de los impactos ambientales con las actividades y recursos del proceso para material impreso</u></a>	60
<a href="#"><u>VIII. Conclusiones</u></a>	64
<a href="#"><u>IX. Recomendaciones</u></a>	65
<a href="#"><u>X. Referencias</u></a>	66
<a href="#"><u>XI. Anexos</u></a>	71

## Índice de Tablas

<u>Tabla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	<a href="#"><u>Criterios de bajo impacto medioambiental</u></a>	9
2	<a href="#"><u>Cantidad de masa por productos en los días indicados</u></a>	20
3	<a href="#"><u>Categorías de Impact 2002+ por Punto Final con su Punto Medio correspondiente</u></a>	21
4	<a href="#"><u>Categorías de ReCiPe por Punto final (H) y Punto Medio (H)</u></a>	22
5	<a href="#"><u>Recursos utilizados en la fase de materiales</u></a>	23
6	<a href="#"><u>Goma arábica</u></a>	24
7	<a href="#"><u>Placa de aluminio</u></a>	24
8	<a href="#"><u>Solución de la fuente</u></a>	24
9	<a href="#"><u>Agente de Limpieza</u></a>	24

10	<a href="#">Solvente Dieléctrico</a>	25
11	<a href="#">Cubeta (empaque de tintas: cyan, amarillo, magenta, goma arábica)</a>	25
12	<a href="#">Tambo (empaque de solución de la fuente)</a>	25
13	<a href="#">Tambo (empaque de agente de limpieza, tinta negra, solvente dieléctrico)</a>	25
14	<a href="#">Caja (empaque de placas de aluminio)</a>	25
15	<a href="#">Rollo (empaque de papel)</a>	26
16	<a href="#">Inventario de datos por actividad basado en datos específicos de la imprenta</a>	26
17	<a href="#">Resultados de Impact 2002+ por Punto Final con su Punto Medio correspondiente</a>	29
18	<a href="#">Resultados de ReCiPe por categoría de impacto o punto medio (H)</a>	32
19	<a href="#">Resultados de ReCiPe por categoría de daño o punto final(H)</a>	33
20	<a href="#">Resultados de Inventario de sustancias consistentes para Impact 2002+ y ReCiPe</a>	37
21	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método Stepwise</a>	38
22	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método Impact 2002+</a>	39
23	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método ReCiPe</a>	39
24	<a href="#">Precios unitarios de equipo para automatizar</a>	51
25	<a href="#">Características del sistema solar</a>	52
26	<a href="#">Costo del sistema solar</a>	53
27	<a href="#">Comparación de categorías de impacto con metodologías Impact 2002+ y ReCiPe</a>	55

## Índice de Figuras

<u>Figura</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	<a href="#">Etapas del Ciclo de Vida</a>	4
2	<a href="#">Resultados de ACV de una imprenta incluyendo y excluyendo químicos del proceso</a>	14

3	<a href="#"><u>Marco de referencia de un ACV</u></a>	15
4	<a href="#"><u>Ciclo de vida del material impreso</u></a>	18
5	<a href="#"><u>Límites del sistema para el proceso de producción del material impreso</u></a>	19
6	<a href="#"><u>Distribución de actividades por categoría de impacto por método Impact2002+</u></a>	29
7	<a href="#"><u>Diagrama de árbol para 1 tonelada de material impreso por método Impact 2002+</u></a>	31
8	<a href="#"><u>Normalización por categorías de daño o punto final por método Impact 2002+</u></a>	32
9	<a href="#"><u>Distribución de actividades por categorías de impacto por método ReCiPe</u></a>	33
10	<a href="#"><u>Distribución de actividades por categorías de daño por método ReCiPe</u></a>	34
11	<a href="#"><u>Diagrama de árbol para 1 tonelada de material impreso por método ReCiPe</u></a>	35
12	<a href="#"><u>Normalización por categorías de impacto o punto medio por método ReCiPe</u></a>	36
13	<a href="#"><u>Normalización por categorías de daño o punto final por método ReCiPe</u></a>	36
14	<a href="#"><u>Caracterización con método Impact 2002+: Comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B</u></a>	40
15	<a href="#"><u>Caracterización por punto medio con método ReCiPe: Comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B</u></a>	41
16	<a href="#"><u>Caracterización por punto final con método ReCiPe: Comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B</u></a>	41
17	<a href="#"><u>Caracterización con método Impact 2002+: Comparación entre escenario de referencia y escenario C</u></a>	42
18	<a href="#"><u>Caracterización por impacto con método ReCiPe: Comparación entre escenario de referencia y escenario C</u></a>	42
19	<a href="#"><u>Caracterización por daño con método ReCiPe: Comparación entre escenario de referencia y escenario C</u></a>	43

20	<a href="#">Ahorro acumulado del sistema a lo largo de 20 años</a>	52
21	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método Stepwise</a>	58
22	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método Impact 2002+</a>	59
23	<a href="#">Ponderación de categorías de daño por método ReCiPe</a>	59

## Índice de Anexos

<u>Anexo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Salud Humana de Impact 2002+</a>	71
2	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Calidad de los Ecosistemas de Impact 2002+</a>	72
3	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Cambio Climático de Impact 2002+</a>	73
4	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto para de Recursos de Impact 2002+</a>	73
5	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Salud Humana de ReCiPe punto final</a>	74
6	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Ecosistemas de ReCiPe punto final</a>	75
7	<a href="#">Inventario de resultados con mayor impacto de Recursos de ReCiPe punto final</a>	76
8	<a href="#">Abreviaciones</a>	77

## I. INTRODUCCIÓN

La industria de la imprenta ha sido tema de estudio por varios investigadores por su potencial de degradar el medio ambiente y los riesgos a la salud que puedan presentarse. Una de las principales cuestiones de preocupación es el uso intensivo del papel, un recurso demandante de agua y energía, y responsable de grandes descargas de aguas residuales. Además, en México, el poder adquisitivo para comprar tecnología de punta es muy bajo. Aunado a eso, las prácticas laborales y la cultura de la gente es otro punto en contra que afecta el uso eficiente de los recursos. Por tal motivo, es imprescindible la búsqueda de estrategias que propicien el desarrollo de técnicas y productos bajo los principios del desarrollo sustentable a lo largo del ciclo de vida.

El análisis de ciclo de vida fue utilizado en el estudio como herramienta analítica para identificar los impactos ambientales del material impreso en una empresa mexicana en el noroeste del país. La herramienta fue seleccionada para involucrar todas las entradas y salidas en el proceso de producción desde la cuna a la puerta, y posteriormente, identificar las áreas de oportunidad potenciales que pudieran darle un valor agregado al producto desde una perspectiva sustentable.

La metodología utilizada en el proceso es la Plataforma Europea para la Evaluación del Ciclo de Vida (EPLCA) compatible con las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006 que consta de cuatro fases. En la primera fase se definió el objetivo y alcance; la segunda fase describe la recopilación de los datos, el diseño dentro del software (SimaPro) y las dos metodologías seleccionadas para realizar el impacto ambiental (Impact 2002+ y ReCiPe); la tercera fase muestra los impactos ambientales y el análisis de sensibilidad, para continuar con su interpretación en la fase cuatro.

Los resultados muestran entre los impactos ambientales de mayor relevancia el consumo de energías no renovables, la radiación ionizante, la ocupación de suelo y el calentamiento global. Partiendo de estos daños ambientales, se hicieron propuestas de mejoras, que no solamente mitigan los daños ambientales actuales, sino también los que se proyectan a largo plazo, con motivo de proteger a las futuras generaciones.

## **II. OBJETIVO GENERAL**

Transitar hacia patrones de producción y consumo sustentables durante el ciclo de vida de un medio impreso (periódico).

## **III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Llevar a cabo un Análisis Literario sobre el estado del arte referente, más no limitado, al Análisis del Ciclo de Vida (ACV) desde un enfoque sustentable de la industria de la prensa escrita.
- ❖ Diagnosticar en base a la Plataforma Europea sobre Análisis del Ciclo de Vida (compatible con las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006) las fases de la fabricación de un medio impreso (periódico), desde el procesamiento de materias primas hasta la producción.
- ❖ Evaluar las cargas ambientales asociadas a la fabricación del medio impreso (periódico) que favorezcan un mejor desempeño ambiental.
- ❖ Generar un instrumento que optimice la toma de decisiones estratégicas para un mejor desempeño ambiental durante el proceso de fabricación del medio impreso (periódico).

## IV. ANÁLISIS LITERARIO

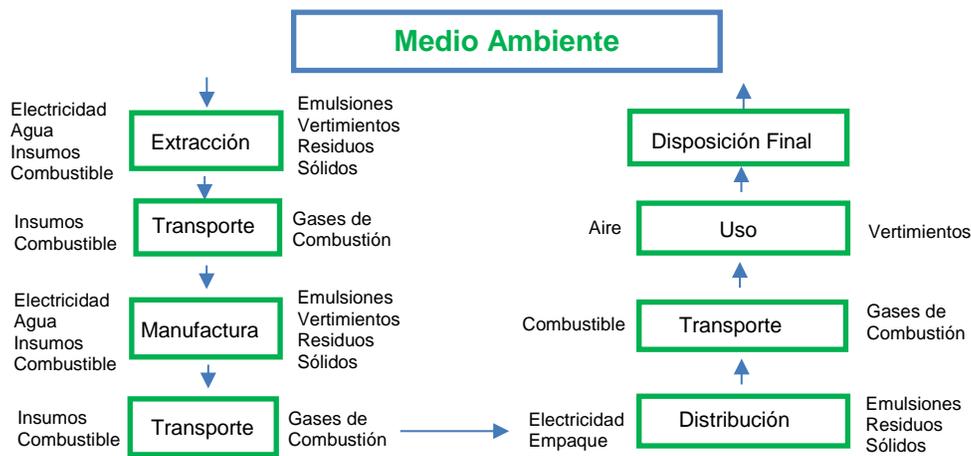
### 4.1 Análisis de Ciclo de Vida en la Industria

Dentro del desarrollo industrial, el aumento de los niveles de producción y consumo siguen siendo un obstáculo para la sustentabilidad (Hueting 2010), principalmente por la acelerada explotación de los recursos naturales y la contaminación al medio ambiente (Calvente 2007), ocasionado problemas irreversibles que afectan la salud humana y su calidad de vida (Matutinović 2006). Así pues, existe una gran necesidad de gestionar mejor los recursos y residuos de los sistemas operacionales de la industria durante todo el ciclo de vida (Sharma et al. 2010). El *ciclo de vida* del producto, según la Comisión Europea (2013), son las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, iniciando por su extracción como materia prima, seguido por los procesos de producción, empaque, distribución, uso del producto, mantenimiento, hasta su disposición final.

Como una forma de entender al *ciclo de vida* surge el *Análisis de Ciclo de Vida* (ACV), una herramienta utilizada en las empresas para medir el desempeño ambiental de sus productos o servicios (Rebitzer 2005) el cual nace primeramente como un balance de energía, al que posteriormente se le agrega el uso de materia y flujo de energía (Steen 2005). Debido a la falta de credibilidad y contradicciones en estudios realizados (Jensen et al. 1998), la Organización Internacional de Normalización (ISO) estandariza la metodología, la cual en base a la Plataforma Europea sobre ACV (compatible con dicha norma) define el concepto como “la cuantificación de todas las emisiones relevantes, recursos consumidos, impactos ambientales y de salud relacionados, y problemas de agotamiento de recursos relacionados con los bienes y servicios” (EU-JRC-IES 2010). En la Figura 1 se representan las entradas y salidas posibles durante cada etapa del proceso.

El panorama holístico del ACV le permite a la industria desplazarse a lo largo del ciclo de vida de sus productos para identificar problemas que posiblemente se puedan presentar en diferentes lugares a raíz de la globalización de mercado (Hauschild, Jeswiet & Alting 2005). Esto involucra ampliar el alcance del estudio a un nivel local, regional o global, donde se consideren las actividades antropogénicas (Muñoz & Parra 2012). Así pues, hacer estudios que consideran todas las etapas del ciclo de vida permitirá relacionar los

impactos ambientales con los sistemas industriales que perjudican al medio ambiente (Udo de Haes & Heijungs 2007).



**Figura 1. Etapas del Ciclo de Vida**  
(Romero 2003)

El ACV queda inherente a la dimensión ambiental del desarrollo sustentable, ya que identifica los puntos críticos del producto y evalúa sus impactos al medio ambiente (Finnveden et al. 2009). Debido a que no incluye los impactos económicos y sociales desde una perspectiva de desarrollo sustentable, este se encuentra limitada de proveer información suficiente que permitan una producción y consumo sustentable (Hertwich 2005). Esto demuestra la importancia de integrar aspectos sociales y económicos a través de un ACV de Costos y un ACV Social o Socio-Económico mismo que son elementos importantes en el sistema para el desarrollo sustentable (Kloepffer 2008).

Existe una sinergia de flujos entre cada etapa del ACV y otros subsistemas, esto se debe a que dependiendo de la etapa puede requerirse de energía, materia prima, tecnología, mano de obra o capital económico (UNEP & SETAC 2005). Por lo tanto es necesario considerar todos los actores de la cadena de valor para lograr abarcar el sistema completo (UNEP & SETAC 2011). La herramienta permite integrar la información del ciclo de vida del producto para evitar traspasar problemas de un sistema a otro, o de un área geográfica a otra y de esta forma encontrar la solución óptima a los problemas causales que impidan el desarrollo sustentable (CEFIC 2012).

Para impulsar a la industria hacia patrones enfocados al desarrollo sustentable, organismos institucionales, gubernamentales y no gubernamentales, comenzaron a crear

programas y políticas que ayudaran a mitigar el impacto ambiental (Thabrew, Wiek & Ries 2009), como lo son el que contamina paga y producción más limpia, los cuales han reducido los niveles de contaminación en los procesos de producción (Miller et al. 2008). Otro ejemplo es el enfoque de la Responsabilidad Extendida del Productor por parte de la EPA (1998) con el fin de comprometer a la industria a hacerse cargo por los daños que puedan causar sus bienes posteriores al consumo. De esta forma la industria es capaz de responsabilizarse de las externalidades e incorporar dentro de sus políticas principios que hagan posible trascender hacia patrones sustentables (Penna & Geels 2012).

#### **4.2 Aspectos clave a considerar dentro del ACV**

El ACV ha sido una herramienta muy utilizada para fines analíticos en diferentes sectores por su capacidad de obtener una perspectiva más amplia y sistemática sobre el desempeño ambiental de productos (Björklund, A. 2012). Pero a pesar de su capacidad de extender el estudio, muchos investigadores han criticado la herramienta por la falta de confiabilidad que existe en los resultados debido a la subjetividad permitida por la ISO en la estandarización de metodologías (Lifset 2006). Esto se debe a que el marco conceptual de la metodología suele ser muy general lo que dificulta la aplicación y aceptación de diferentes industrias (Awuah-Offei & Adekpedjou 2011). Otros autores mencionan que la estandarización carece de rigor científico y por lo tanto continúan las discusiones sobre las metodologías (Horne, Grant & Verghese 2009).

De acuerdo a la primera fase de la metodología por la ISO (Comisión Europea 2013), una inadecuada definición de objetivo y alcance podría dejar por fuera del límite del sistema la contabilización de datos relevantes y generar incertidumbre en los resultados y conclusiones finales del estudio (Awuah-Offei & Adekpedjou 2011; Blengini 2008). Una manera sustancial de manejar este tipo de problemas es mediante la distinción del tipo de ACV, ya sea atribucional donde describen las propiedades ambientales del producto y sus sub-sistemas, y el consecuencial donde se describen los efectos ambientales por causa de posibles decisiones; esto se debe a que repercute en la metodología para definir la limitación de fronteras, cuestiones de asignación y recopilación de información (Finnveden et al. 2009). De esta forma la metodología utilizada para definir la limitación de fronteras, cuestiones de asignación y recopilación de información será ajustada al tipo de estudio (Ekvall 2002; Finnveden et al. 2009). También se ha hecho hincapié en considerar toda la

información de impactos ambientales relevantes dentro del sistema del producto para evitar problemas de limitaciones en el sistema (i Canals et al. 2006).

Los datos utilizados deberán tener un alto nivel de calidad y confiabilidad, ya que dependiendo de su capacidad de adecuarse al sistema y reflejar la realidad será lo que le dé mayor credibilidad al ACV (Björklund, A. E. 2002). Desafortunadamente, existe una falta de contabilidad ambiental de las empresas y datos específicos por el consumo de tiempo, dinero y esfuerzo que esto conlleva (Bicalho, Richard & Bessou 2012). Tal es el caso de los países en desarrollo donde carecen de datos locales para realizar estudios, por ejemplo en Latino América a menudo existe la necesidad de utilizar bases de datos de otros lugares por la escasez de información (Ossés de Eicker, Hischer, Hurni, et al. 2010). Esto puede causar que los resultados de un ACV no representen la realidad del caso de estudio, ya que estos pueden variar significativamente por los aspectos socio-económicos, las legislaciones y tecnologías que influyen en el desempeño ambiental de cada país (Ossés de Eicker, Hischer, Kulay et al. 2010).

Dentro del sector empresarial los resultados del ACV son utilizados por los directivos para tomar decisiones entre diferentes tipos de materiales, tecnologías y energía que causen menos impacto al medio ambiente de una forma holística, objetiva y comprensiva (Baitz et al. 2004). El panorama holístico del sistema que refleja el ACV permite identificar riesgos donde se podría reducir un impacto a costa de otros, mas no tiene la capacidad de identificar si el impacto es local, regional o global (Björklund 2012). El ACV también puede ser aplicable a todo tipo de empresas en campos que van más allá de aspectos ambientales, tales como reducción de costos, prevención riesgos de productos, formulación de políticas públicas, imagen corporativa dentro del mercado (López 2008) y destaca por ser un proceso que encuentra “hotspots” o ineficiencias durante el ciclo de vida (Hortal 2007).

Desde el punto de vista de la sociedad y la política, el ACV debe aportar información sobre las externalidades de los productos y partir de ahí para el análisis de formulación de políticas que mejoren el desempeño ambiental, pero dada la incertidumbre de los datos las empresas manejan la información a su conveniencia y tomar una decisión imparcial puede resultar poco probable (Duda & Shaw 1997). Investigaciones han demostrado verse afectadas por los resultados poco viables, como la Directiva de Energías

Renovables de la Unión Europea que utiliza el ACV para medidas legislativas dentro de las cuestiones ambientales, lo que provoca que la organización falle en cuestiones de efectividad y protección ambiental (Bicalho, Richard & Bessou 2012). Por lo tanto la formulación de políticas deberá estar basada en datos de información robustos que eviten efectos colaterales (Hilty et al. 2006).

Para evitar los efectos colaterales del ACV, es necesario tener transparencia en los datos utilizados y métodos por la variedad de suposiciones que pudieran llegar a ser cuestionadas (Björklund, A. 2012; Schleicher 1996). Por ejemplo aún continúan problemas con los criterios de evaluación en cuanto a la biodiversidad y la escasez de tierras, por no mostrarse la diferenciación espacial (Bicalho, Richard & Bessou 2012). De igual forma sucede con el manejo de información en sistemas que son considerados como si fueran lineales donde datos del pasado no se incluyen en el análisis, tal es el caso de las concentraciones de sustancias tóxicas las cuáles debajo de los umbrales no son dañinas sin embargo en concentraciones elevadas pueden llegar a ser muy peligrosas (Udo de Haes & Heijungs 2007).

#### **4.3 Herramientas que apoyan el ACV**

Son muchas las variables que afectan el comportamiento de la naturaleza y la gran mayoría que no suelen ser lineales, el cual vuelve el sistema muy complejo (Chon & Park 2006). Esto indica que es necesario el uso de herramientas que ayuden a resolver los problemas críticos multifacéticos que existen entre el entorno social y natural, especialmente cuando nos estamos en una era que avanza rápidamente y que se encuentra en un mundo de recursos limitados (Avouris 1995). Dado el carácter del ACV, una variedad de herramientas pueden ser incluidas para facilitar el estudio (Yuracko & Morris 2001).

Se han desarrollado una variedad de programas computacionales para disminuir el uso de recursos y tiempo (Baitz et al. 2004). Los más utilizados en el mercado son GaBi, SimaPro, TEAM, y Umberto, que permiten modelar el sistema facilitando su evaluación de impacto ambiental (CEFIC 2012). Asociado a los programas, existen bases de datos con información intensiva sobre el consumo de recursos y emisiones que han sido generados en diferentes procesos y son utilizados como inventario dentro de los estudios relacionados con el ACV (Frischknecht & Rebitzer 2005). Algunas de las más utilizadas

son originarias de Europa, como Plásticos de Europa, EcoInvent, y European Reference Life Cycle Database (ELCD) (CEFIC 2012). A pesar de que las bases de datos pueden depender del área geográfica, o ser muy generales en base a promedios globales (Ossés de Eicker, Hischier, Hurni et al. 2010), un buen manejo y edición de la información dentro de los programas computacionales en diferentes escenarios puede permitir un análisis más robusto que simule la cuantificación de parámetros ambientales para posteriormente presentarla de una manera fácil de entender (Unger, Beigl & Wassermann 2004).

Dada la gran variedad de escenarios que pueden ser estimados dentro del ACV por ausencia de datos concretos, se requieren de criterios suficientes en la fase de diseño del producto para evitar cualquier tipo de daño ambiental (Zabalza et al. 2013). Se dice que dichos impactos pueden ser prevenidos o evitados hasta en un 80% desde esta fase, por tal motivo, es la etapa de diseño la de mayor relevancia desde un punto de vista ambiental ya que es la que tiene el mayor potencial de prevenir y reducir desperdicios y emisiones que se puedan generar (Casamayor & Su 2013; Lewis et al. 2001).

El enfoque de *diseño para el medio ambiente* (DMA), también conocido como eco-diseño, intenta producir más con menos, disminuir impactos adversos al medio ambiente e incidir en el cuidado de los recursos naturales y reducción de riesgos durante el uso de productos y prevención de accidentes (Ivanez 2000). De este modo el desempeño ambiental de los productos se mejora con el concepto de DMA y *química verde*, donde la química establece los métodos y materiales utilizados para hacer el producto mientras que el diseño recomienda los cambios necesarios para el deterioro ambiental (Shayan et al. 1997). Desde la perspectiva social, el eco-diseño deberá tomar en consideración la economía de recursos en cuanto a energía, extracción de materiales y agua, disminución de desechos e integración entre la empresa, la sociedad y cultura (Fiori 2006). En la tabla 1 se muestran los criterios para diseñar un producto con bajo impacto ambiental.

**Tabla 1. Criterios de bajo impacto medioambiental**

<b>Fabricación</b>	<b>Embalaje</b>	<b>Transporte</b>	<b>Consumo</b>	<b>Residuos</b>
Producción limpia. Bajo consumo de materias primas. Materias primas locales.	Mínima cantidad de embalaje. Reciclable. Producción limpia.	Transporte cercano. Mínimo gasto de combustible.	Bajo consumo de energía. Más duraderos. Bajo contenido tóxico.	Residuos mínimos. Reciclable. Reutilizable. Recuperable. Integrarse en la naturaleza.

(Ivanez 2000)

El eco-diseño ha evolucionado a un enfoque más sistemático conocido como el diseño para la sustentabilidad (D4S por sus siglas en inglés) (UNEP N.D.). Los diseñadores deben tomar el diseño como una dimensión de la sustentabilidad y no la sustentabilidad como una dimensión del diseño, así será posible integrar las áreas sociales y económicas a largo plazo e implementar estrategias de innovación de productos en toda la cadena de suministros en base al entorno socio-económico del área local y el mercado global (Fletcher & Dewberry 2002; UNEP & TUDelft 2007). Lo fundamental para este concepto, no es sólo la eficiencia en el sistema, sino también ofrecer alternativas y satisfacción del consumidor para lograr un consumo eficiente (Spangenberg, Fuad-Luke & Blincoe 2010).

#### **4.4 Impacto de la Industria de la Imprenta en la Salud Ambiental**

A pesar de que las nuevas tecnologías han llevado a la sociedad al consumo de electrónicos en lugar de papel, este sigue siendo utilizado en abundancia para escritura, impresiones, libros, revistas y periódicos (Deetman & Odegard 2009). Al igual que las tendencias internacionales, en México el número de títulos de periódico ha ido disminuyendo (PIC-RIT 2007). Analistas han encontrado una relación entre el crecimiento del internet y la disminución de la demanda del comercio de impresión, lo que forzará a la industria de la imprenta a ser más competitiva en un futuro para poder ser rentable (Silgado 2013). Para lograr mantener dichos establecimientos dentro del mercado a largo plazo será necesario crear estrategias que ayuden a tener mejores prácticas sustentables en base a las tecnologías utilizadas para lograr obtener beneficios económicos y al mismo tiempo cumplir con las demandas ambientales (Wikina, Thompson & Blackwell 2010).

Existen diversos tipos de tecnologías en el sector de la impresión, tales como litografía, huecograbado, flexografía, tipografía y la pantalla impresa (US\_EPA 1995) . El uso de sistemas convencionales de litografía offset era de los más utilizados, sin embargo con las

nuevas tecnologías disponibles, un gran número de empresas a cambiado al sistema de impresión digital conforme se vuelven más accesibles (Kadam, Evans & Rothenberg 2005). La impresión digital cumple más con el enfoque ambiental, ya que no consume mucho papel durante las primeras corridas de impresión mientras que la impresión offset requiere imprimir varios ejemplares para hacer ajustes en el proceso y lograr alcanzar el balance de colores y calidad deseada (Willis N.D.).

No todos los países cuentan con la capacidad de adquirir nuevas tecnologías, en México se estima que al menos el 70% de las compañías cuenta con maquinaria con al menos 15 años de antigüedad (PIC-RIT 2007) el cual el 51% de los establecimientos corresponde a impresión de periódico (Barnes\_Reports 2014). Según (Cahill 2005), la impresión litográfica (Offset) aún prevalece en la industria actual por causa de su capacidad de crear un gran número de copias rápidamente a un bajo costo, alta resolución y calidad de la impresión. Un estudio realizado para reducir la huella ecológica afirma que suele ser más barato producir grandes corridas de periódico y evitar quedarse sin inventario lo que provoca la sobreproducción ya que hasta un 20% del producto es impreso, distribuido y llevado a disposición final o reciclaje sin haber sido leído anteriormente (Canonico, Sellman & Preist 2009).

La sobreproducción por consecuencia crea mayor consumo de papel, según un análisis realizado en Europa se estima que para el 2015 el consumo del papel aumente en un 5% (Counsell & Allwood 2007). En el mundo el 42% de la madera industrial cosechada es utilizada para la fabricación del papel y dentro de la industria de productos forestales el 84% de la energía consumida es para producir papel y celulosa, siendo catalogado como el tercer consumidor de energía por la Asociación de Información de Energía de EE.UU. (Bousquin et al. 2012). Otro factor que destaca en la industria papelera es que consume grandes cantidades de agua, las cuales se contaminan con agentes tóxicos y con alta demanda de oxígeno (Rios, Arcos & Aristizabal 2011), así lógicamente una buena gestión en los procesos ayudaría significativamente a la conservación de los recursos naturales, a disminuir el consumo de energía y generación de contaminantes que degradan el medio ambiente (Virtanen & Nilsson 2013).

El papel periódico el cual se hace con pulpa bajo procesos mecánicos, puede llegar a tener problemas de descomposición durante su disposición final por causa de los altos

niveles de lignina ya que su compleja estructura molecular limita el número de microorganismos capaz de degradarla (Delfín-Alcalá & Durán-de-Bazúa 2003). Diversos estudios han encontrado una relación inversa entre el tiempo de degradación y la velocidad de descomposición (Naranjo-García 2003). La lignina también afecta los procesos de reciclaje además de que se encuentra impregnado de tintas, metales pesados y productos químicos utilizadas en el proceso de fabricación del periódico, por lo que la pulpa de papel periódico es considerado de baja calidad para su reúso (Kadam, Evans & Rothenberg 2005; López Sardi 2007).

Los químicos y tintas utilizados en la imprenta contribuyen hasta un 60% de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en las empresas (Carstensen & Morris 1997) El uso de químicos y tintas también contribuyen a la contaminación mantos acuíferos (Chea 2009). Las aguas residuales se generan durante el proceso de preparación planchas, en el proceso de impresión y limpieza de las máquinas (Kiurski et al. 2012). Se estima que una imprenta de periódico emite alrededor de 800 kg de COV's de solventes por año que podrían ser disminuidos con el desarrollo de tintas de impresión para evitar el uso de solventes para limpieza (Maji & Bhaskarwar 2003). Así es posible evitar la liberación de COV's a la atmosfera así como también el uso de solventes para limpieza, se disminuye la descarga de aguas residuales y se facilitan los procesos de reciclaje para el papel (Kiurski et al. 2012; Wikina, Thompson & Blackwell 2010).

Además de los daños ambientales, existen también riesgos de seguridad y salud a los cuales los trabajadores suelen estar expuestos (Kadam, Evans & Rothenberg 2005). Partículas finas suspendidos en el aire durante los procesos de producción por el manejo de solventes y tintas aumentan el riesgo de contraer cáncer el cual también afecta los procesos de reciclaje en caso de que el papel contenga dichas sustancias (Chen et al. 2012). En un estudio en Moscú se identificó el riesgo de contraer cáncer en la vejiga y pulmones (Bulbulyan et al. 1999) mientras que en Noruega detectaron irritación en la membrana mucosa, dolor de cabeza y fatiga a causa de los olores de los solventes utilizados en la maquinaria, ya sea para impresión o limpieza (Svendsen & Rognes 2000). Dados los impactos ambientales y a la salud en la industria de la imprenta, la importancia de tomar decisiones sustentables durante todo el ciclo de vida del producto se vuelve más crítico (Walley & Whitehead 1994).

#### **4.5 Casos de Estudio del Análisis de Ciclo de Vida**

Después de la segunda guerra mundial nuevas tecnologías para la generación de energía fueron desarrolladas, no obstante el análisis para medir su eficiencia resultó complicado y los investigadores se cuestionaban si los generadores consumían más energía de la que producían, por ello se amplió el análisis para contemplar todas las etapas del ciclo de vida (Horne, Grant & Verghese 2009). Uno de los primeros estudios realizados fue a mediados de 1960 por Midwest Research Institute (MRI) solicitado por Coca-Cola (Svoboda 1999). La empresa se preocupaba por las consecuencias ambientales producto de la energía y materiales utilizados en el proceso de embalaje, a pesar de que los resultados no fueron publicados, se concluyó que el cambio de botellas de vidrio para botellas de plástico fue derivado del estudio (Vilela & Demajorovic 2006).

Simultáneamente, en el Reino Unido también se realizaba un estudio de inventario conocido como “Eco balance” por Lan Boustead para obtener la energía total utilizada en la manufactura de embalajes de diferentes materiales como aluminio, plástico, acero y vidrio (Jensen et al. 1997). Inicialmente el uso de la energía era un factor primordial para las empresas en contraste con la generación de residuos y sus efectos al medio ambiente debido a que el precio del combustible se elevó durante la crisis del petróleo, afectando directamente a los países compradores de este mismo (Chacón 2008). Hoy en día se tiene mayor preocupación por los combustibles fósiles, por ello un estudio en Finlandia analizó diferentes alternativas de bio-combustibles, y concluyeron que los bio-combustibles a pesar de ser una fuente de menor contaminación, requieren de más tierra para la siembra de la vegetación necesaria según el tipo de combustible, afectando de otra forma la naturaleza y la cultura de las sociedades (Ketola & Salmi 2010).

También se han realizado estudios de ACV agricultura para hacer comparaciones entre productos de sistemas convencionales o productos orgánicos, ya que los sistemas convencionales utilizan mayor número de fertilizantes y pesticidas mientras que los orgánicos necesitan de mayor cantidad de tierra arable (Roy et al. 2009). Por ejemplo se ha determinado que cultivos intensos tienen mayor impacto ambiental, otros estudios señalan que cultivos extensos generan más impacto y por otra parte estudios de eco eficiencia afirman que los impactos ambientales dependen de las condiciones específicas de cada lugar (Cellura, Ardente & Longo 2012). Cuando el sistema es muy amplio se

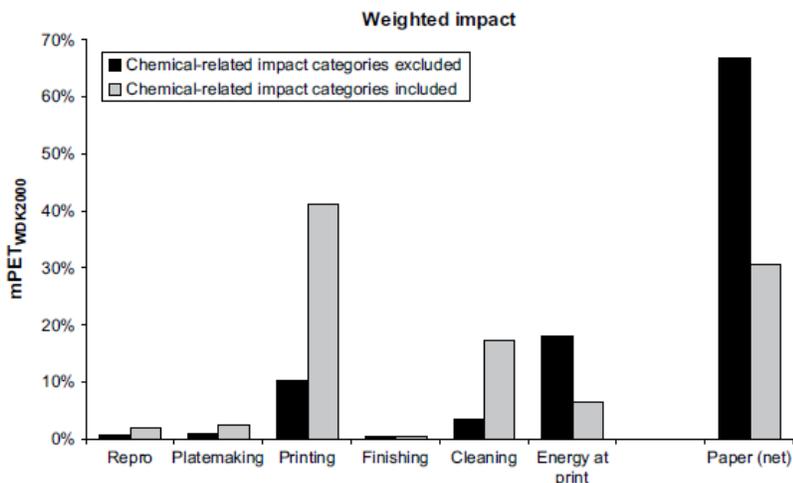
suele omitir actividades como es el caso del proceso de la carne donde la mayoría de los estudios se limitan a la producción de la carne sin tomar en consideración la agricultura, siendo esa etapa del proceso la de mayor impacto (Roy et al. 2009).

Los subsistemas pueden llegar a representar valores significativos dentro de los estudios de ACV, como el caso de la infraestructura en el sector tecnológico de televisiones, debido a que la infraestructura necesaria para el uso del producto como los enchufes o radio fusión tendrían impacto ambiental según el diseño (Heijungs, Huppel & Guinée 2010). Otro ejemplo son los procesos de envasado o empaque, el cual un error común es omitirlos, ya que los efectos ambientales varían según el material utilizado como el caso de la Coca Cola, por ejemplo durante un estudio de embotellamiento de leche se estimó que el 45 % de la energía utilizada se asocia con el envasado del PET (Cellura, Ardente & Longo 2012).

Dias et al. (2004) realizaron un ACV en Portugal sobre papel para impresión y escritura con el fin de identificar los puntos críticos del proceso, concluyendo que es la etapa de producción la de mayor contaminación. Una conclusión similar obtuvo PricewaterhouseCoopers (PWC) tras realizar varios estudios en productos de papel para identificar su impacto al medio ambiente (PWC 2010). En contraste, otros casos de estudio centrados en la etapa final, como el reciclaje o incineración, han llegado a concluir que los resultados “dependen” de los factores usados en cada caso (Lavin 2008) y no es posible obtener una conclusión general como afirma una publicación de la Asociación de Productos de Madera Canadiense (NCASI 2011).

Estudios previos debido a la falta de inventario de datos, no incluyen las categorías de impacto relacionadas con las emisiones de químicos el cual es otro factor que puede afectar significativamente los resultados finales del estudio (Larsen, Hansen & Hauschild 2009). En la figura 2 se muestran los resultados de un ACV en la industria gráfica incluyendo y excluyendo los químicos relacionados con las categorías de impacto. La producción de papel se analizó por separado ya que la mayoría de los estudios anteriores señalan que la producción de papel tiene el mayor potencial de impacto ambiental. Pero a pesar de la variación en los resultados, un ACV tiene la capacidad de ayudar a identificar

puntos clave en toda la cadena de suministro para mejorar el impacto medioambiental del periódico sólo con controles de gestión (Rafenberg & Eric 1998).



**Figura 2. Resultados de ACV de una imprenta incluyendo y excluyendo químicos del proceso**  
(Larsen, Hansen & Hauschild 2009)

No se encontraron estudios publicados anteriores de ACV en México para el proceso de impresión offset de pliegos. La mayoría de los casos de estudio en la literatura de productos de imprenta eran en países como Portugal, Francia, Alemania, Dinamarca, Finlandia y Suecia (Dias, Arroja & Capela 2007; Enroth 2001; Larsen 2012; Larsen, Hauschild & Hansen 2006; Pihkola et al. 2010; Rafenberg & Eric 1998). Los países europeos están más preocupados por los problemas ambientales y la productividad; como consecuencia, tienen mejores prácticas de gestión ambiental en comparación con México, donde hay una falta de prácticas ambientales (Velazquez, Munguia & Platt 2000). Además, como mencionando anteriormente, las empresas mexicanas tienen la vieja tecnología que puede influir en los resultados del ACV, y el cambio de la tecnología en el corto plazo será difícil de lograr.

## V. METODOLOGÍA

### 5.1 Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo debido a que se hará una recolección de datos relacionados con flujos de energía y materiales de las etapas del ciclo de vida en un medio impreso como apoyo a la toma de decisiones.

### 5.2 Diseño Metodológico

El diseño metodológico está basado en la Plataforma Europea sobre Análisis del Ciclo de Vida (EU-JRC-IES 2010), compatible con las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006, el cual consta de las fases que muestra la figura 3:

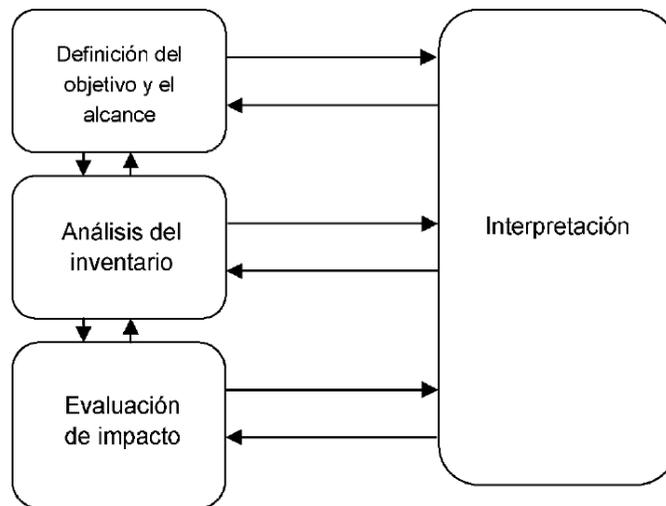


Figura 3. Marco de Referencia de un Análisis del Ciclo de Vida (EU-JRC-IES 2010)

Fase 1. Definición del objetivo y el alcance: La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular. El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio.

Fase 2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV): Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio definido.

Fase 3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV). El objetivo de la EICV es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental. Conocer y evaluar la magnitud y cuan

significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todo el ciclo de vida.

Fase 4. Interpretación del Ciclo de Vida es la fase final del ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados del ICV o de la EICV o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

### **5.3 Alcance**

El estudio se realizará en una empresa dedicada a la prensa escrita en la ciudad de Hermosillo, Sonora, encargada de la fabricación de un periódico regional. El estudio contempla desde la extracción de materia prima hasta obtener el producto terminado (Cuna a Puerta), sin embargo, se hará más énfasis en el área de producción, considerando así mismo todos los recursos, emisiones y desperdicios generados durante cada etapa. El periodo del estudio contempla un lapso de agosto del 2013 a diciembre del 2014.

### **5.4 Preguntas de investigación**

- ¿Cuál es el impacto ambiental en el ciclo de vida de un periódico regional?
- ¿Qué medios existen para prevenir, eliminar y/o reducir tales impactos?

### **5.5 Objeto de estudio**

El objeto de estudio será todo el proceso de producción de un periódico, en una empresa dedicada a la prensa escrita en la ciudad de Hermosillo.

### **5.6 Selección del lugar que ubica al objeto de estudio**

La selección fue de forma determinística donde los intereses de los altos directivos de la empresa eventualmente se encontraban acorde con los objetivos del proyecto de la Universidad de Sonora, además de mostrar disponibilidad para el acceso a las instalaciones para realizar el estudio y tener la visión de ser una empresa socialmente responsable.

### **5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos**

Los instrumentos de recolección de datos del presente estudio para cuantificar los datos serán una báscula, cinta métrica y contenedores. Las herramientas para el manejo de datos será el Software SimaPro ya que permite el cálculo de balances de flujos de materiales y energía, así como de emisiones al ambiente y la presentación de resultados en forma agregada (Zbiciński et al. 2006) y hojas de cálculo en Excel.

## VI. RESULTADOS

**Nota Aclaratoria:** Para mayor transparencia y confiabilidad de la información manejada, la nomenclatura de ciertos datos obtenidos, tanto de Ecoinvent 3.0 como del software Simapro 8.0.2, se presentan en el idioma Inglés.

### 6.1 Fase 1: Definición del objetivo y el alcance

#### 6.1.1 Objetivo

El objetivo de este ACV es identificar el comportamiento ambiental de materia impresa bajo el proceso de impresión offset en una compañía de periódicos ubicado en el noroeste de México, específicamente en el Estado de Sonora. Las conclusiones del estudio son apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la optimización del proceso de producción de productos de la imprenta. Las audiencias previstas de los resultados son las partes interesadas internas de la imprenta, el Programa de Posgrado de Sustentabilidad de la Universidad de Sonora, así como los profesionales, científicos y personas académicas interesadas en nuevos desarrollos del ACV.

#### 6.1.2 Alcance

##### A) Definición del sistema y límites

El alcance de estudio fue de “cuna a puerta” para la producción de material impreso, en otras palabras, desde la fase de materia prima hasta la fase producción de material impreso. En la figura 4 se muestra el ciclo de vida resumido del material impreso. El recuadro con líneas punteadas rojas remarca el alcance de estudio.

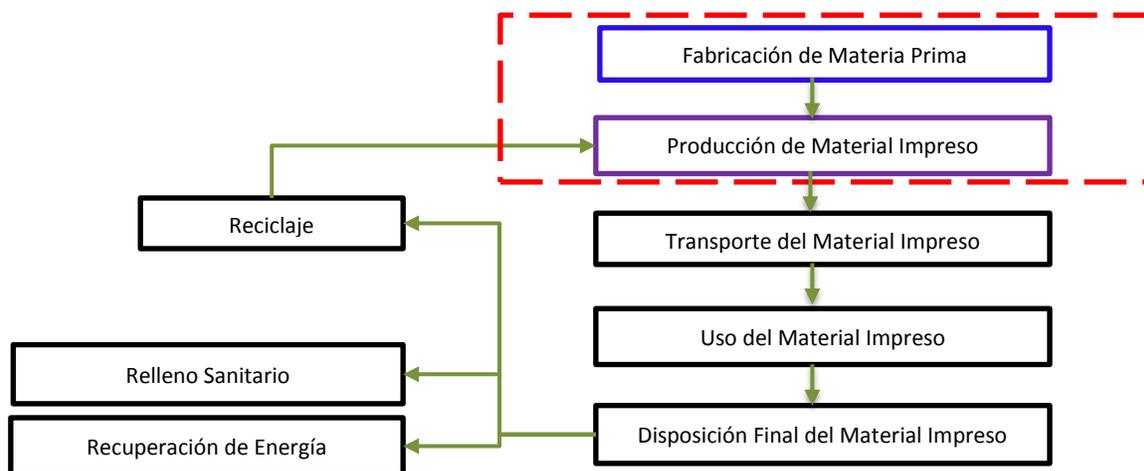


Figura 4. Ciclo de Vida de Material Impreso

La fase de fabricación de materia prima incluye la producción de la materia prima directa utilizada en la imprenta de estudio. La fase de producción de material impreso se dividió en cuatro actividades: preparación de placas, operación de impresión, limpieza de maquinaria y transporte de materia prima. Los artículos de oficina no están incluidos, ya que no se consideran parte de la fase de producción. Los bienes y el mantenimiento de los equipos fueron excluidos. La siguiente figura detalla el flujo de actividades del proceso de estudio y los límites del sistema.

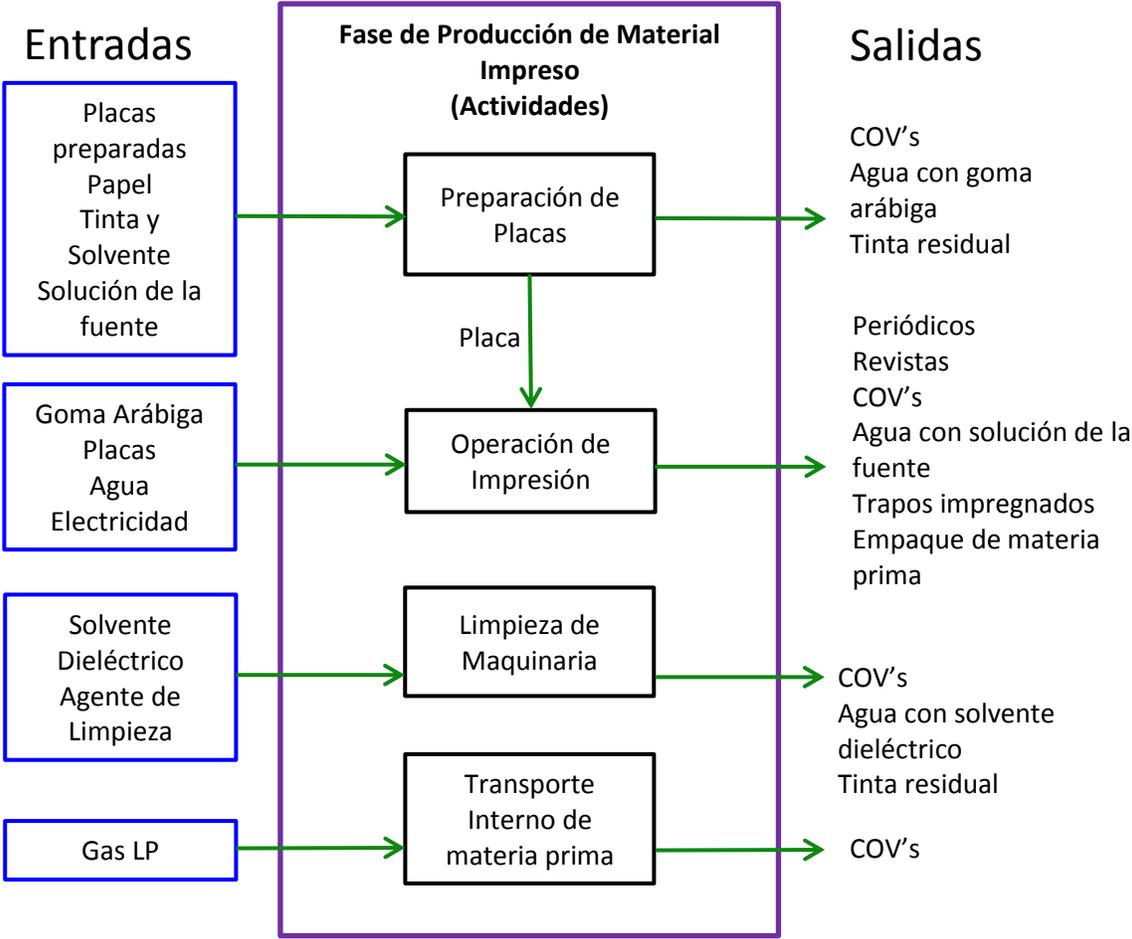


Figura 5. Límites del Sistema para el proceso de producción de material impreso

**B) Descripción de materiales impresos**

En la empresa laboran 125 empleados, de los cuales 18 trabajan específicamente en el área de producción. En promedio la empresa imprime 6,000 periódicos y 22,000 revistas al día. La tecnología utilizada es el proceso de impresión offset para todo el material impreso. El total de kilogramos impresos diarios de periódicos y revistas se obtuvo por

promedio a lo largo de un mes de producción. El número de revistas impresas y la masa varían según el cliente. En la siguiente tabla se muestran los productos con sus respectivas masas.

**Tabla 2. Cantidad de masa por productos en los días indicados**

<b>Productos</b>	<b>Masa (kg)</b>
Periódico (Lunes – Sábado)	0.15
Periódico (Domingos)	0.18
Revistas	0.05

### **C) Unidad Funcional (UF)**

La unidad funcional ayuda a comparar el ACV entre sistemas de productos que proporcionan la misma función (Crul & Diehl 2006). En la industria de la imprenta, estudios sobre ACV se basan en 1 tonelada de material impreso. Con el fin de facilitar las comparaciones con otros estudios, se seleccionó la misma unidad funcional, 1 tonelada de material impreso.

### **D) Recopilación de datos en la imprenta**

Los datos cuantitativos se obtuvieron de uno hasta seis meses (de Enero hasta Junio, 2014) en función a su disponibilidad, y son representativos del proceso de producción de la empresa participante que se encuentra en Hermosillo, Sonora, México. La unidad funcional puede ser producida en un solo día utilizando la tecnología Computer-To-Plate (CTP) y proceso de impresión offset alimentada con placas de aluminio. Los datos de campo se obtuvieron realizando mediciones dentro de la empresa y registros históricos de la misma. Además, para complementar la información se utilizó la base de datos disponible en SimaPro, Ecoinvent 3, con unidad de proceso consecucional, que se basa en datos promedio de todo el mundo. El enfoque consecucional fue seleccionado para representar a un modelo más realista (Wenzel, H., Wesnæs & Dall 2009). Los datos capturados dentro del modelo SimaPro fueron en base a promedios de los datos de campo.

### **E) Metodología de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida**

La metodología de evaluación de impacto del ciclo de vida muestra la importancia de los intercambios de datos de inventario para su posterior interpretación (Wenzel, Henrik,

Hauschild & Alting 2000). Uno de los métodos elegidos para la evaluación de impacto fue Impact 2002+. Este método calcula más sustancias que otras metodologías y tiene un enfoque de daño (punto final) y de impacto (punto medio); las cuatro categorías de daño son: calidad del ecosistema, recursos, cambio climático y salud humana (Humbert et al. 2012; Jolliet et al. 2003). Todas las categorías de punto medio fueron abordadas, como se muestra en la tabla 3, considerando solamente los flujos que contribuyan a más del 1% de la puntuación total.

**Tabla 3. Categorías de IMPACT 2002+ por Punto Final con su Punto Medio Correspondiente**

<b>Categorías de Daños por Punto Final</b>	<b>Unidades</b>	<b>Categorías de Impacto por Punto Medio</b>	<b>Unidades</b>
<b>Calidad del Ecosistema</b>	PDF *m <sup>2</sup> *a (Por sus siglas en inglés: Fracción de Especies Potencialmente Desaparecidas en 1 m <sup>2</sup> durante un año)	Eco-toxicidad Acuática Eco-toxicidad Terrestre Ocupación de Suelo Ácido Terrestre / Nutr Acidificación Acuática Eutrofización Acuática	kgTEGwater kgTEGsoil m <sup>2</sup> org.arable kgSO <sub>2</sub> eq kgSO <sub>2</sub> eq kgPO <sub>4</sub> P-lim
<b>Recursos</b>	MJ Energía Primaria (Mega Joules)	Energía No Renovable Extracción Mineral	MJ primary MJ surplus
<b>Cambio Climático</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq (Kilogramos equivalentes de Dióxido de Carbono)	Calentamiento Global	kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Salud Humana</b>	DALY (Por sus siglas en inglés: Años de Vida Ajustados por Discapacidad)	Carcinógenos Inorgánicos Respiratorios Orgánicos Respiratorias No Carcinógenos Agotamiento de la Capa de Ozono Radiación Ionizante	kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq kgPM2.5eq kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq kgCFC-11 eq Bq C-14eq

El mismo proceso fue evaluado también por el método ReCiPe, que incluye una evaluación de punto medio (H) y punto final (H). Existen diferentes perspectivas de incertidumbre en el método ReCiPe; para el caso de estudio se eligió la perspectiva Hierarchist (H) basada en los principios de políticas más comunes con respecto a periodos de tiempo (Hischier et al. 2010). El enfoque orientado al impacto también corresponde al punto medio, y el enfoque orientado al daño corresponde al punto final (Goedkoop et al. 2014). Las categorías evaluadas para ReCiPe se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Categorías de ReCiPe por Punto Final (H) y Punto Medio (H)

Categorías de Daños por Punto Final	Unidades	Categorías de Impacto por Punto Medio	Unidades
1. Salud humana 2. Ecosistemas 3. Costos excedentes de recursos	1. DALY 2. Especies por año 3. \$ (dls)	1. Agotamiento de ozono 2. Toxicidad humana 3. Radiación ionizante 4. Formación de oxidantes fotoquímicos 5. Formación de materia particulada 6. Acidificación terrestre 7. Cambio climático 8. Eco-toxicidad terrestre 9. Ocupación del suelo agrícola 10. Ocupación del suelo urbano 11. Transformación del suelo natural 12. Eco-toxicidad marina 13. Eutrofización marina 14. Eutrofización del agua dulce 15. Eco-toxicidad de agua dulce 16. Agotamiento de los combustibles fósiles 17. Agotamiento de minerales 18. Agotamiento de agua dulce	1. kg CFC-11eq 2. kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl-eq 3. Bq C-14-eq 4. kgNMVOC 5. kgPM10eq 6. kgSO <sub>2</sub> eq 7. kgCO <sub>2</sub> eq 8. kg1,4-DBeq 9. m <sup>2</sup> a 10. m <sup>2</sup> a 11. m <sup>2</sup> 12. kg1,4-DBeq 13. kgNeq 14. kgPeq 15. kg1,4-DBeq 16. kgoileq 17. kgFEeq 18. m <sup>3</sup>

## F) Limitaciones

Los datos utilizados para el ACV deben tener un alto nivel de calidad y confiabilidad, ya que en función de su capacidad para adaptarse al sistema y reflejar la realidad, esta le dará mayor credibilidad (Björklund, A. E. 2002). Para los países en transición, donde hay una falta de datos locales y se requiere información adicional para los estudios, existe la necesidad de utilizar bases de datos de otros lugares, el cual es uno de los principales problemas de los países de América Latina (Ossés de Eicker, Hischer, Hurni et al. 2010). En particular, para este estudio se identificaron tres limitaciones debido a la falta de información o de datos locales en México:

- Uso de bases de datos de empresas europeas
- Falta de inventario corriente arriba de alto nivel para empresas mexicanas

## G) Análisis de Sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad con el modelo para evaluar las incertidumbres difíciles de identificar al momento de tomar decisiones subjetivas (Cellura, Longo & Mistretta 2011) con el fin de comprender fácilmente la influencia de los supuestos en los resultados finales y aumentar la confiabilidad cuando no existe una elección correcta única (Goedkoop & Oele 2004). Se hicieron tres escenarios diferentes en SimaPro para

entender el efecto sobre los resultados de los dos recursos con mayor impacto potencial, la electricidad y el consumo de papel. Los escenarios fueron modelados con las dos metodologías Impact 2002+ y ReCiPe.

## 6.2 Fase 2: Análisis de Inventario del Ciclo de Vida

### 6.2.1 Inventario de Datos

Para la fase de materia prima, los recursos fueron obtenidos de la base de datos Ecoinvent 3; la información de los materiales no disponible en la base de datos, principalmente los químicos, se generó en base a la literatura consultada con datos genéricos. El empaque de la materia prima fue añadido para todos los materiales. En la tabla 5 se describe el inventario para todos los recursos utilizados. En las tablas posteriores (6-15) se describen los procesos de la fase de materiales que no fueron encontrados en la base de datos.

**Tabla 5. Recursos utilizados en la fase de materiales**

Recursos	Inventario de Datos	Fuente
Papel	Paper, newsprint (ROW), paper production, newsprint, virgin	Ecoinvent 3
Tinta	Printing Ink, offset, without solvent, in 47.5 % solution state (ROW)	Ecoinvent 3
Solvente para tinta	Solvent, organic (GLO)	Ecoinvent 3
Goma Arábica	Recurso obtenido de Larsen et al. (2006)	Tabla 6
Placas	Recurso obtenido de Larsen et al. (2006)	Tabla 7
Solución de la Fuente	Recurso obtenido de Larsen et al. (2006)	Tabla 8
Agente de Limpieza	Recurso obtenido de Larsen et al. (2006)	Tabla 9
Solvente Dieléctrico	Recurso obtenido de Larsen et al. (2006)	Tabla 10
Agua	Water, unspecified natural origin, (MX)	Ecoinvent 3
Electricidad	Electricity, medium voltage (MX)	Ecoinvent 3
Gas LP	Liquefied petroleum gas (ROW)	Ecoinvent 3
Cubeta	Empaque creado basado en datos de la imprenta	Tabla 11
Tambo de Plástico	Empaque creado basado en datos de la imprenta	Tabla 12
Tambo Metálico	Empaque creado basado en datos de la imprenta	Tabla 13
Caja	Empaque creado basado en datos de la imprenta	Tabla 14
Rollo	Empaque creado basado en datos de la imprenta	Tabla 15

**Tabla 6. Goma Arábica**

<b>Flujo de Referencia: 20 l de goma arábica</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Water, unspecified natural origin, MX	17 l	Ecoinvent 3
Sodium	1 kg	Ecoinvent 3
Triethanolamine (ROW)	1.13 kg	Ecoinvent 3
Transport, freight, lorry, unspecified (GLO)	1402 kgkm	Ecoinvent 3
Empaque cubeta	0.9 kg	Tabla 11

**Tabla 7. Placa de aluminio**

<b>Flujo de Referencia: 0.18 kg de placa de aluminio</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Metal Working, average for aluminum manufacturing (RER)	0.18 kg	Ecoinvent 3
Aluminum Alloy, AlMg3 (GLO)	0.18 kg	Ecoinvent 3
Transport, freight, lorry, unspecified (GLO)	1402 kgkm	Ecoinvent 3
Empaque caja	0.18 kg	Tabla 14

**Tabla 8. Solución de la fuente**

<b>Flujo de Referencia: 200 l de solución de la fuente</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Water, unspecified natural origin, MX	130 m <sup>3</sup>	Ecoinvent 3
Glycerine (GLO)	75.6 kg	Ecoinvent 3
Diethylene Glycol (GLO)	11.2 kg	Ecoinvent 3
Empaque tambo	0.18 kg	Tabla 12

**Tabla 9. Agente de Limpieza**

<b>Flujo de Referencia: 200 l de agente de limpieza</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Kerosene (ROW)	148 kg	Ecoinvent 3
Naphtha (ROW)	7.85 kg	Ecoinvent 3
Empaque tambo	12 kg	Tabla 13

**Tabla 10. Solvente dieléctrico**

<b>Flujo de Referencia: 200 l de solvente dieléctrico</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Kerosene (ROW)	40.2 kg	Ecoinvent 3
Vegetable Oil, Refined, (GLO)	45.1 kg	Ecoinvent 3
Ethoxylated alcohol (AE11) (GLO)	3.88 kg	Ecoinvent 3
Hexane (GLO)	31.9 kg	Ecoinvent 3
Paraffin (GLO)	44.1 kg	Ecoinvent 3
Empaque tambo	12 kg	Tabla 13

**Tabla 11. Cubeta (empaque de Tintas: Cyan, Amarillo, Magenta; Goma arábica)**

<b>Flujo de Referencia: 1 kg de cubeta</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Polyethylene, high density, granulate (GLO)	1 kg	Ecoinvent 3
Blow moulding (GLO)	1 kg	Ecoinvent 3

**Tabla 12. Tambo (empaque de solución de la fuente)**

<b>Flujo de Referencia: 8 kg de tambo</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Polyethylene, high density, granulate (GLO)	8.02 kg	Ecoinvent 3
Blow moulding (GLO)	8.02 kg	Ecoinvent 3

**Tabla 13. Tambo (empaque de agente de limpieza, tinta negra, solvente dieléctrico)**

<b>Flujo de Referencia: 12 kg de tambo</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Steel, low-alloyed, hot rolled (ROW)	12 kg	Ecoinvent 3
Metal working, average for aluminum product manufacturing (RER)	12 kg	Ecoinvent 3

**Tabla 14. Caja (empaque de placas de aluminio)**

<b>Flujo de Referencia: 180 kg de placas</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Solid unbleached board (GLO)	14.64 kg	Ecoinvent 3
Tissue paper (GLO)	13.40 kg	Ecoinvent 3
Packaging film, low density polyethylene (ROW)	0.28 kg	Ecoinvent 3
EUR-flat pallet (GLO)	17 piezas	Ecoinvent 3

**Tabla 15. Rollo (empaques de papel)**

<b>Flujo de Referencia: 286 kg de papel</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Solid unbleached board (GLO)	4.31 kg	Ecoinvent 3
Carton board box production, with offset printing (GLO)	3.58 kg	Ecoinvent 3

Para el diagnóstico en la fase de producción de material impreso, los datos específicos de la empresa fueron obtenidos a través de registros históricos de la compañía durante de un período de seis meses, en caso de no contar con dicha información, los datos fueron medidos durante un mes de producción. Se utilizaron promedios en el modelo de los datos de campo para todo el inventario del sistema. La tabla 16 muestra el inventario de los insumos modelados en SimaPro por actividades en base a la unidad funcional del proceso.

**Tabla 16. Inventario de datos por actividad basado en datos específicos de la imprenta**

<b>Unidad Funcional = 1 tonelada de material impreso</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fuente</b>
Preparación de placas	Agua	0.179 l	Datos de la Imprenta
	Goma arábica	0.936 l	
	Placas	-15.310 kg	
	Electricidad	124.37 kWh	
Operación de Impresión	Agua	72.463 l	
	Solución de la Fuente	4.685 l	
	Tinta (C, M, Y, B)	13.622 kg	
	Solvente	15.065 kg	
	Papel (vendido)	566.994 kg	
	Papel (reciclado)	-488.377 kg	
Limpieza de Maquinaria	Electricidad	19.32 kWh	
	Agua	21.478 l	
	Solvente Dieléctrico	3.750 l	
	Agente de Limpieza	3.100 l	
Transporte Interno	Electricidad	1.69 l	
	Gas LP	1.89 l	

### 6.2.2 Medición de recursos en la imprenta

Los datos de los productos primarios fueron obtenidos de la siguiente manera. La cantidad (en litros) de goma arábica y agua requerida para el proceso de CTP se midió una sola vez debido a que la máquina utiliza siempre la misma cantidad y se consideró

un uso de tres semanas. El agua necesaria para lavar la máquina CTP se midió sólo una vez suponiendo que el agua usada de la tubería de suministro municipal es siempre la misma. El número de placas de aluminio utilizados para la materia impresa se midió diariamente, teniendo en cuenta placas buenas y velados. La emulsión de las placas no fue considerada por falta de información. El consumo de papel se midió contando la cantidad de rollos de papel de uso diario. El papel de desecho incluye papel dañado durante el transporte, papel desechado durante operación de impresión, y material impreso no vendido. Todos los residuos de papel se consideran en el modelo como números negativos (Schmidt, J. 2012) ya que es enviado a reciclaje. La tinta utilizada para la impresión en sus cuatro colores (Cyan, Magenta, Amarillo y Negro - CMYB), se midió todos los días. El consumo de la solución de la fuente, el solvente dieléctrico, y el agente de limpieza también se midieron diariamente. El agua utilizada para preparar las soluciones se midió sólo una vez suponiendo que la cantidad era siempre la misma. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) también fueron excluidos debido a la falta de datos específicos.

La inclusión de aditivos (químicos) es difícilmente considerada dentro de la literatura y bases de datos, pero en función a las propiedades específicas de las sustancias, estas podrían afectar a la salud humana y del medio ambiente (Larsen 2012). Con el fin de hacer el modelo de estudio más confiable en SimaPro, la composición química de las sustancias fueron obtenidas de hojas de datos de seguridad (MSDS por sus siglas en inglés) proporcionadas por los proveedores y de la literatura (Larsen, Hauschild & Hansen 2006). No todos los productos químicos que se encuentran en la base de datos incluyen las emisiones al agua, la tierra o el aire.

### **6.2.3 Medición del empaque de la materia prima**

En cuanto a los productos secundarios, para el papel, se midieron los diferentes tipos de cartón utilizados para cubrir los rollos de papel como una unidad. Las tarimas y una tabla de madera fueron consideradas como una sola pieza para el empaque de placas de aluminio. El papel de seda y plástico de baja densidad se midieron individualmente del empaque de las placas de aluminio. Se ha asumido que todos los tambos vacíos (200 kg de tinta o 200 l para cualquier otra sustancia) tienen los mismos atributos, en cuanto al material y forma de elaboración. El mismo supuesto se hizo para todas las cubetas vacías (20 kg de sustancias químicas). Los productos secundarios enviados a reciclaje por la

empresa también se modelan como números negativos. En las tablas de la 11 a la 15, se detalla el empaque agregado a cada uno de los recursos utilizados en la imprenta como materia prima.

#### **6.2.4 Criterios de Corte**

El papel se asumió que todo está hecho de fibras vírgenes y que todo el desecho se envía a reciclaje. Las placas de aluminio utilizados en el proceso CTP se asume que se reciclan en un 100%. El consumo de electricidad fue calculado por actividad del proceso de producción. Los vertidos de aguas residuales, los sólidos impregnados con productos químicos y compuestos orgánicos volátiles, no fueron considerados. El transporte sólo se consideró para la materia prima transportada de otras ciudades suponiendo que el impacto para el transporte local no es significativo.

### **6.3 Fase 3: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)**

#### **6.3.1 Evaluación de Impacto**

En el siguiente apartado se desglosan los resultados de la evaluación de impacto por método (Impact 2002+ y ReCiPe). Para cada una de las metodologías se ilustraron los resultados por categorías de impacto o punto medio, la distribución del impacto por categoría o punto medio, el diagrama del árbol y la normalización de datos por categoría de daño o punto final.

#### **A) Método IMPACT 2002+**

La interpretación del inventario de cada fase del ciclo de vida puede llegar a ser un proceso muy complejo. Con el fin de facilitar la interpretación de los datos del sistema, los resultados de la evaluación de impacto se ilustran mediante SimaPro. A continuación se presenta solamente la evaluación de impacto del escenario de referencia utilizando la metodología IMPACT 2002+.

Los impactos adversos con el valor más alto, como se muestra en la tabla 17, son ecotoxicidad acuática, eco-toxicidad terrestre y radiación ionizante, seguido por energía no renovable y ocupación de tierras. La extracción mineral es el impacto con mayor efecto positivo para el medio ambiente en la caracterización. Dentro de las categorías de salud

humana, la radiación ionizante es la categoría de impacto que más afecta la mortalidad y morbilidad de las personas.

Tabla 17. Resultados de IMPACT 2002+ por Punto Final con su Punto Medio Correspondiente

Categorías de Daño o Punto Final	Categorías de Impacto o Punto Medio	Unidades	Total
<b>Calidad del Ecosistema</b>	Eco-toxicidad Acuática	kgTEGwater	18,700.0
	Eco-toxicidad Terrestre	kgTEGsoil	8,300.0
	Ocupación de Suelo	m <sup>2</sup> org.arable	53.1
	Ácid/Nutri Terrestre	kgSO <sub>2</sub> eq	0.472
	Eutrofización Acuática	kgPO <sub>4</sub> P-lim	0.044
	Acidificación Acuática	kgSO <sub>2</sub> eq	-0.102
<b>Recursos</b>	Energía No Renovable	MJ primary	2,440.0
	Extracción Mineral	MJ surplus	-60.7
<b>Cambio Climático</b>	Calentamiento Global	kgCO <sub>2</sub> eq	-9.09
<b>Salud Humana</b>	Radiación Ionizante	Bq C-14eq	6,730.0
	Orgánicos Respiratorios	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0.002
	Agotamiento de la Capa de Ozono	kgCFC-11 eq	0.0002
	Inorgánicos Respiratorios	kgPM2.5eq	-0.091
	No Carcinógenos	kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq	-2.94
	Carcinógenos	kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq	-7.47

En la figura 6 se muestra la caracterización de distribución de cada actividad del proceso por categorías de punto medio, con escala en base al 100%. La operación de impresión es la actividad con mayor efecto negativo en la mayoría de las categorías de punto medio, y la preparación de placas con mayor efecto positivo. La limpieza de maquinaria y el transporte interno no representaron resultados significativos.

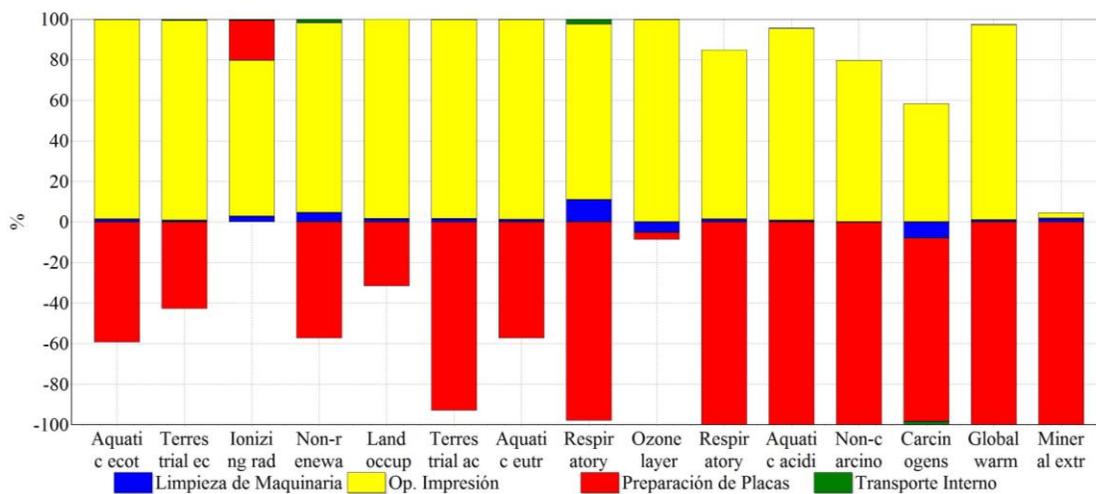


Figura 6. Distribución de actividades por categorías de impacto por método Impact 2002+

El diagrama de árbol (figura 7), representa el impacto ambiental del proceso completo. Sólo las actividades con una contribución mayor al 1% se presentan en la red. Los vínculos entre las actividades pueden ser fácilmente vistos por líneas. El grosor de la línea representa la contribución al impacto ambiental. Las líneas rojas indican los efectos adversos (valores positivos) y las líneas verdes señalan efectos positivos (valores negativos).

El diagrama muestra la operación de impresión como el mayor contribuyente a los efectos negativos para el medio ambiente, y la preparación de placas es la operación con mayor efecto positivo debido al reciclaje de los materiales involucrados (aluminio), ya que se pueden utilizar para otro proceso y evita la extracción de material virgen. Las actividades con el menor impacto fueron la limpieza de maquinaria y el transporte interno con menos del 1%, considerado como no significativo y por ello no fueron representadas en la figura 7.

En base a los resultados de las puntuaciones de impacto normalizado de la figura 8, es posible visualizar el nivel de daño orientado a las cuatro categorías para el caso de estudio: salud humana, calidad de los ecosistemas, recursos y el cambio climático. La unidad de los factores de daño normalizados es  $\text{personas} \cdot \text{año} / \text{Unidad}_{\text{emisión}}$ .

En la misma figura 8 se observa el impacto a la salud humana causada por la operación de impresión y la preparación de placas. El mayor impacto dentro de la calidad del ecosistema se debe a la operación de impresión, seguido por la preparación de placas, mientras que el cambio climático es dominado equitativamente de nuevo por las respectivas actividades. Por último, los recursos también se encuentran dominados la operación de impresión, seguido por la preparación de placas, y a una escala relativamente baja, la limpieza de maquinaria.

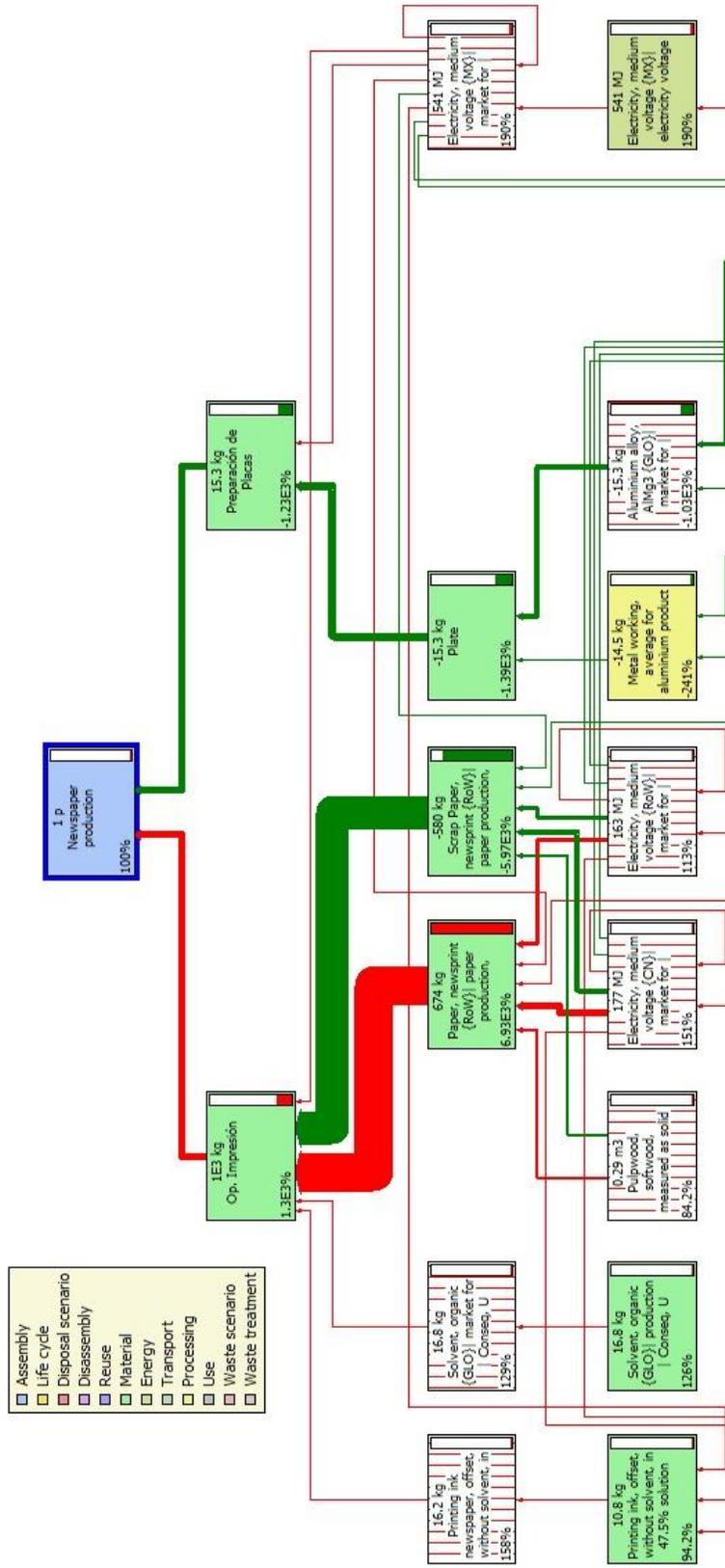


Figura 7. Diagrama de Árbol para 1 tonelada de material impreso por método Impact2002+

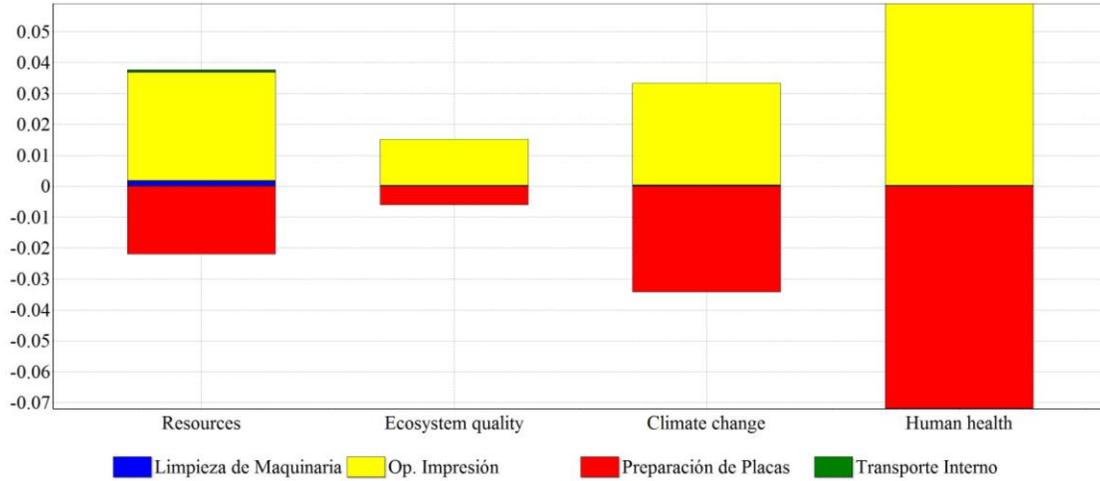


Figura 8. Normalización por Categorías de Daño o Punto Final por método Impact 2002+

## B) Método ReCiPe

Con el motivo de comparar resultados, se evaluó el proceso de material impreso utilizando el método ReCiPe. A continuación se presenta solamente la evaluación de impacto del escenario de referencia por categoría de impacto en la tabla 18 y categoría de daño en la tabla 19, ordenados de mayor a menor según el valor total.

Tabla 18. Resultados de ReCiPe por categoría de impacto o punto medio (H)

Categoría de impacto o Punto Medio	Unidad	Total
Agotamiento del agua	m <sup>3</sup>	6.71E+02
Ocupación del suelo agrícola	m <sup>2</sup> a	3.02E+02
Radiación ionizante	kBq U235 eq	6.66E+01
Agotamiento Fósil	kg oil eq	3.83E+01
Ocupación del suelo urbano	m <sup>2</sup> a	1.86E+01
Eco-toxicidad Terrestre	kg 1,4-DB eq	9.10E-01
Transformación del suelo natural	m <sup>2</sup>	2.48E-01
Eutrofización marina	kg N eq	4.61E-02
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	3.31E-02
Acidificación terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	2.45E-02
Agotamiento del ozono	kg CFC-11 eq	2.84E-04
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	-3.17E-02
Formación de materia particulada	kg PM10 eq	-1.18E-01
Eco-toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	-2.32E+00
Eco-toxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	-2.34E+00
Agotamiento de metales	kg Fe eq	-1.72E+01
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	-6.62E+01

Tabla 19. Resultados de ReCiPe por categoría de daño o punto final (H)

Categorías de Daños o Punto Final	Unidad	Categoría de impacto o punto medio	Total
Salud Humana	DALY	Cambio climático	2.64E-05
	DALY	Radiación ionizante	1.09E-06
	DALY	Agotamiento del ozono	4.24E-07
	DALY	Formación de oxidantes fotoquímicos	1.29E-09
	DALY	Formación de materia particulada	-3.07E-05
	DALY	Toxicidad humana	-4.63E-05
Ecosistemas	Especies*año	Ocupación del suelo agrícola	3.65E-06
	Especies*año	Transformación del suelo natural	4.75E-07
	Especies*año	Ocupación del suelo urbano	3.84E-07
	Especies*año	Cambio climático	1.48E-07
	Especies*año	Eco-toxicidad terrestre	1.37E-07
	Especies*año	Acidificación terrestre	1.42E-10
	Especies*año	Eco-toxicidad marina	-4.09E-10
	Especies*año	Eutrofización de agua dulce	-1.41E-09
Costos excedentes de recursos	\$	Agotamiento fósil	6.33E+00
	\$	Agotamiento de metales	-1.23E+00

A continuación las figuras 9 y 10 ilustran la caracterización del proceso por categorías de punto medio y punto final, respectivamente, donde es posible visualizar la distribución de las actividades, con escala en base al 100%. Las actividades de mayor efecto en cada categoría son la operación de impresión y preparación de placas.

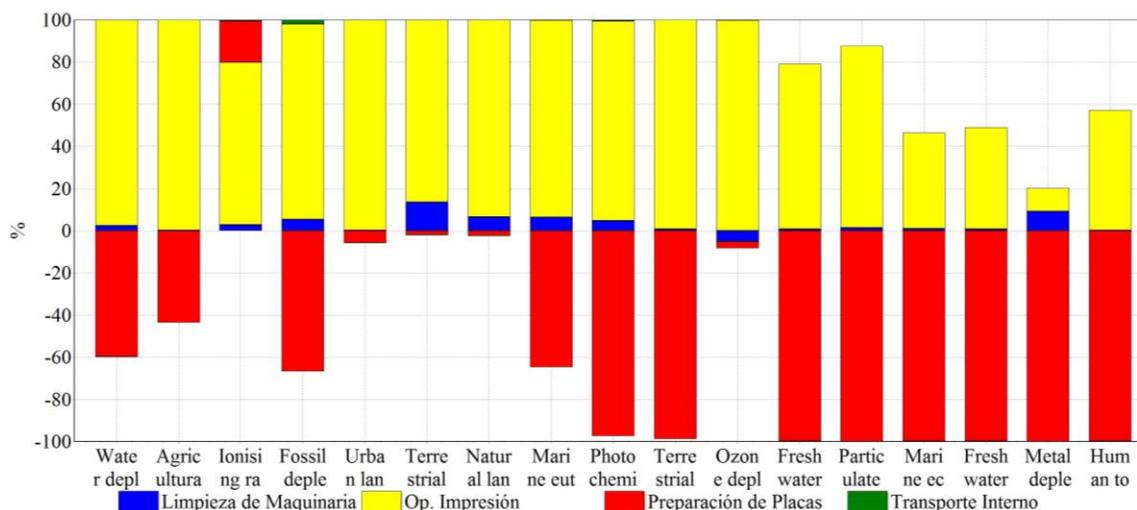
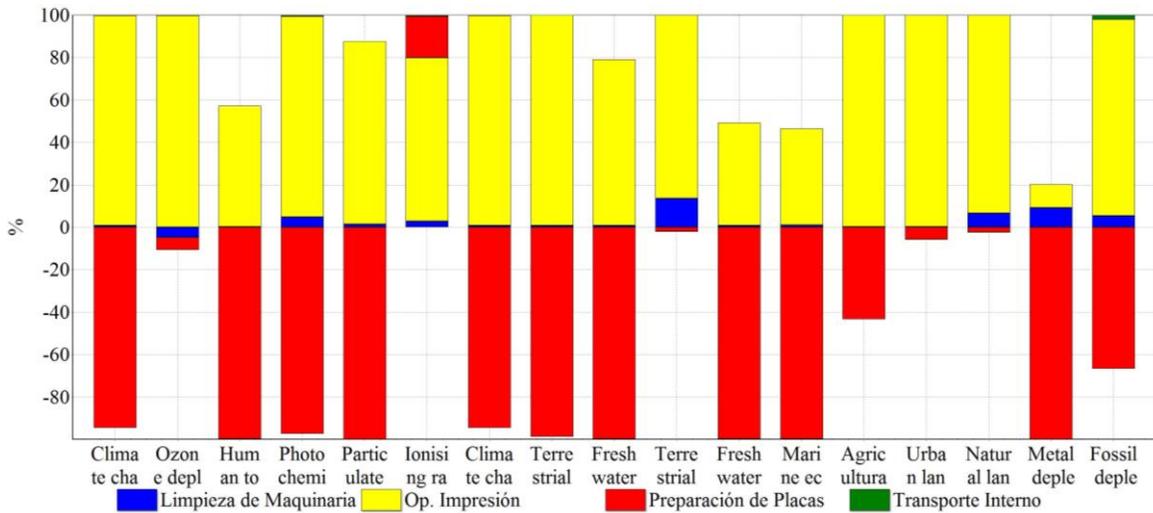


Figura 9. Distribución de actividades por categoría de impacto por método ReCiPe



**Figura 10. Distribución de actividades por categoría de daño por método ReCiPe**

El diagrama de árbol de la figura 11 representa el impacto ambiental del proceso completo con contribución mayor al 1%. Las actividades más significativas son la operación de impresión y la preparación de placas, principalmente por el consumo de papel, tinta y placas.

Las siguientes figuras (12 y 13) ilustran los datos normalizados por categoría de impacto y categoría de daño. La unidad de los factores de daño normalizados es personas\*año/Unidad<sub>emisión</sub>. En la figura 6, la Eco-toxicidad marina, Eco-toxicidad de agua dulce, eutrofización de agua dulce y toxicidad humana, son las categorías con mayores efectos adversos. Es importante resaltar que dicha metodología no tiene asignado valor de normalización para la categoría de impacto uso del agua, por tal motivo se encuentra graficada como cero. En la figura 7 donde se observan los impactos por daño de categoría a largo plazo, los recursos son los más afectados para el proceso de material impreso.

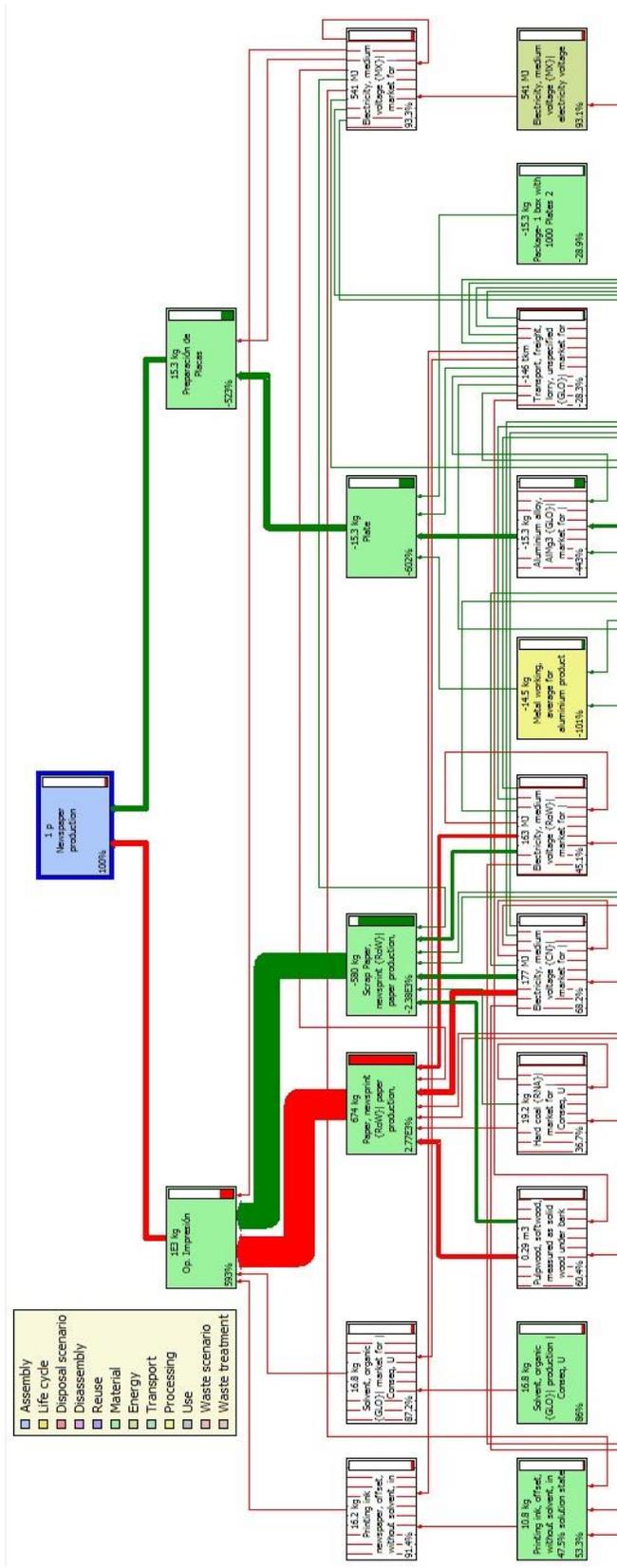


Figura 11. Diagrama de Árbol para 1 tonelada de material impreso por método ReCiPe

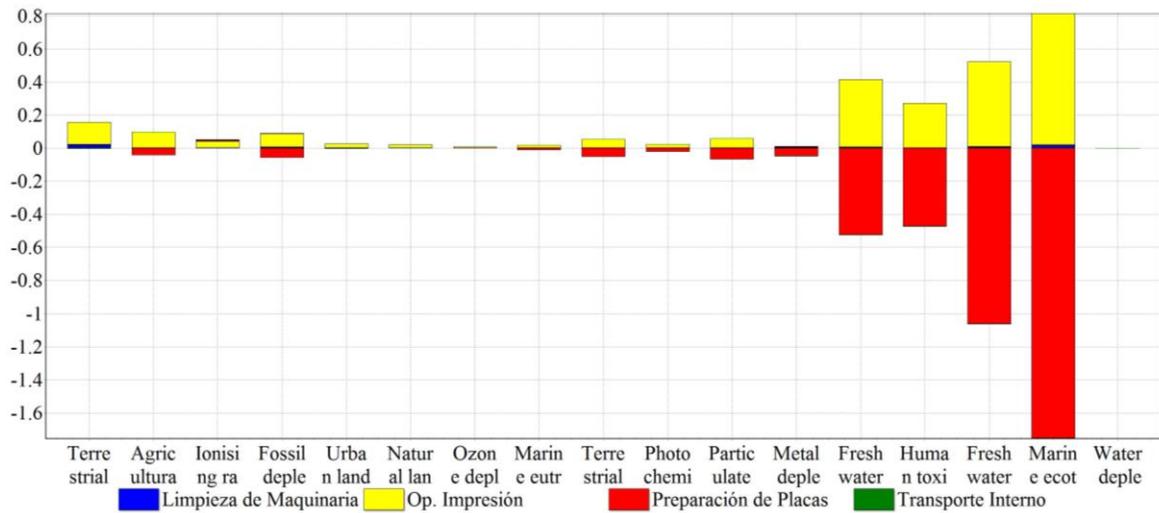


Figura 12. Normalización por Categorías de Impacto o Punto Medio por método ReCiPe

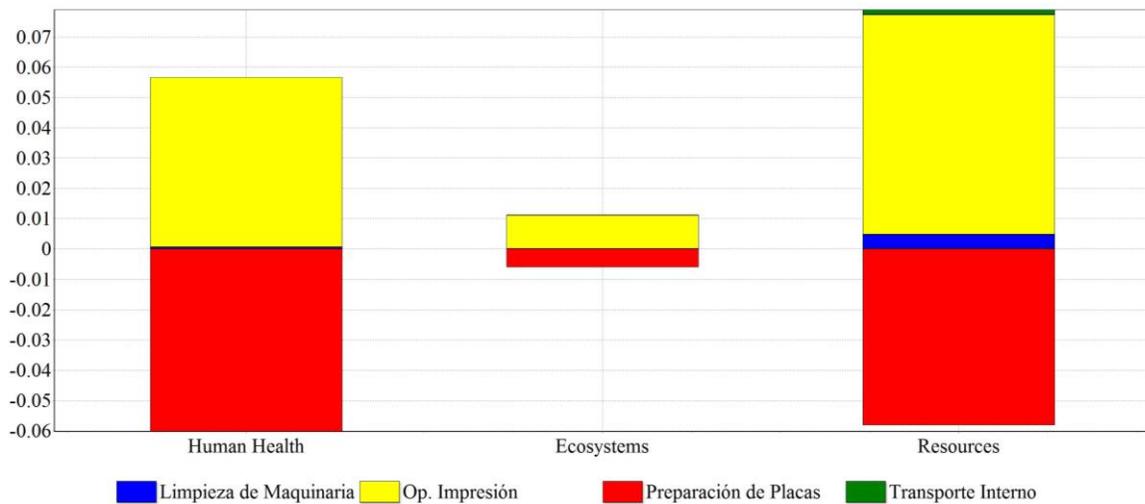


Figura 13. Normalización por Categorías de Daño o Punto Final por método ReCiPe

### C) Inventario de Sustancias de los Métodos Impact 2002+ y ReCiPe

En base a los resultados de ambos métodos, se realizó un resumen de inventario con las sustancias con carga de impacto mayor al 1%. Solamente las sustancias en común para ambos métodos se muestran en la siguiente tabla, las tablas completas se encuentran en anexos (1-7). La siguiente tabla describe la sustancia de inventario y el método utilizado con su carga ambiental total que le corresponde. El inventario de sustancias de la tabla 20 corresponde a la normalización de datos por categorías de daño o punto final en ambos métodos.

Tabla 20. Resultados de Inventario de sustancias consistentes para Impact 2002+ y ReCiPe

Sustancia	Método ReCiPe	Unidad	Total	Método Impact 2002+	Unidad	Total
Petróleo, crudo	Recursos	\$ (dlls)	1.52E-02	Recursos	MJ primary	6.54E-03
Carbón, duro	Recursos	\$(dlls)	9.10E-03	Recursos	MJ primary	4.73E-03
Gas natural / m <sup>3</sup>	Recursos	\$(dlls)	4.92E-03	Recursos	MJ primary	3.91E-03
Aluminio	Recursos	\$(dlls)	-6.58E-04	Recursos	MJ primary	2.35E-03
Carbón, marrón	Recursos	\$(dlls)	-3.43E-03	Recursos	MJ primary	-1.47E-03
Ocupación, bosque, intensiva	Ecosistemas	Especies*año	3.84E-03	Ecosistemas	PDF*m <sup>2</sup> *yr	2.36E-03
Ocupación, zona de tráfico, ferrocarril / carretera terraplén	Ecosistemas	Especies*año	4.18E-04	Ecosistemas	PDF*m <sup>2</sup> *yr	1.14E-03
Ocupación, cultivo permanente	Ecosistemas	Especies*año	1.96E-04	Ecosistemas	PDF*m <sup>2</sup> *yr	9.25E-04
Dióxido de carbono, transformación del suelo	Ecosistemas	Especies*año	1.86E-04	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	2.17E-03
Dióxido de carbono, fósil	Ecosistemas	Especies*año	1.54E-04	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	1.80E-03
Metano, fósil	Ecosistemas	Especies*año	9.90E-05	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	4.80E-04
Óxido nitroso	Ecosistemas	Especies*año	5.52E-05	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	3.38E-04
Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Ecosistemas	Especies*año	-7.43E-05	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	-1.05E-03
Hexafluoruro de azufre	Ecosistemas	Especies*año	-2.62E-04	Cambio Climático	kgCO <sub>2</sub> eq	-4.34E-03
Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Salud Humana	DALY	3.10E-04	Salud Humana	DALY	1.27E-04
Óxidos de nitrógeno	Salud Humana	DALY	2.53E-04	Salud Humana	DALY	7.59E-04
Amoníaco	Salud Humana	DALY	7.31E-05	Salud Humana	DALY	1.44E-04
Radón-222	Salud Humana	DALY	5.39E-05	Salud Humana	DALY	1.33E-04
Dióxido de azufre	Salud Humana	DALY	-1.48E-04	Salud Humana	DALY	-2.98E-04
Arsénico	Salud Humana	DALY	-9.29E-04	Salud Humana	DALY	-4.76E-03
Partículas, <2,5 um	Salud Humana	DALY	-1.87E-03	Salud Humana	DALY	-9.67E-03

#### D) Comparación de Ponderaciones con Stepwise para Impact 2002+ y ReCiPe

Según Jannick Schmidt (2014), experto en ACV, es recomendable utilizar datos normalizados sólo cuando se tiene un objetivo muy específico, por otro lado, las categorías de impacto se utilizan cuando se quiere saber por ejemplo las contribuciones de un producto al calentamiento global. Para lograr enfocar los análisis de los impactos ambientales de mayor importancia, se ponderaron los resultados de las categorías de impacto utilizando el método Stepwise. El método redefine las categorías de daño y los monetiza (euros) bajo los principios de voluntad de pago, y de este modo es posible identificar la importancia relativa entre las categorías de impacto (Weidema 2009). En la siguiente tabla se muestran los resultados de ponderación bajo el método Stepwise.

**Tabla 21. Ponderación de Categorías de Daño por método Stepwise**

<b>Categoría de Impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
Total	EUR2003	-1.01E+01
Naturaleza, ocupación	EUR2003	5.39E-05
Calentamiento global, fósil	EUR2003	2.10E-05
Radiación ionizante	EUR2003	1.82E-06
Eutrofización, acuática	EUR2003	7.54E-07
Eutrofización, terrestre	EUR2003	6.19E-07
Agotamiento de la capa de ozono	EUR2003	3.36E-07
Eco-toxicidad terrestre	EUR2003	2.37E-07
Orgánicos respiratorias	EUR2003	-2.07E-07
Eco-toxicidad acuática	EUR2003	-2.31E-07
Acidificación	EUR2003	-1.41E-06
Ozono fotoquímico, vegetación	EUR2003	-2.20E-06
Extracción de minerales	EUR2003	-3.28E-06
Toxicidad humana, no carcinógenos	EUR2003	-1.10E-05
Toxicidad humana, carcinógenos	EUR2003	-2.73E-05
Inorgánicos respiratorias	EUR2003	-8.50E-05
Calentamiento global, no fósil	EUR2003	-1.01E+01

La ponderación también se realizó por el método Impact 2002+ y ReCiPe para comparar resultados y evaluar si dichas metodologías logran identificar las mismas categorías de impacto de punto final o daño de mayor importancia en el caso de estudio. La tabla 22 y 23 muestran las categorías de impacto de Impact 2002+ y ReCiPe, respectivamente.

**Tabla 22. Ponderación de Categorías de Daño por método Impact 2002+**

<b>Impact 2002+</b>		
<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Total	Pt	1.09E-02
Energía no renovable	Pt	1.61E-02
Eco-toxicidad Terrestre	Pt	4.79E-03
Ocupación del suelo	Pt	4.22E-03
Radiación ionizante	Pt	1.99E-04
Eco-toxicidad acuática	Pt	6.85E-05
Agotamiento de la capa de ozono	Pt	3.62E-05
Ácido Terrestre / nutri	Pt	3.58E-05
Orgánicos respiratorias	Pt	8.66E-07
Extracción de minerales	Pt	-4.00E-04
Calentamiento global	Pt	-9.19E-04
No carcinógenos	Pt	-1.16E-03
Carcinógenos	Pt	-2.95E-03
Inorgánicos respiratorias	Pt	-9.07E-03

**Tabla 23. Ponderación de Categorías de Daño por método ReCiPe**

<b>ReCiPe</b>		
<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Total	Pt	7.25E+00
Agotamiento Fósil	Pt	7.75E+00
Ocupación del suelo agrícola	Pt	1.59E+00
Cambio climático Salud Humana	Pt	5.80E-01
Transformación del suelo natural	Pt	2.07E-01
Ocupación del suelo urbano	Pt	1.68E-01
Cambio climático Ecosistemas	Pt	6.47E-02
Eco-toxicidad Terrestre	Pt	5.99E-02
Radiación ionizante	Pt	2.40E-02
Agotamiento del ozono	Pt	9.33E-03
Acidificación Terrestre	Pt	6.18E-05
Formación de oxidantes fotoquímicos	Pt	2.84E-05
Eco-toxicidad marina	Pt	-1.78E-04
Eutrofización de agua dulce	Pt	-6.16E-04
Eco-toxicidad de agua dulce	Pt	-8.76E-04
Formación de materia particulada	Pt	-6.75E-01
Toxicidad humana	Pt	-1.02E+00
Agotamiento de metales	Pt	-1.51E+00

### 6.3.2 Análisis de Sensibilidad

Se realizaron varios análisis de sensibilidad para comprender la influencia de las variables en el modelo y la magnitud del efecto sobre los resultados finales. Las dos variables con mayor efecto en el sistema debido a su carga ambiental fueron el papel y el consumo de electricidad. Por tal motivo el análisis de sensibilidad está enfocado en estas variables.

#### A) Simulación de los escenarios del papel con reciclaje y sin reciclaje

El papel es una variable relevante dentro de los estudios ambientales de la imprenta. En el Escenario de Referencia (ER) existe incertidumbre sobre la disposición final del material impreso una vez que los clientes le dieron su uso, por lo tanto el valor numérico de la variable dentro del modelo es con número positivo. En el escenario A se asume que, además del reciclaje de papel de desecho y el exceso de impresión, todos los clientes reciclan el material impreso que compraron, en otras palabras, se recicla el 100% del papel. Por el contrario, el escenario B supone que todo el desperdicio de papel de la empresa no se está enviando a reciclar, no existe reciclaje en lo absoluto. Las siguientes gráficas muestran el escenario A y B. También se graficó el escenario de referencia para poder hacer comparación sobre el efecto de las variables en los resultados finales.

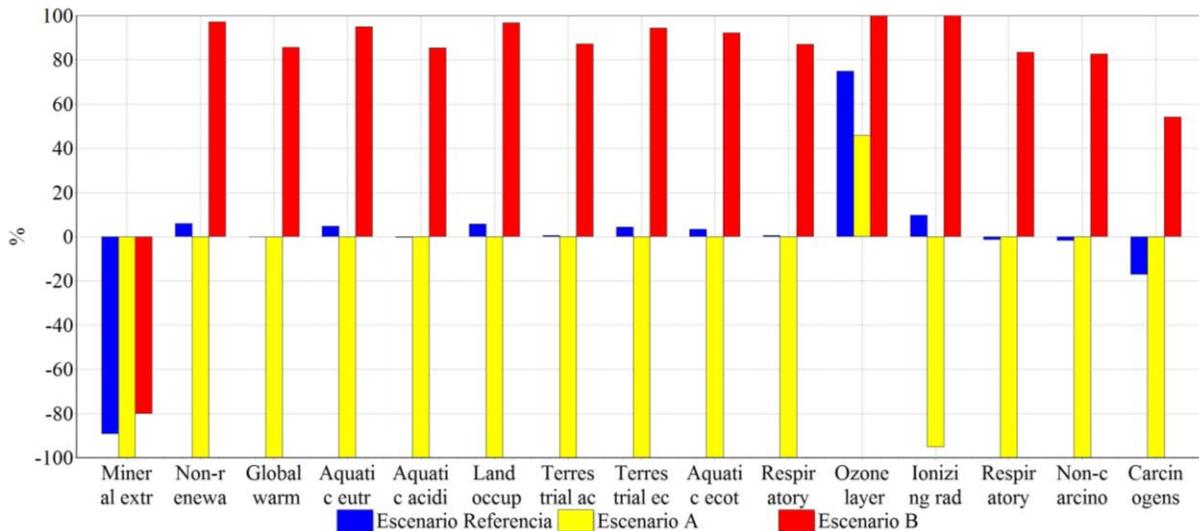
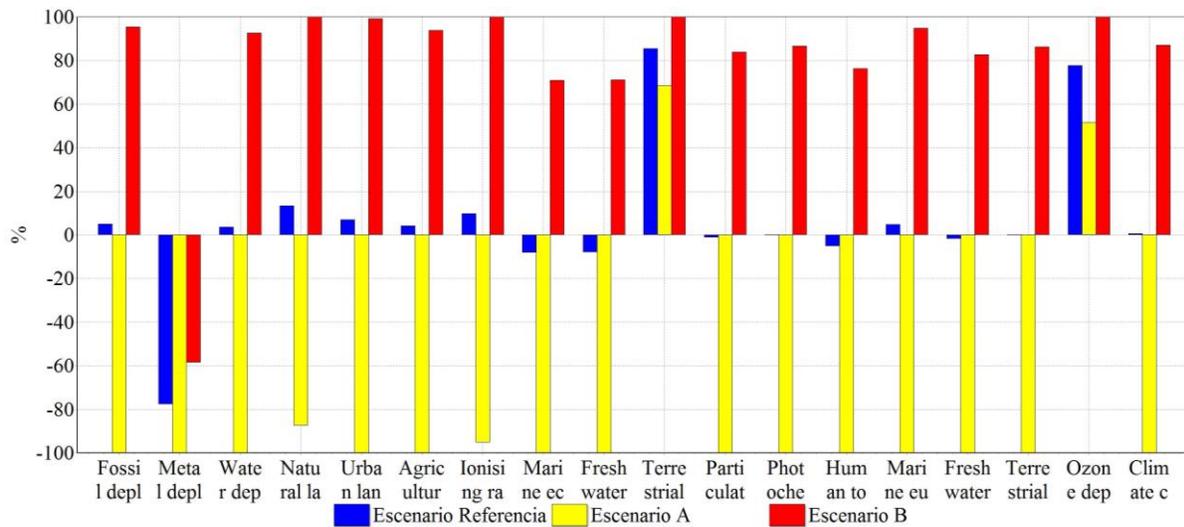
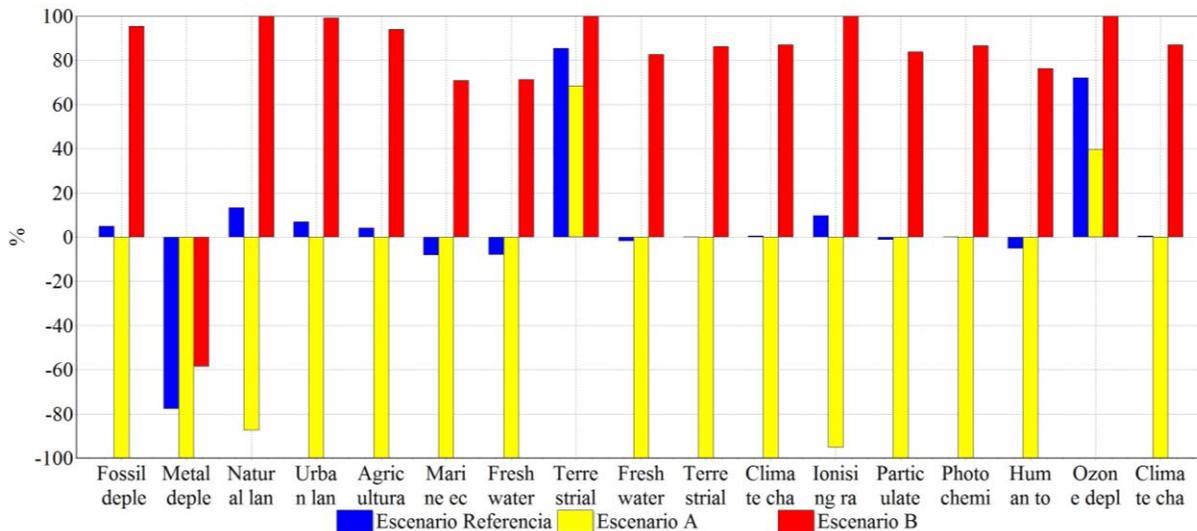


Figura 14. Caracterización con método Impact 2002+: Comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B



**Figura 15. Caracterización por punto medio con método ReCiPe: comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B**



**Figura 16. Caracterización por punto final con método ReCiPe: comparación entre escenario de referencia, escenario A y escenario B**

## B) Simulación del escenario de electricidad con concentración de emisiones de CO2 actualizada

Otro escenario fue modelado para determinar si la adición de datos de los informes recientes de la producción de energía en México afectan los resultados finales del estudio. Según el reporte por Statistics (2012) por cada kWh generado se emiten 455 gramos de Dióxido de Carbono al aire, cantidad agregada al proceso de electricidad en el modelo de material impreso correspondiente al escenario C. En la gráfica 11 se muestran los resultados por agregar las emisiones de Dióxido de Carbono. Para el actual escenario

solo se muestra la gráfica de daños por categoría dado que el modelo causo efecto únicamente en el cambio climático correspondiente al calentamiento global.

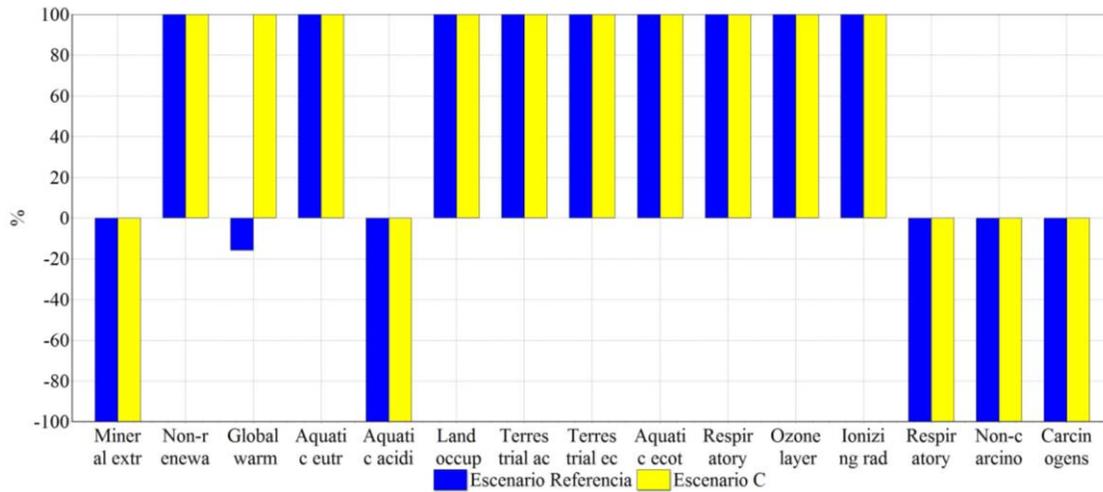


Figura 17. Caracterización con método Impact 2002+: comparación entre escenario de referencia y escenario C

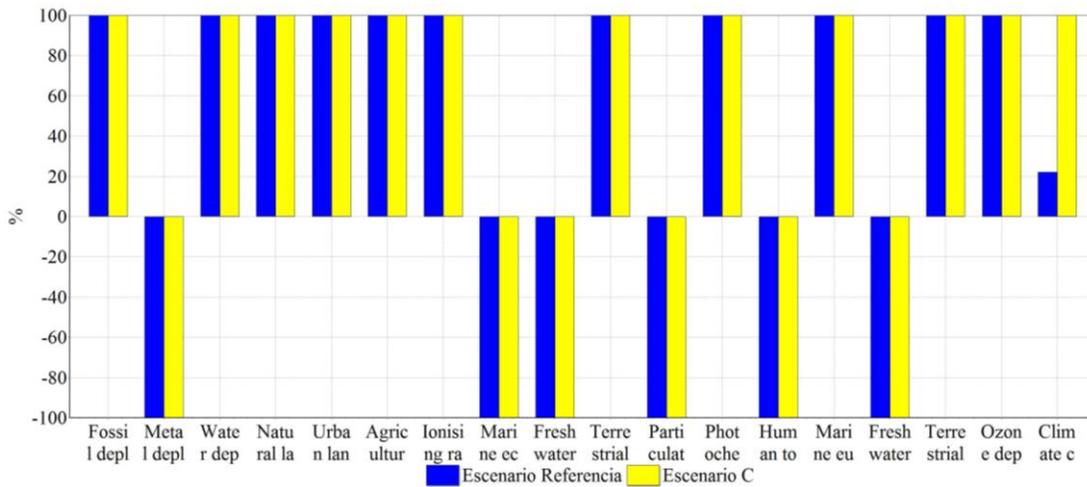
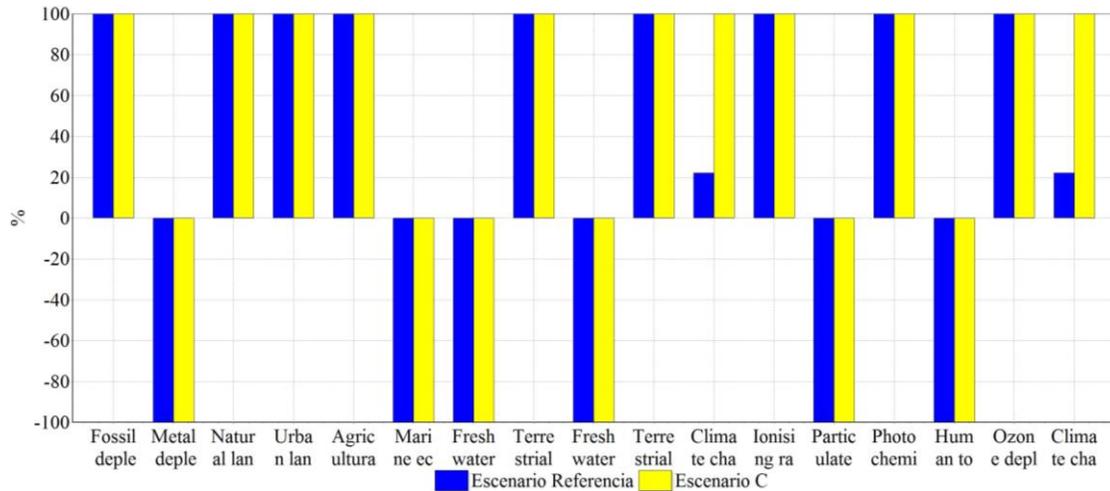


Figura 18. Caracterización por impacto con método ReCiPe: comparación entre escenario de referencia y escenario C



**Figura 19. Caracterización por daño con método ReCiPe: comparación entre escenario de referencia y escenario C**

## 6.4 Fase 4: Interpretación del Ciclo de Vida

### 6.4.1 Evaluación de Impacto con Impact 2002+

Los resultados previos de impacto ambiental son interpretados por actividad en esta sección. Los efectos adversos al medio ambiente fueron identificados según la fase del proceso en la que se encuentran, ya sea en la fase de materiales (cuna) o en la fase de producción (puerta).

Las categorías de impacto por el método Impact 2002+ referentes a la tabla 17 con mayor efecto fueron la eco-toxicidad acuática (18,700.0 kgTEG) y terrestre (8,300.0 kgTEG), la ocupación de tierras (53.1 m<sup>2</sup>org.arable), la energía no renovable (2,440.0 MJ primary) y radiación ionizante (6,730.0 BqC-14eq). En cuanto a los resultados con número negativo (efecto positivo en la naturaleza) se obtuvieron la extracción mineral (-60.7 MJ surplus), el calentamiento global (-9.09 kgCO<sub>2</sub>eq) y los carcinógenos (-7.47 kgC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cleq). Para la distribución del impacto en las 15 categorías, representadas en la figura 5, la operación de impresión domina todas en porcentajes positivos, mientras que la preparación de placas domina las negativas. La operación de limpieza de maquinaria y transporte interno no representaron impactos significativos.

Continuando con la interpretación de Impact 2002+, en la figura 7, referente al diagrama de árbol es posible darle seguimiento a las actividades y productos que más impactan en el ciclo de vida. Dentro de la fase de producción (puerta) las dos actividades de mayor

impacto fueron nuevamente la operación de impresión por el alto consumo de papel y tintas, mientras que la preparación de placas se vio afectada por la gran cantidad de placas utilizadas. Ambas actividades también tuvieron efectos adversos por el consumo de electricidad necesario para llevarse a cabo.

En la fase de materiales (cuna) la materia prima de mayor impacto fue el papel, las placas y la electricidad. El papel requiere de un alto consumo de electricidad para producirse y pulpa de madera como insumo de materia prima. La fabricación de placas requiere de mucho trabajo para producirse y además aluminio como materia prima. Finalmente la electricidad consume cantidades significativas de carbón como insumo principal.

En la figura 8 del método Impact 2002+, los datos normalizados por daños de categoría o punto final, muestran la salud humana como la categoría de mayor efecto adverso por causa de los orgánicos respiratorios, los no-carcinógenos y carcinógenos. Seguido se encuentra el cambio climático, por el calentamiento global, y los recursos, debido al uso de energía no renovable. Por último se encuentra la calidad del ecosistema, principalmente por la eco-toxicidad terrestre y la ocupación de tierras.

#### **6.4.2 Evaluación de Impacto con ReCiPe (H)**

En el siguiente apartado se interpretan los resultados por el método ReCiPe por categorías de impacto o punto medio y categorías de daño o punto final.

Las categorías de impacto de mayor puntuación, visualizadas en la tabla 18, son el agotamiento del agua, la ocupación del suelo agrícola y la radiación ionizante. En cuanto a las categorías de daño, referentes a la tabla 19, fue el agotamiento fósil, el cambio climático y la radiación ionizante. En la figura 9 donde se muestra la distribución de actividades por categorías de impacto y en la figura 10 correspondiente a las categorías de daño, la operación de impresión domina las categorías en los porcentajes positivos, excepto el agotamiento de metales. Dentro de los porcentajes negativos, la preparación de placas domina casi todas las categorías, excepto el agotamiento de la capa de ozono, transformación natural de tierras, eco-toxicidad terrestre, la ocupación de tierras urbanas y radiación ionizante.

En el diagrama de árbol, figura 11, se muestran las categorías de daño o punto medio, las cuales despliegan los impactos adversos a lo largo de la fase de materiales y producción. En cuanto a la producción, las actividades de mayor impacto fueron la operación de impresión por el consumo de papel principalmente, la tinta, la electricidad y el transporte de material, seguido por la preparación de placas por causa del alto consumo de placas y el uso de electricidad. Durante la fase de materiales, las variables más significativas fueron el papel, las placas y la electricidad. El papel por el consumo de pulpa, carbón y electricidad; las placas por el alto trabajo necesario para su producción, el consumo de aluminio y su empaque; y la electricidad por el consumo de gas natural y carbón.

Por último la interpretación para los datos normalizados de las categorías de impacto y de daño es la siguiente. Las categorías de impacto más relevantes para el proceso fueron la eco-toxicidad marina, eco-toxicidad y eutrofización de agua dulce, y la toxicidad humana. Todas las categorías de impacto dominadas por la operación de impresión y la preparación de placas. En cuanto a las categorías de daño, la más significativa fue la de los recursos debido al agotamiento fósil y de metales. La siguiente categoría de daño fue la salud humana por causa de la toxicidad humana, la formación de materia particulada y el cambio climático. Por último se encuentran los ecosistemas por el cambio climático y la ocupación de suelo agrícola.

Nuevamente la limpieza de maquinaria y el transporte interno de la empresa no representaron impactos significativos en comparación con el resto de las actividades.

#### **6.4.3 Evaluación de Inventario de sustancias para los métodos Impact 2002+ y ReCiPe**

Se realizó un inventario de sustancias para la evaluación de ambos métodos. La tabla 20 muestra así las sustancias con impacto mayor al 1% que tienen en común ambos métodos. Un total de 21 sustancias totales son consideradas y evaluadas como adversas para el proceso por ambos métodos, por lo que se pueden considerar como inventario robusto, ya que son consistentes en ambas metodologías. Sin embargo, el impacto asignado a cada sustancia varía según el método. Dentro del método ReCiPe, 23 sustancias más fueron evaluadas mientras que el método Impact 2002+ no las evaluó, y por el contrario, Impact 2002+ consideró 14 sustancias que ReCiPe no consideró.

Cada método evalúa diferentes sustancias según el enfoque principal. Por tal motivo, el valor del inventario de sustancias varía según el método.

#### **6.4.4 Evaluación de ponderación por Stepwise, Impact 2002+ y ReCiPe**

Los resultados de ponderación del método Stepwise, tabla 21, muestran que las categorías de impacto más significativas son primeramente la ocupación de la naturaleza, el calentamiento global y la radiación ionizante. En la tabla 22 correspondiente a la ponderación por el método Impact 2002+, las categorías de impacto más relevantes fueron energía no renovable, Eco-toxicidad terrestre y ocupación del suelo. Con respecto a ReCiPe, tabla 23, sus categorías de impacto fueron el agotamiento fósil, la ocupación del suelo agrícola y cambio climático (Salud humana).

Los tres métodos coinciden solamente en la ocupación de la naturaleza u ocupación del suelo (agrícola). Con respecto al calentamiento global y la radiación ionizante consideradas por Stepwise como significativa, no lo fue para los otros dos métodos. Por otro lado Impact 2002+ y ReCiPe consideraron la energía no renovable (agotamiento fósil) como categoría de alto impacto; Stepwise no la identificó entre las primeras tres.

Dichas interpretaciones no alteran las conclusiones finales, las actividades de operación de impresión y preparación de placas dominan las actividades dentro del proceso de impresión en casi todas las categorías de impacto. Además, las ponderaciones se prestan mucho a decisiones subjetivas que pueden cambiar fácilmente los resultados y apuntar hacia otras categorías.

#### **6.4.5 Análisis de Sensibilidad**

Con el fin de evaluar la robustez del perfil ambiental del escenario de referencia, se realizaron diferentes escenarios en el modelo. Con los diferentes escenarios se buscó identificar variables cuyos supuestos afectarían su efecto sobre los resultados finales.

Analizando las figuras 14, 15 y 16 de los dos escenarios de papel, correspondientes al escenario A y B, podemos destacar que a pesar del alto consumo de papel, el reciclaje le

da un mejor desempeño ambiental en gran escala al perfil ambiental de la empresa. Cuando se habla de reciclaje, se refiere principalmente al mercado de papel, donde se evita la extracción de materias primas y las emisiones al medio ambiente. La fase final y los impactos asociados al reciclaje no están incluidos en el estudio. La diferencia de impacto entre los escenarios A y B es totalmente contraria. En términos absolutos, cada unidad de papel que no se recicla afectará a la carga del sistema en mayor magnitud que el papel reciclado (papel de desecho y exceso de producción). Comparando el escenario de referencia con el escenario B, la ineficiencia y la sobreproducción son claramente reflejados en el sistema ya que el impacto es más de 48 veces mayor para todos los métodos.

Para las categorías de impacto agotamiento de la capa de ozono y extracción mineral, no existe diferencia extrema entre valores como con el resto de las categorías, ya que la diferencia entre el escenario A y el escenario de referencia esta alrededor de 1.43 kgCFC-11eq, y la diferencia entre el escenario de referencia y el escenario B se encuentra en promedio 1.54 kgCFC-11eq.

En cuanto a los escenarios de electricidad de las figuras 17, 18 y 19, el escenario C, enfocado a la adición de emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la generación de energía en México, los resultados no mostraron ningún efecto significativo sobre la calidad de los ecosistemas y los recursos. El cambio climático fue la única categoría afectada de manera significativa en este resultado, con un aumento de impacto de -9.09 kgCO<sub>2</sub>eq a 57.1 kgCO<sub>2</sub>eq para el método Impact 2002+, de 18.8 kgCO<sub>2</sub>eq a 84.9 kgCO<sub>2</sub>eq para el método ReCiPe Punto Medio y 1.48e-7 especies\*año a 6.73e-7 especies\*año para ReCiPe Final.

## **6.5 Propuestas para mejorar el desempeño ambiental del proceso**

A través del diagnóstico y los resultados previos de la evaluación de impacto ambiental, se logró identificar las actividades o recursos con mayor efecto sobre el medio ambiente a lo largo del ciclo de vida del material impreso de la cuna a la puerta. En el siguiente apartado se mostrarán propuestas que mejoren el desempeño ambiental del material impreso mediante el uso eficiente de recursos, sin afectar la funcionalidad del proceso y la calidad del producto. Las propuestas serán para aplicarse en la imprenta del noroeste de

México, esperando que tengan un efecto a nivel local, regional y de ser posible a nivel global. Los recursos que más efecto adverso tuvieron fueron la electricidad, el papel, las y las tintas, por ello las propuestas tendrán un especial enfoque en ellas. El uso adecuado de los recursos traerá ahorros económicos, beneficios sociales y ambientales.

### **6.5.1 Propuestas para el consumo de Papel**

Los resultados previos de impacto ambiental identificaron el papel como el recurso de mayor impacto, tanto en la fase de materiales como en la de producción. Además, el análisis de sensibilidad mostró ser un recurso crítico y sensible en el proceso del material impreso. Con las propuestas se busca reducir el consumo de papel, ya sea en la empresa o a lo largo de la cadena de suministros. Las propuestas son las siguientes:

- Llevar un control estadístico para mejorar la programación de impresiones diarias, de este modo se evita la sobreproducción.
- Colocar tapadera en las dos tinas con solución de la fuente para conservar la calidad de la sustancia y evitar su contaminación por compuesto en el aire, así se mejora la calidad de la impresión y se evitan impresiones rechazadas. La tapadera también evitará la emisión de compuestos volátiles de la solución y disminuirá el consumo de solución.
- Fomentar el reciclaje a los usuarios finales colocando en el material impreso la nota “Reciclar el papel mejora el medio ambiente”.
- Reducir el número de impresiones rechazadas. Fomentar la impresión en blanco y negro disminuye el número de productos fuera de calidad y por lo tanto el consumo de papel.
- Durante el transporte de los rollos de papel mucho material se daña y es enviado directamente a reciclaje. Por ello, es responsabilidad de la imprenta estar en comunicación con la cadena de suministros para la constante mejora del producto. Se recomienda informar al proveedor sobre los daños del material durante su transporte, proponer el re-diseño del empaque para evitar rupturas en el papel así como mejorar las prácticas laborales de los trabajadores durante el uso y manejo de los rollos de papel.

### **6.5.2 Propuestas para el consumo de Electricidad**

Las propuestas para el consumo de electricidad fueron divididas en tres incisos. La primera propuesta no requiere de inversión alguna (administrativa), la segunda consta de una inversión a un costo relativamente bajo-medio (automatización), mientras que la tercera propuesta requiere de una inversión de alto costo (celdas solares).

#### **A) Propuestas Administrativas (CFE)**

Las siguientes propuestas administrativas están basadas en la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el ahorro de electricidad en los negocios y la industria.

1. Revisar si hay fugas en la instalación eléctrica.
2. Uso de focos ahorradores, consumen 75% menos energía y duran 10 veces más.
3. Limpiar frecuentemente los focos para mantener la calidad de la iluminación.
4. Aprovechar la luz natural siempre que sea posible.
5. Adaptar circuitos de iluminación que permitan el uso de luz por zonas o áreas.
6. Evitar prender lámparas y focos si no se ocupa o con suficiente luz natural.
7. Pintar los espacios con colores claros, mobiliario claro, uso de tragaluces y ventanas.
8. Apagar lámparas y focos al desocupar espacios. Para el caso de fluorescentes, dejar encendido si solo será apagado por menos de 20 minutos.
9. Apagar aparatos cuando no se estén utilizando, algunos aparatos consumen energía con solo estar conectados.
10. No conectar muchos aparatos en un solo enchufe para evitar la sobrecarga y el sobrecalentamiento.
11. Revisar que puertas y ventanas sellen perfectamente cuando se encienda el aire acondicionado para evitar entradas de calor.
12. Limpiar los filtros del aire acondicionado una vez por semana.
13. Dar mantenimiento a los aires acondicionados. Para equipos con más de 2 años sin mantenimiento consumen el doble de electricidad
14. Apagar el aire acondicionado cuando existan temperatura ambiente confortable o en lugares que estarán desocupados por más de una hora.
15. Apagar aire acondicionado media hora antes de desocupar los espacios.
16. Obtener el termostato entre 22 °C y 24 °C en verano y 19 °C en invierno para mejor provecho de electricidad.

17. Sustituir equipos de aire acondicionado con más de 5 años por equipos con “alta relación de eficiencia energética”.
18. Señalizar bien la localización de apagadores para un mejor uso de ellos.
19. Apagar el monitor de la computadora cuando no se utilice.
20. Habilitar el modo descanso de la computadora y ajustar los parámetros de administración de energía.
21. De preferencia utilizar monitores LCD o LED.
22. Apagar la computadora cuando se deje de utilizar.
23. Programar la producción en base los horarios de las tarifas asignadas por la CFE para reducir los costos de consumo. Las tarifas varían, por lo que se sugiere revisar anualmente.

#### **B) Propuesta de Automatización (Axis Automation)**

Las propuestas administrativas requieren de un cambio en la cultura de los empleados para lograr reducir el consumo de electricidad, esto se transmite a tiempo y esfuerzo posiblemente con resultados no muy eficientes. Para un mejor control y mayor eficiencia en el consumo a corto plazo, se propone la automatización de electricidad para el ahorro de hasta un 25%. La automatización incluye:

1. Control y programación de aire acondicionado e iluminación basado en la producción y tarifas eléctricas.
2. Sensores detectores de movimientos en las instalaciones de la empresa.
3. Mejora en tiempo de encendido total.

En la siguiente tabla se muestran los precios unitarios del equipo necesario para la automatización. El costo de la inversión total del proyecto depende de las áreas y dispositivos interesadas en controlar. El precio de instalación y mano de obra equivale al 35% del costo total del proyecto.

**Tabla 24. Precios unitarios de equipo para automatizar**

<b>Equipo</b>	<b>Precio (dólares)</b>
Switch Relay	\$80.00
Outlet Linc	\$62.00
Din Relay	\$62.00
Controlador	\$470.00
Access Point	\$55.00
Termostato	\$205.00
Sensor de Movimiento / Puerta-Ventana	\$48.00
Placa Switch	\$5.00

El proyecto incluye las siguientes garantías:

- El equipo se encuentra respaldado con 25 años de experiencia en la marca.
- Cuentan con garantía de 2 años con el proveedor.
- Explicación del funcionamiento del proyecto
- Actualización de los softwares y aplicaciones utilizadas
- Mantenimiento preventivo semestral

### **C) Propuesta de Celdas Solares (Powerstein)**

La tercera propuesta consta de la instalación de tecnología limpia, sistema solar (celdas solares). Como se mencionó anteriormente, la inversión necesaria para el proyecto requiere de una inversión relativamente alta, sin embargo, tiene la capacidad de ahorrar el 97% de la electricidad consumida y por lo tanto los beneficios ambientales son mayores. El proveedor Powerstein propone dos tipos de proyectos diferentes.

#### **Proyecto 1:**

El proyecto 1 se realizó basado en el consumo promedio mensual de la imprenta mexicana (44,400 kWh), esto incluye las áreas administrativas que no fueron consideradas para la evaluación de impacto ambiental de la empresa. En costos actuales, este representa aproximadamente \$800,266 para el siguiente año. En la siguiente figura se muestra la recuperación de la inversión del proyecto a lo largo de los años.

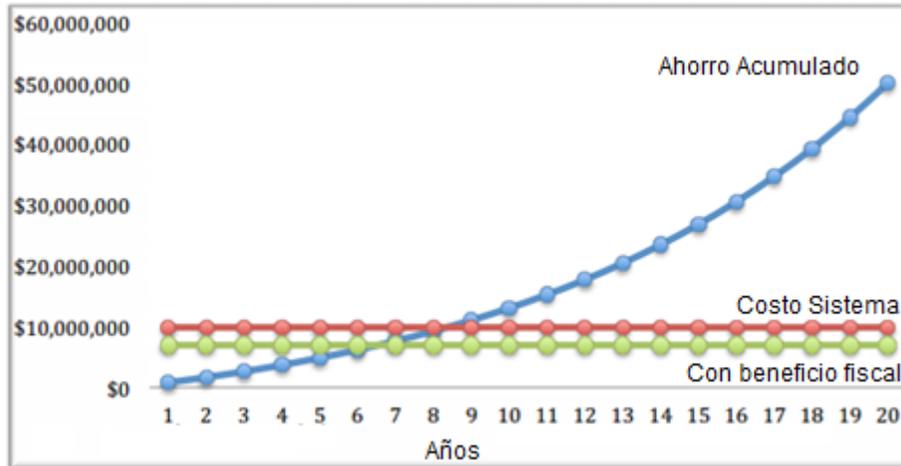


Figura 20. Ahorro acumulado del sistema a lo largo de 20 años

Analizando la gráfica 14 podemos identificar los siguientes puntos:

- La inversión se recupera en 6 años
- El ahorro promedio anual es de \$778,637.00
- El ahorro acumulado en 20 años es de \$49,990,688.00

Los beneficios ambientales tomando como base 30 años son:

- 10,433 toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas

La tabla 25 muestra las características del sistema solar propuesto con conexión sincronizada a CFE.

Tabla 25. Características del sistema solar

Capacidad	300.00 kW de energía limpia
Horas sol promedio	6.00 horas diarias
Producción de energía mensual estimada	43,200 kWh
Producción energía anual estimada	518,400 kWh
Espacio requerido	3,333 m <sup>2</sup>

La tabla 26 representa el monto de la inversión (USD). El sistema tiene el beneficio fiscal de deducción al 100% en un periodo (Ley del ISR Artículo 40 Fracción XII).

**Tabla 26. Costo del sistema solar**

Costo del sistema	\$624,000.00
IVA	\$99,840.00
Total	\$723,840.00
Precio por watt instalado	\$2.08

La descripción del sistema solar es el siguiente:

Celda Solar Fotovoltaica Jinko de 250 Watts

- Garantía 25 años en eficiencia y 10 años en manufactura
- Manufacturados en Canadá.
- Módulo de alta eficiencia policristalinos de 250 Watts

15 Inversor SolarEdge 20 Kw

- Garantía 10 años
- Sistema de monitoreo opcional
- Compañía Norteamericana

Póliza de mantenimiento (opcional)

- Visita física dos veces por año incluye:
  - Limpieza profunda de paneles solares.
  - Verificación de conexiones y cableado así como remplazo en caso de daño.
  - Verificación de anclaje y sujeción de paneles solares e inversores.
  - Verificación y corrección de posibles fallas.

Costo Anual de póliza de mantenimiento: \$ 4,500 dólares más IVA

**Proyecto 2:**

El proyecto 2 ofrece la venta de electricidad 10% más barata al precio de la CFE bajo un contrato de 25 años. El contrato incluye la instalación del sistema solar requerido para abastecer el 100% del consumo de electricidad del Expreso y el mantenimiento durante

los 25 años. A partir del año 26, el sistema solar instalado en la empresa pertenece al Expreso para su uso. Para el proyecto 2 no hay inversión inicial.

### **6.5.3 Propuestas para el consumo de tintas**

Las tintas fueron un recurso que alcanzó un impacto total mayor al 1% dentro del proceso del material impreso contemplando todas las categorías. Las tintas utilizadas por la imprenta mexicana son a base de destilados del petróleo. Para mejorar la calidad ambiental del producto se propone cambiar al uso de tintas a base de soya o aceite vegetal. La tinta de soya es a base de recursos renovables, facilita la pigmentación por lo tanto tiene colores más intensos que permite más impresiones con menor cantidad, es más fácil de remover facilitando así la limpieza dentro de la imprenta y el reciclaje, es más fácil de obtener un balance entre la tinta y el agua lo que genera menos desperdicio de papel durante la impresión y reduce el consumo de papel, es más biodegradable que la tinta a base de petróleo, y desprende menos compuestos volátiles (Carstensen & Morris 1997; Dharavath & Hahn 2009).

La tinta a base de aceite vegetal o de soya puede llegar a ser hasta un 30% más caro para colores y un 40% para tinta negra según el producto y el proveedor. A pesar del excedente en costo, existen ventajas en la producción que ayudarán a recuperar la inversión tales como:

- Mayor rendimiento, secado y brillo
- Mayor limpieza
- Ahorro en el uso de solventes
- Mayor durabilidad en las mantillas
- Estabilidad de las máquinas, agua y solución de la fuente
- Ahorro en el uso de solución de la fuente
- Más duración en baterías y rodillos
- Actualización de parámetros de calidad internacional.

## VII. DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se discuten los impactos ambientales de los resultados para 1 tonelada de material impreso. Durante la discusión se realizaron comparaciones entre las dos metodologías (Impact 2002+ y ReCiPe) utilizadas en la evaluación, y posteriormente, se compararon con una tercer metodología (Stepwise) para su ponderación. Finalmente, se relacionan los impactos ambientales con los recursos y actividades responsables, el cual tienen mayor potencial para mejorar el perfil ambiental de la empresa.

### 7.1. Impactos ambientales

Los métodos de evaluación de impacto cuentan con propios valores de caracterización, para comparar la diferencia de resultados y analizar si tienen sentido los resultados se realizó la siguiente tabla. En la tabla 27 se muestran las categorías de impacto de mayor relevancia (se tomó como referencia los valores absolutos mayores a 1). Los datos se acomodaron por valores, del mayor al menor.

**Tabla 27. Comparación de categorías de impacto con metodologías Impact 2002+ y ReCiPe**

Impact 2002+			ReCiPe		
Categorías	Unidad	Total	Categorías	Unidad	Total
Eco-toxicidad Acuática	kgTEGwater	18,700	Agotamiento del agua	m <sup>3</sup>	671
Eco-toxicidad Terrestre	kgTEGsoil	8,300	Ocupación del suelo agrícola	m <sup>2</sup> a	302
Radiación Ionizante	Bq C-14eq	6,730	Radiación ionizante	kgBq U235 eq	66.6
Energía No Renovable	MJ primary	2,440	Agotamiento Fósil	kg oil eq	38
Ocupación de suelo	m <sup>2</sup> org.arable	53.1	Ocupación del suelo urbano	m <sup>2</sup> a	18.6
No Carcinógenos	kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq	-2.94	Eco-toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	-2.3
Carcinógenos	kgC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cleq	-7.47	Eco-toxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	-2.3
Calentamiento Global	kgCO <sub>2</sub> eq	-9.09	Agotamiento de metales	kg Fe eq	-17.2
Extracción Mineral	MJ surplus	-60.7	Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	-66.2

Ambas metodologías cuentan con 5 categorías de impacto con valores positivos, efectos negativos que degradan el medio ambiente, y 4 valores negativos, efectos positivos al

medio ambiente. A pesar de evaluar diferentes categorías y contar con valores diferentes, es posible apreciar algunos efectos similares discutidos a continuación.

Las categorías de mayor valor fueron la eco-toxicidad acuática para Impact 2002+ y el agotamiento del agua para ReCiPe. La eco-toxicidad acuática mide la cantidad de trietilenglicol en agua, mientras que el agotamiento del agua mide el consumo del recurso en metros cúbicos. A pesar de no ser equivalentes las categorías, ambas finalmente perjudican un recurso vital para la salud humana y la calidad de los ecosistemas. Dado que la empresa se encuentra en una zona árida y escasa en agua, el cuidado del vital líquido es una cuestión delicada y de preocupación pues condiciona el desarrollo sustentable de la región (Caravantes & Healy 2005). Aunado a la Eco-toxicidad acuática se encuentra la Eco-toxicidad terrestre, bajo el supuesto que la tierra es afectada por la exposición al agua contaminada. Sólo Impact 2002+ evaluó la categoría de impacto con valores significativos.

Entre las categorías en común se encuentra la radiación ionizante. La electricidad fue el principal contribuyente a las emisiones según los resultados por ambas metodologías. Impact 2002+ convirtió la categoría de impacto a Bequerels de Carbon-14 equivalentes y ReCiPe a kilogramos en Bequerels de Uranio 235 equivalentes. Su caracterización se basa en las emisiones liberadas al ambiente (Humbert et al. 2012) y tiene alto potencial de afectar la salud humana según la exposición (González 2009). Por su potencial de efecto en la salud ambiental, es de gran importancia buscar propuestas que reduzcan el consumo de electricidad en la fase de producción y buscar fuentes limpias de electricidad en la fase de materiales.

Los recursos no renovables y el agotamiento fósil tuvieron un efecto significativo en el modelo. El efecto se debe a la alta demanda energía para la producción de las materias primas que involucran el uso de hidrocarburos para su producción (tintas, papel, placas, electricidad y gas LP). Impact 2002+ convirtió la cantidad de energía extraída o necesaria para extraer el recurso a Mega Joules. ReCiPe utiliza el término fósil para todos los recursos que contienen hidrocarburos; en su unidad 1 kg de petróleo equivalente tiene un valor calorífico inferior de 42 MJ (Goedkoop et al. 2014). Los valores para ambas metodologías reflejan que el modelo afecta considerablemente el acotamiento de los

recursos no renovables, especialmente a un país como México, donde el 79% de la energía generada es en base a combustibles fósiles (Santoyo-Castelazo, Gujba & Azapagic 2011).

Los impactos más significantes en ambas metodologías no solo tuvieron lugar en los recursos no renovables, sino también en los renovables como los suelos. El principal contribuyente de la categoría en los resultados fue el papel, a pesar de ser reciclado el 46% en la empresa. Impact 2002+ convirtió el impacto a 53.1 m<sup>2</sup> de suelo orgánico arable afectado, y ReCiPe a 18.6 m<sup>2</sup> anuales de suelo urbano y 302 metros cuadrados anuales de suelo agrícola afectados por una tonelada de material impreso. Comparando el área deforestada con una mesa de billar, el impacto equivale a 5.9 mesas para Impact 2002+. En cuanto al método ReCiPe, la ocupación del suelo cubriría 3.6 mesas de billar anuales, mientras que la ocupación del suelo agrícola podría alcanzar a cubrir 1.15 canchas de tenis anualmente. Más de una tonelada de material se imprime diariamente, por lo tanto aumentar la eficiencia del papel y maximizar su reciclaje evitaría el uso del suelo considerablemente.

El reciclaje a su vez ha mejorado el perfil ambiental de ciertas categorías de impacto como la extracción mineral en Impact 2002+ y el agotamiento de metales en ReCiPe. Las placas de aluminio fueron los contribuyentes de tal categoría, que por motivo de ser mandadas a reciclaje el 100%, el impacto pasa a ser número negativo. Esto significa que se evita la extracción del material y emisiones a la atmósfera. El efecto positivo ambiental es sólo para el mercado del material, puesto que los impactos por el proceso de reciclaje no fueron evaluados por encontrarse fuera del alcance del proyecto.

La salud humana también fue un impacto de categoría con números negativos significantes beneficiado por el reciclaje de placas y papel. Por su parte Impact 2002+ es una metodología que desglosa los impactos a la salud, para el caso de estudio los no carcinógenos y carcinógenos fueron entre los valores negativos más significativos. Es importante mencionar que solo dentro de la categoría de carcinógenos, todos los químicos utilizados en el proceso tuvieron un impacto mayor al 1%, para el resto de las categorías no tuvieron efectos significativos. ReCiPe categoriza el impacto como toxicidad humana de forma general y también fue parte de los valores con efecto negativo más significativo. Las personas han sido siempre el factor más importante dentro

de la sustentabilidad, por lo tanto deben ser factor primordial a considerar durante la toma de decisiones.

Entre las categorías de impacto con efecto positivo para el ambiente por causa del reciclaje papel y las placas fueron la Eco-toxicidad marina, la Eco-toxicidad de agua dulce y el calentamiento global. Sin embargo no son categorías consistentes para ambas metodologías. La Eco-toxicidad marina y Eco-toxicidad de agua dulce fueron categorías sólo para ReCiPe y el calentamiento global solo para Impact 2002+.

Los impactos ambientales anteriormente discutidos, fueron ponderados por un tercer método, Stepwise, para identificar la importancia relativa sobre la salud ambiental (Aranda et al. 2006). La ponderación fue utilizada para darle mayor robustez al estudio y determinar cuáles son las categorías de impacto más significativas. Durante este análisis no se busca darle una medida verdadera absoluta, puesto que los resultados pueden llegar a ser muy subjetivos según el valor asignado por la metodología (Bengtsson & Steen 2000). Las gráficas 15, 16 y 17 muestran las ponderaciones según el método.

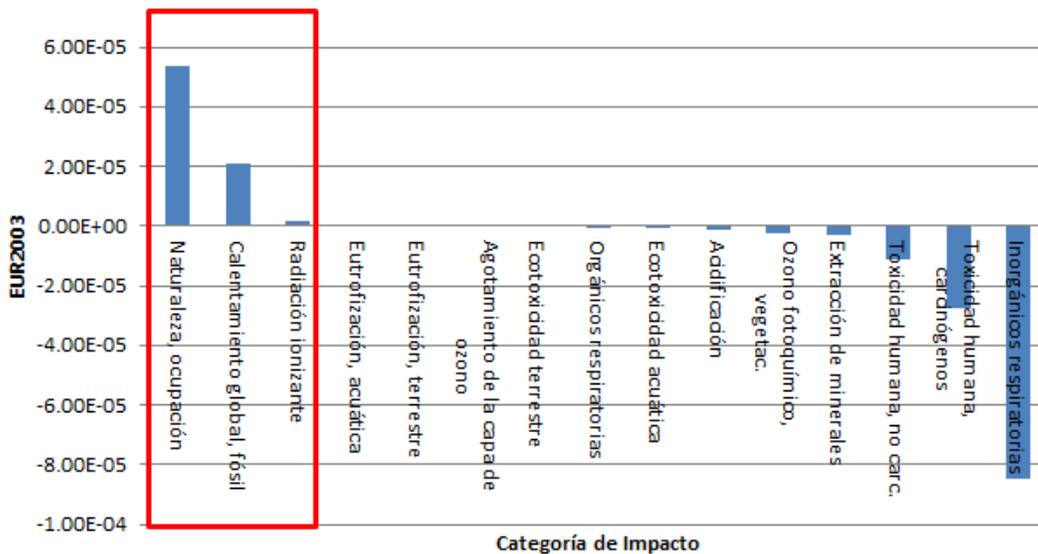


Figura 21. Ponderación de categorías de daño por método Stepwise

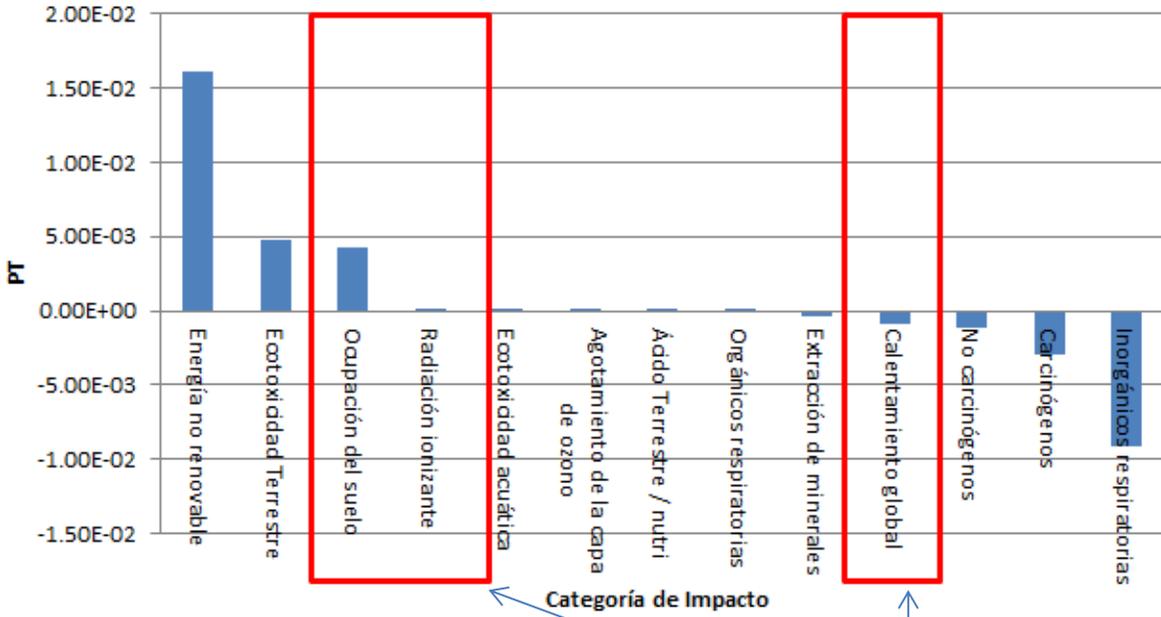


Figura 22. Ponderación de categorías de daño por método Impact 2002+

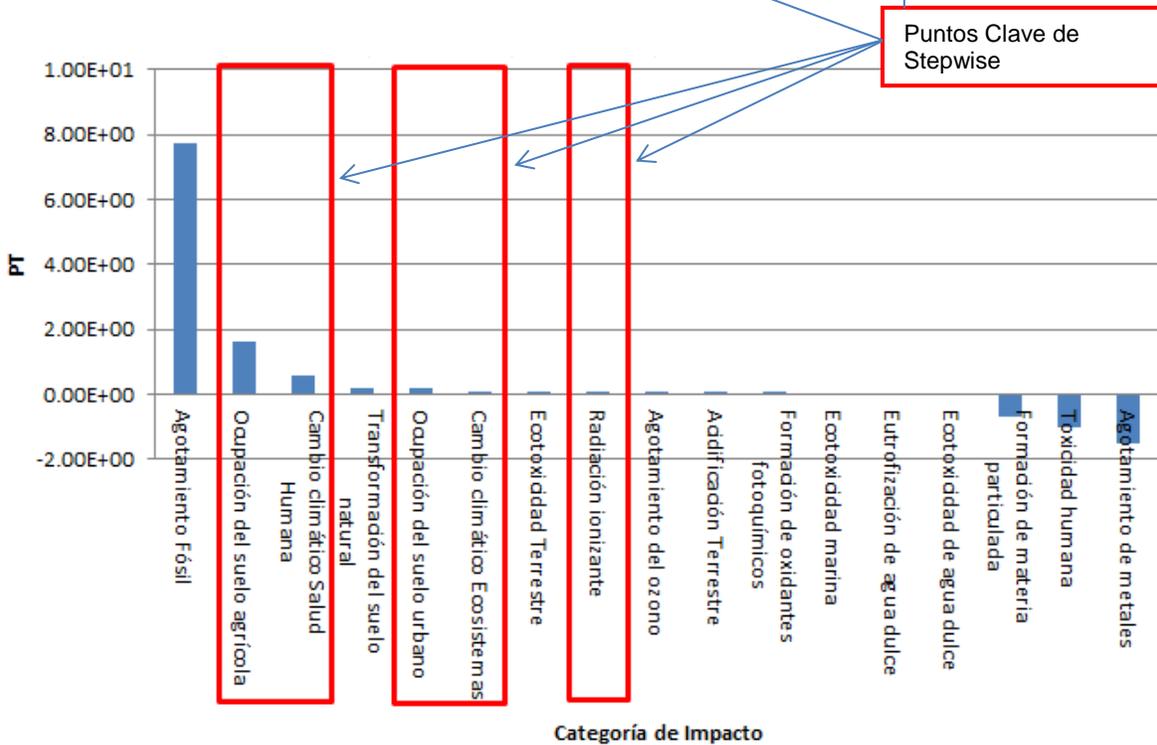


Figura 23. Ponderación por categorías de daño por método ReCiPe

El valor de los ecosistemas, la salud humana y los recursos fueron valuados en términos monetarios. La gráfica 15 señala la ocupación de la naturaleza, el calentamiento global y la radiación ionizante entre las 3 categorías más importantes, tomando como restricción

presupuestaría el potencial de producción económica anual per cápita, (74,000 EUR como referencia) (Weidema 2009). Los valores de la gráfica representan la proporción del ingreso destinado a nuestro bienestar sacrificado a proteger los ecosistemas. La ocupación del suelo ha sido la única categoría constante en las tres metodologías, por tal motivo es considerada como la más robusta y de mayor importancia en el ciclo de vida del material impreso.

Entre las siguientes categorías más repetitivas dentro de los 3 primeros lugares fueron el calentamiento global, la radiación ionizante y el uso de recursos no renovables (o fósiles). Estas categorías son constantes en al menos dos de las tres metodologías por lo tanto pueden ser también consideradas entre las más significativas. Enfocar principalmente el análisis y la toma de decisiones para nuevas propuestas en los recursos y actividades responsables de dichos impactos ambientales, traerá mayor efecto en el desempeño ambiental del material impreso.

## **7.2. Relación de los impactos ambientales con las actividades y recursos del proceso para material impreso**

La evaluación de impacto realizada mediante el método Impact 2002+ y ReCiPe, tuvo resultados muy similares en la fase de materiales (cuna) y producción (puerta), identificando así las mismas actividades con mayor efecto, ya sea positivo o negativo.

De acuerdo con ambas metodologías, la operación de impresión dominó las categorías de impacto y las de daño, al igual que los resultados publicados por Dias et al. (2007) en su estudio realizado en Portugal para papel de impresión y escritura. La segunda actividad de mayor impacto pero con efectos positivos corresponde a la preparación de placas. El impacto en la preparación de placas no ha sido mencionado como relevante en estudios anteriores. Por otro lado la limpieza de maquinaria y el transporte interno no mostraron resultados significativos en el proceso de ningún tipo. Esto puede deberse al bajo insumo de recursos en comparación con la operación de impresión y preparación de placas.

La metodología Impact 2002+ y ReCiPe coincidieron también en el impacto que tiene la electricidad en el proceso por su potencial de degradar el medio ambiente. La electricidad dominó el consumo de gas natural y carbón, y contribuyó significativamente a las

emisiones de la atmósfera de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>. Se encontraron otras emisiones generadas por la electricidad tales como SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que han sido cuestiones de interés por aumentar el calentamiento global y alterar los ecosistemas (Galloway 1995), pero no fueron evaluadas por ambas metodologías o no tuvieron un impacto mayor al 1%. El consumo de electricidad ya ha sido tema de discusión en ACV anteriores de otros productos por la magnitud del efecto que tiene sobre el perfil ambiental (Jensen et al. 1998; Vilela & Demajorovic 2006). Bajo los criterios establecidos por la CFE y el recibo de electricidad, la imprenta se encuentra dentro de sus parámetros de consumo normal, sin embargo ambas metodologías muestran que el consumo es suficiente para degradar el medio ambiente de manera significativa.

La huella ambiental también se vio afectada por el papel. Tal y como afirmó Bousquin et al. (2012), el papel fue entre los principales consumidores de energía para su producción, en el inventario de sustancias, dominó el agotamiento del petróleo crudo y contribuyó también a las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el uso de suelo. Los escenarios de análisis de sensibilidad demuestran que el papel es una variable que puede cambiar fácilmente los resultados. Si el reciclado no se produce durante el proceso, la operación de impresión se convierte en el impacto potencial más alto como se ve en el análisis de sensibilidad. Un estudio realizado por Lavin (2008) obtuvo las mismas conclusiones. Schmidt et al (2007) también señala que, específicamente para el papel, la forma de manejar este recurso podría influir en los resultados del ACV.

Otra materia prima demandante de energía fueron las placas. Esta materia prima fue responsable del agotamiento del aluminio a pesar de tener resultados con números negativos por su reciclaje. Un ACV realizado a un periódico francés menciona que la fabricación de placas con aluminio reciclado mejora los impactos ambientales ya que se ahorra mucha energía y el flujo de basura disminuye en un 51% (Rafenberg & Eric 1998). El reciclaje de las placas deberá continuar para el uso eficiente del recurso no renovable y evitar los impactos ambientales derivados de la fabricación.

Además del consumo de recursos mencionados, el método ReCiPe punto final (H) identificó también como significativo el transporte de la materia prima hacia la imprenta. No todo el transporte puede impactar en el ciclo de vida del producto, Jørgensen et al.

(1996) sugiere especial atención cuando se trata del transporte de materia prima o productos reciclables ya que es donde sus contribuciones pueden representar un porcentaje importante en las emisiones y uso de combustibles. Para el estudio, solo la transportación de materia prima de ciudades externas fue considerada. Casualmente, son los recursos de uso intensivo los que se transportan de otras ciudades, por lo tanto el problema puede deberse a las largas distancias o el número de viajes necesarios para abastecer el material.

Otra variable importante solo para ReCiPe punto final (H) fue el empaque de placas de aluminio. Este empaque tiene altos volúmenes de materia en comparación con el resto de las materias primas. Para otros casos de estudio el empaque no es relevante, por ejemplo, en una revisión de ACV en el sector de la impresión, se encontró que de 14 estudios sólo 5 consideraron el empaque (Bousquin et al. 2012; Larsen, Hauschild & Hansen 2006; Rafenberg & Eric 1998). Aun así ya existen países desarrollados, como Nueva Zelanda, donde dentro de los criterios de licencia (Environmental\_choice 2014) el empaque es una cuestión relevante por el flujo de desperdicios que puede llegar a generarse. Es importante resaltar que el empaque de placas en el modelo alcanzó un nivel de impacto relevante a pesar de no contar con datos completos en los insumos corriente arriba.

Dentro de la evaluación de impacto, el agente de limpieza, el solvente dieléctrico, la goma arábica y la solución de la fuente no reflejaron resultados relevantes en la mayoría de las categorías, solo para cancerígenos en Impact 2002+ y con efectos positivos. No se debe olvidar que una limitación del estudio fue falta de cuantificación de COV's en la empresa. Haber considerado los COV's dentro del estudio pudo haber cambiado los resultados de la categoría de carcinógenos a efectos adversos para la salud según la experiencia de Larsen et al. (2009), ya que afirma que los impactos pueden cambiar al considerar los químicos con alto nivel de emisiones en el proceso. Para el caso de estudio, sólo la tinta representó un potencial significativo en la mayoría de las categorías dentro del proceso, tal y como había sido demostrado en otro estudio por Larsen et al. (2006); no obstante, era el único químico que se encontraba en la base de datos, de manera que abarcaría una cuantificación de entradas y salidas más completa.

Las actividades y recursos mencionados son las variables con mayor capacidad de efecto en el sistema y potencial para darle valor agregado al material impreso. Mismo así, mejoras en el resto de las variables involucradas no deben de descartarse y siempre buscar la mejora continua, hasta alcanzar cero emisiones y cero desperdicios para lograr un desarrollo más sustentable. Responsabilizarnos de nuestras acciones y actuar con soluciones concretas locales, hasta alcanzar una coordinación a nivel internacional de manera simultánea, permitirá contrarrestar los daños ambientales correspondientes a nuestro país y así contribuir proporcionalmente a contrarrestar los problemas globales asociados con la crisis ambiental que enfrentamos hoy en día.

## VIII. CONCLUSIONES

Se realizó un ACV de la cuna a la puerta para identificar los impactos ambientales en cada una de las fases del material impreso como soporte a la toma de decisiones que mejoren el perfil ambiental de la empresa. Para la evaluación se utilizaron dos metodologías diferentes para comparar resultados y darle mayor robustez al caso de estudio. Los resultados fueron los siguientes:

- ✓ Las categorías de impacto con mayor efecto son: la ocupación del suelo (ecosistemas), uso de la energía no renovable o agotamiento fósil (recursos), la radiación ionizante (salud humana) y el calentamiento global.
- ✓ Las categorías de daño con mayor efecto: la salud humana y los recursos
- ✓ La actividad con mayor efecto negativo para el medio ambiente: la operación de impresión.
- ✓ La actividad con mayor efecto positivo para el medio ambiente: preparación de placas.
- ✓ Recursos con mayor potencial de mejorar el perfil ambiental: electricidad, papel y tintas.

Los resultados fueron muy similares entre ambas metodologías, a pesar de discrepar en la evaluación de diferentes categorías de impacto y valores de categorización. El estudio se encontró limitado a bases de datos con información completa y actualizada que podrían alterar los resultados finales de impacto ambiental. Además hubo falta de información de procesos para la producción de materia prima corriente arriba.

El ACV permitió identificar los puntos clave de las diferentes fases del proceso del producto que mayor efecto tienen sobre el medio ambiente. La metodología basada en Plataforma Europea sobre ACV permitió llevar a cabo el estudio de manera ordenada y bajo un esquema que facilita su comparación con productos con la misma función mediante la unidad funcional. Mismo así, la metodología se presta a decisiones subjetivas que pueden afectar los resultados considerablemente. Una forma de sobrellevar la subjetividad es el uso de softwares, ya que facilitan el manejo de datos para obtener un análisis más robusto y concluir con argumentos más objetivos.

## IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar bases de datos con información actualizada sobre las entradas y salidas de la generación de electricidad, ya que es una variable con mucho efecto dentro del proceso de cualquier producto o servicio. Además, obtener datos más precisos del consumo de electricidad para identificar áreas de oportunidades y lograr una mayor eficiencia energética.

Para estudios posteriores se recomienda cuantificar los compuestos volátiles derivados de las sustancias químicas que se utilizan en el proceso de impresión para obtener un marco más completo correspondiente a los daños ambientales y la salud humana, para obtener resultados que abarquen todos los impactos potenciales.

Es recomendable también, para ACV sobre productos de la imprenta, utilizar información de proveedores para obtener resultados más precisos de los procesos de fabricación de químicos, placas y empaque de materia prima. Modelar los procesos con información confiable sobre los insumos y emisiones generadas durante la producción de los recursos de uso intensivo en los procesos podrían desviar los resultados en otra dirección.

Para estudios de ACV en el estado de Sonora, se recomienda utilizar metodologías que evalúen el consumo de agua y le asignen mayor valor, debido a que es un recurso vital para la vida humana y muy escasa en dicha región, por lo que es un tema de preocupación para generaciones futuras.

Realizar un ACV completo de la cuna a la tumba en México para tener un marco completo de los impactos ambientales potenciales de la industria de la imprenta, entender el comportamiento de los usuarios e identificar otros puntos clave relevantes que será necesario mejorar para el desarrollo sustentable del país.

## X. REFERENCIAS

- Aranda, A, Zabalza, I, Martínez, A, Valero, A & Scarpellini, S 2006, 'El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial', *Fundación CONFEMETAL, Madrid*.
- Avouris, NM 1995, 'Cooperating knowledge-based systems for environmental decision support', *Knowledge-Based Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 39-54.
- Awuah-Offei, K & Adekpedjou, A 2011, 'Application of life cycle assessment in the mining industry', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 16, no. 1, pp. 82-9.
- Baitz, M, Kreißig, J, Byrne, E, Makishi, C, Kupfer, T, Frees, N, Bey, N, Söes Hansen, M, Hansen, A & Bosch, T 2004, 'Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials', *Commissioned by the European Commission*.
- Barnes\_Reports 2014, *Worldwide Printing Industry-Industry Market report*.
- Bengtsson, M & Steen, B 2000, 'Weighting in LCA—approaches and applications', *Environmental progress*, vol. 19, no. 2, pp. 101-9.
- Bicalho, T, Richard, J & Bessou, C 2012, 'Limitations of LCA in environmental accounting for biofuels under RED', *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 218-34.
- Björklund, A 2012, 'Life cycle assessment as an analytical tool in strategic environmental assessment. Lessons learned from a case study on municipal energy planning in Sweden', *Environmental impact assessment review*, vol. 32, no. 1, pp. 82-7.
- Björklund, AE 2002, 'Survey of approaches to improve reliability in LCA', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 7, no. 2, pp. 64-72.
- Blengini, GA 2008, 'Applying LCA to organic waste management in Piedmont, Italy', *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 19, no. 5, pp. 533-49.
- Bousquin, J, Gambeta, E, Esterman, M & Rothenberg, S 2012, 'Life cycle assessment in the print industry: A Critical review', *Journal of Industrial ecology*.
- Bulbulyan, MA, Ilychova, SA, Zahm, SH, Astashevsky, SV & Zaridze, DG 1999, 'Cancer mortality among women in the Russian printing industry', *American journal of industrial medicine*, vol. 36, no. 1, pp. 166-71.
- Cahill, V 2005, *Introduction to digital printing technology*, Retrieved March.
- Calvente, AM 2007, 'El concepto moderno de sustentabilidad'.
- Canonico, S, Sellman, R & Preist, C 2009, 'Reducing the greenhouse gas emissions of commercial print with digital technologies', paper presented to Sustainable Systems and Technology, 2009. ISSST'09. IEEE International Symposium on.
- Caravantes, RED & Healy, EC 2005, 'El agua en Sonora: tan cerca y tan lejos. Estudio de caso del ejido Molino de Camou', *Región y Sociedad*, vol. 17, no. 34.
- Carstensen, M & Morris, D 1997, 'Biochemicals for the Printing Industry', *Institute for Local Self-Reliance, Minneapolis, MN*.
- Casamayor, JL & Su, D 2013, 'Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products', *Journal of Cleaner Production*.
- CEFIC 2012, *Sustainability of products - What it's all about*.
- Cellura, M, Ardente, F & Longo, S 2012, 'From the LCA of food products to the environmental assessment of protected crops districts: A case-study in the south of Italy', *Journal of environmental management*, vol. 93, no. 1, pp. 194-208.
- Cellura, M, Longo, S & Mistretta, M 2011, 'Sensitivity analysis to quantify uncertainty in life cycle assessment: the case study of an Italian tile', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4697-705.
- Chacón, JR 2008, 'INGENIERÍA INDUSTRIAL Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)', *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, vol. 72, pp. 37-70.
- Chea, AC 2009, 'Causes and Sources of Waste in the Printing Industry in Ghana: A Study of Printing Houses in the Cities of Accra and Kumasi', *International Business Research*, vol. 1, no. 3, p. P22.
- Chen, J, Wang, Y, Xie, J, Meng, C, Wu, G & Zu, Q 2012, 'Concept of heat-induced inkless eco-printing', *Carbohydrate Polymers*, vol. 89, no. 3, pp. 849-53.
- Chon, T-S & Park, Y-S 2006, 'Ecological informatics as an advanced interdisciplinary interpretation of ecosystems', *Ecological Informatics*, vol. 1, no. 3, pp. 213-7.
- Comisión Europea 2013, *Life Cycle Assessment (LCA), based on ISO 14040 series* European Commission, viewed 20/III/2013 <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/lcaPage.vm>>.

- Counsell, TA & Allwood, JM 2007, 'Reducing climate change gas emissions by cutting out stages in the life cycle of office paper', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 49, no. 4, pp. 340-52.
- Crul, M & Diehl, J 2006, *Design for Sustainability: A practical approach for developing economies*, UNEP/Earthprint.
- Deetman, S & Odegard, I 2009, 'Scanning Life Cycle Assessment of Printed and E-paper Documents based on the iRex Digital Reader', *CML, Leiden University, The Netherlands*.
- Delfín-Alcalá, I & Duran-de-Bazua, C 2003, 'Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por Pleurotus', *Rev Int Contam Ambient*, vol. 19, no. 1, pp. 37-45.
- Dharavath, HN & Hahn, K 2009, 'Green Printing: Colorimetric and Densitometric Analysis of Solvent-based and Vegetable Oil-based Inks of Multicolor Offset Printing', *Journal of Technology Studies*, vol. 35, no. 2.
- Dias, AC, Arroja, L & Capela, I 2007, 'Life cycle assessment of printing and writing paper produced in Portugal', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 12, no. 7, pp. 521-8.
- Dias, AC, Louro, M, Arroja, L & Capela, I 2004, 'Evaluation of the environmental performance of printing and writing paper using life cycle assessment', *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 15, no. 5, pp. 473-83.
- Duda, M & Shaw, JS 1997, 'Life cycle assessment', *society*, vol. 35, no. 1, pp. 38-43.
- Ekvall, T 2002, 'Cleaner production tools: LCA and beyond', *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, no. 5, pp. 403-6.
- Enroth, M 2001, 'Tools for Eco-efficiency in the Printing Industry', *Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, KTH, Sweden*.
- Environmental\_choice 2014, *The New Zealand ecolabelling trust: Licence criteria for packaging and paperboard products*, Environmental Choice New Zealand.
- EPA 1998, *Extended Product Responsibility, A Strategic Framework for Sustainable Products*, United States Environmental Protection Agency, <<http://www.epa.gov/wastes/conservation/tools/stewardship/docs/epbrochure.pdf>>.
- EU-JRC-IES 2010, *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*, First edition March 2010 edn, Publications Office of the European Union, EUR 24379 EN. Luxembourg, . <[http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page\\_id=86](http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=86)>.
- Finnveden, G, Hauschild, MZ, Ekvall, T, Guinée, J, Heijungs, R, Hellweg, S, Koehler, A, Pennington, D & Suh, S 2009, 'Recent developments in life cycle assessment', *Journal of environmental management*, vol. 91, no. 1, pp. 1-21.
- Fiori, S 2006, *Diseño industrial sustentable. Una percepción desde las Ciencias Sociales*, Editorial Brujas.
- Fletcher, K & Dewberry, E 2002, 'Demi: a case study in design for sustainability', *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 3, no. 1, pp. 38-47.
- Frischknecht, R & Rebitzer, G 2005, 'Theecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database', *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, no. 13, pp. 1337-43.
- Galloway, J 1995, 'Acid deposition: perspectives in time and space', *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 85, no. 1, pp. 15-24.
- Goedkoop, M & Oele, M 2004, 'SimaPro 6—Introduction to LCA with SimaPro', *Amersfoort, the Netherlands: PRé Consultants*.
- Goedkoop, M, Oele, De Schryver, A, Vieira, M 2014, *SimaPro Database Manual, Methods library*.
- González, V 2009, 'Radiactividad y Salud', paper presented to Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia.
- Hauschild, M, Jeswiet, J & Alting, L 2005, 'From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives', *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 2, pp. 1-21.
- Heijungs, R, Huppes, G & Guinée, JB 2010, 'Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis', *Polymer Degradation and Stability*, vol. 95, no. 3, pp. 422-8.
- Hertwich, EG 2005, 'Life cycle approaches to sustainable consumption: a critical review', *Environmental science & technology*, vol. 39, no. 13, pp. 4673-84.
- Hilty, LM, Arnfalk, P, Erdmann, L, Goodman, J, Lehmann, M & Wäger, PA 2006, 'The relevance of information and communication technologies for environmental sustainability—A prospective simulation study', *Environmental Modelling & Software*, vol. 21, no. 11, pp. 1618-29.

- Hischier, R, Weidema, B, Althaus, H-J, Bauer, C, Doka, G, Dones, R, Frischknecht, R, Hellweg, S, Humbert, S, Jungbluth, N, Köllner, T, Loerincik, Y, Margni, M & Nemecek, T 2010, *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods* Dübendorf.
- Horne, RE, Grant, T & Verghese, KL 2009, *Life cycle assessment: principles, practice and prospects*, Csiro Publishing.
- Hortal, M 2007, *La importancia de realizar un análisis de ciclo de vida de forma electrónica*, IMPIVA DISSENEY, viewed 30/IX/2013 <<http://www.impivadisseny.es/es/desarrollo-de-producto/proyecto/la-importancia-de-realizar-el-analisis-de-ciclo-de-vida-de-forma-electronica.html>>.
- Hueting, R 2010, 'Why environmental sustainability can most probably not be attained with growing production', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 6, pp. 525-30.
- Humbert, S, De Schryver, A, Margni, M & Jolliet, O 2012, 'IMPACT 2002+: User Guide', *Draft for version Q*, vol. 2.
- i Canals, LM, Clift, R, Basson, L, Hansen, Y & Brandão, M 2006, 'Expert Workshop on Land Use Impacts in Life Cycle Assessment. 12–13 June 2006 Guildford, Surrey (UK)', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, no. 5, pp. 363-8.
- Ivanez, JM 2000, *Gestión del Diseño en la Empresa*, Primera edn, MCGRAW-HILL, España.
- Jensen, AA, Hoffman, L, Møller, B, Schmidt, A, Christiansen, K, Elkington, J & Van Dijk, F 1998, *Life Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources*, European Environment Agency.
- Jensen, AA, Hoffman, L, Møller, BT & Schmidt, A 1997, *Life Cycle Assessment*, European Environment Agency.
- Jolliet, O, Margni, M, Charles, R, Humbert, S, Payet, J, Rebitzer, G & Rosenbaum, R 2003, 'IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 8, no. 6, pp. 324-30.
- Jørgensen, A-MM, Ywema, PE, Frees, N, Exner, S & Bracke, R 1996, 'Transportation in LCA', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 1, no. 4, pp. 218-20.
- Kadam, S, Evans, MA & Rothenberg, S 2005, 'A Comparative study of the environmental aspects of lithographic and digital printing processes'.
- Ketola, T & Salmi, T 2010, 'Sustainability life cycle comparison of biofuels: sewage the saviour?', *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 21, no. 6, pp. 796-811.
- Kiurski, J, Marić, B, Adamović, D, Mihailović, A, Grujić, S, Oros, I & Krstić, J 2012, 'Register of hazardous materials in printing industry as a tool for sustainable development management', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 660-7.
- Kloepffer, W 2008, 'Life cycle sustainability assessment of products', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 13, no. 2, pp. 89-95.
- Larsen, HF 2012, 'Case study on printed matter in Denmark', in *Global Risk-Based Management of Chemical Additives I*, Springer, pp. 167-81.
- Larsen, HF, Hansen, MS & Hauschild, M 2009, 'Life cycle assessment of offset printed matter with EDIP97: how important are emissions of chemicals?', *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, no. 2, pp. 115-28.
- Larsen, HF, Hauschild, MZ & Hansen, MS 2006, *Ecolabelling of printed matter. Part II: Life cycle assessment of model sheet fed offset printed matter*, 8770521743, Ministry for Environment and Energy, Environmental Protection Agency.
- Lavin, JJ 2008, 'Recycled Paper vs. Virgin Paper'.
- Lewis, H, Gertsakis, J, Grant, T, Morelli, N & Sweatman, A 2001, *Design+ environment: a global guide to designing greener goods*, Greenleaf Sheffield.
- Lifset, RJ 2006, 'Industrial Ecology and Life Cycle Assessment: What's the Use?', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, pp. 14-6.
- López Sardi, EM 2007, 'Fabricación de pasta de celulosa. Aspectos técnicos y contaminación ambiental'.
- López, VM 2008, 'Sustentabilidad y desarrollo sustentable: origen precisiones conceptuales y metodología operativa', *Trillas, México*, vol. 220.
- Maji, CS & Bhaskarwar, AN 2003, 'Pollution-preventing anionic lithographic inks', *Journal of hazardous materials*, vol. 105, no. 1, pp. 103-19.
- Matutinović, I 2006, 'Mass migrations, income inequality and ecosystems health in the second wave of a globalization', *Ecological Economics*, vol. 59, no. 2, pp. 199-203.

- Miller, G, Burke, J, McComas, C & Dick, K 2008, 'Advancing pollution prevention and cleaner production—USA's contribution', *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 6, pp. 665-72.
- Muñoz, J & Parra, C 2012, 'Ecología industrial y desarrollo humano integral sustentable. Dinámica social, ambiental y económica', *Gestión y Sociedad*, vol. 5.
- Naranjo-García, E 2003, *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*, Unam.
- NCASI 2011, *Summary of the Literature on the Treatment of Paper and Paper Packaging Products Recycling in Life Cycle Assessment*, National Council for Air and Stream Improvement.
- Ossés de Eicker, M, Hischer, R, Hurni, H & Zah, R 2010, 'Using non-local databases for the environmental assessment of industrial activities: The case of Latin America', *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 30, no. 3, pp. 145-57.
- Ossés de Eicker, M, Hischer, R, Kulay, LA, Lehmann, M, Zah, R & Hurni, H 2010, 'The applicability of non-local LCI data for LCA', *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 30, no. 3, pp. 192-9.
- Penna, CC & Geels, FW 2012, 'Multi-dimensional struggles in the greening of industry: A dialectic issue lifecycle model and case study', *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 79, no. 6, pp. 999-1020.
- PIC-RIT 2007, 'Emerging Global Print Markets: Mexico', *Printing Industry at RIT*.
- Pihkola, H, Nors, M, Kujanpää, M, Helin, T, Kariniemi, M, Pajula, T, Dahlbo, H & Koskela, S 2010, 'Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave', *Results from the LEADER project (Part 1). Espoo*.
- PWC 2010, *Life Cycle Assessment and Forest Products: A White Paper* <[http://feel-good.ca/library/publications-pulp-and-paper/fpac-lca-white-paper\\_final.PDF](http://feel-good.ca/library/publications-pulp-and-paper/fpac-lca-white-paper_final.PDF)>.
- Rafenberg, C & Eric, M 1998, 'Life cycle analysis of the newspaper Le Monde', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 3, no. 3, pp. 131-44.
- Rebitzer, G 2005, 'Enhancing the application efficiency of life cycle assessment for industrial uses', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 10, no. 6, pp. 446-.
- Rios, JA, Arcos, OF & Aristizabal, G 2011, 'TRATAMIENTO DE AGUAS DEL LAVADO DE IMPRESORAS DE LA INDUSTRIA PAPELERA MEDIANTE PROCESO FENTON', *Revista Investigaciones Aplicadas*, vol. 5, no. 1, pp. 42-50.
- Romero, B 2003, 'El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental', *Boletín IIE* 3, pp. 91-7.
- Roy, P, Nei, D, Orikasa, T, Xu, Q, Okadome, H, Nakamura, N & Shiina, T 2009, 'A review of life cycle assessment (LCA) on some food products', *Journal of Food Engineering*, vol. 90, no. 1, pp. 1-10.
- Santoyo-Castelazo, E, Gujba, H & Azapagic, A 2011, 'Life cycle assessment of electricity generation in Mexico', *Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 1488-99.
- Schleicher, U 1996, 'The uses of life cycle assessment for European Legislation', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 1, no. 1, pp. 42-4.
- Schmidt, JH 2014, *Personal communication*, email data: 27/XI/2014.
- Schmidt, JH 2012, *LCA tool for plastics converters in Denmark - Documentation of the tool and database*, Plastindustrien, Copenhagen.
- Schmidt, JH, Holm, P, Merrild, A & Christensen, P 2007, 'Life cycle assessment of the waste hierarchy—a Danish case study on waste paper', *Waste Management*, vol. 27, no. 11, pp. 1519-30.
- Sharma, A, Iyer, GR, Mehrotra, A & Krishnan, R 2010, 'Sustainability and business-to-business marketing: A framework and implications', *Industrial Marketing Management*, vol. 39, no. 2, pp. 330-41.
- Shayan, A, Murad, G, Postlethwaite, I, Gu, DW, Anastas, PT & Breen, JJ 1997, 'Design for the environment and green chemistry: the heart and soul of industrial ecology', *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, no. 1, pp. 97-102.
- Silgado, C 2013, *The printing industry in Latin America in 2014: the challenge of achieving sustainable growth*.
- Spangenberg, JH, Fuad-Luke, A & Blincoe, K 2010, 'Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption', *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 15, pp. 1485-93.
- Statistics, IEA. 2012, 'CO2 emissions from fuel combustion-highlights', IEA, Paris <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>. Cited July.
- Steen, B 2005, 'Environmental costs and benefits in life cycle costing', *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 107-18.
- Svendsen, K & Rognes, KS 2000, 'Exposure to organic solvents in the offset printing industry in Norway', *The Annals of occupational hygiene*, vol. 44, no. 2, pp. 119-24.

- Svoboda, S 1999, 'Note on life cycle analysis', *Environmental management: Readings and cases*, pp. 234-9.
- Thabrew, L, Wiek, A & Ries, R 2009, 'Environmental decision making in multi-stakeholder contexts: applicability of life cycle thinking in development planning and implementation', *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, no. 1, pp. 67-76.
- Udo de Haes, HA & Heijungs, R 2007, 'Life-cycle assessment for energy analysis and management', *Applied Energy*, vol. 84, no. 7, pp. 817-27.
- UNEP N.D., *Design for Sustainability*, United Nations Environment Programme, viewed 7/IV/2013 <<http://www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/Eco-Innovation/DesignforSustainability/tabid/78845/Default.aspx>>.
- UNEP & SETAC 2005, *Life Cycle Approaches, A Road from Analysis to Practice*, United Nations Environment Programme Society of Environmental Toxicology and Chemistry
- UNEP & SETAC 2011, *Towards a Life Cycle Sustainable Assessment*, United Nations Environment Programme Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- UNEP & TUDelft 2007, *Diseño para la Sostenibilidad*, United Nations for Environmental Programme Delft University of Technology, 978-92-807-2915-3.
- Unger, N, Beigl, P & Wassermann, G 2004, 'General requirements for LCA software tools', *Institute of Waste Management, BOKU–University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna Austria*.
- US\_EPA 1995, *EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the printing and publishing industry*, vol. 14, Office of Compliance, Office of Enforcement and Compliance Assurance, US Environmental Protection Agency.
- Velazquez, L, Munguia, N & Platt, A 2000, 'Fostering P2 practices in northwest Mexico through inter-university collaboration', *Journal of Cleaner Production*, vol. 8, no. 5, pp. 433-7.
- Vilela, A & Demajorovic, J 2006, *Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações*, Senac, São Paulo.
- Virtanen, Y & Nilsson, S 2013, *Environmental impacts of waste paper recycling*, Routledge.
- Walley, N & Whitehead, B 1994, 'It's not easy being green', *The Earthscan reader in business and the environment*, pp. 36-44.
- Weidema, BP 2009, 'Using the budget constraint to monetarise impact assessment results', *Ecological economics*, vol. 68, no. 6, pp. 1591-8.
- Wenzel, H, Hauschild, MZ & Alting, L 2000, *Environmental Assessment of Products: Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development*, vol. 1, Springer.
- Wenzel, H, Wesnæs, M & Dall, O 2009, *Consequential Life Cycle Assessment*, University of Southern Denmark.
- Wikina, SB, Thompson, CC & Blackwell, E 2010, 'Resourceful Thinking about Printing and Related Industries: Economic Considerations and Environmental Sustainability', *Journal of Technology Studies*, vol. 36, no. 2.
- Willis, J N.D., *Digital or Litho?*, The Self Publishing Magazine, 18/XII/2013, <<http://www.selfpublishingmagazine.co.uk/images/articles/4-6-Parry.pdf>>.
- Yuracko, KL & Morris, MI 2001, 'Better D&D decision making through life cycle analysis', *Environmental Management and Health*, vol. 12, no. 3, pp. 312-23.
- Zabalza, I, Scarpellini, S, Aranda, A, Llera, E & Jáñez, A 2013, 'Use of LCA as a Tool for Building Ecodesign. A Case Study of a Low Energy Building in Spain', *Energies*, vol. 6, no. 8, pp. 3901-21.
- Zarwan\_Partners 2009, *The environmental impact of a printing plate*, Charlottetown, Canada, <[http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Plates\\_and\\_Consumables/Plates/Digital Offsets\\_Plates/THERMAL\\_DIRECT\\_Plate/Tab\\_Contents/EnvironmentalImpactofaPlate\\_J.Zarwan.pdf](http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Plates_and_Consumables/Plates/Digital_Offsets_Plates/THERMAL_DIRECT_Plate/Tab_Contents/EnvironmentalImpactofaPlate_J.Zarwan.pdf)>.
- Zbiciński, I, Stavenuiter, J, Kozłowska, B & Van de Coevering, HPM 2006, *Product design and life cycle assessment*, vol. 3, Baltic University Press.

## XI. Anexos

### Anexo 1. Inventario de Resultados con mayor impacto de Salud Humana de Impact 2002+

Sustancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
Total		-1.29E-02	2.30E-04	5.89E-02	-7.20E-02	-8.03E-05
Sustancias Restantes		6.87E-05	-1.19E-05	5.86E-04	-5.05E-04	-8.50E-07
Dioxina, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Aire	2.72E-03	-1.78E-05	3.13E-03	-3.84E-04	-6.81E-06
Óxidos de Nitrogeno	Aire	7.59E-04	1.77E-04	1.12E-02	-1.07E-02	3.80E-05
Zinc	Suelo	5.57E-04	1.84E-06	8.88E-04	-3.38E-04	5.21E-06
Arsenico	Suelo	4.44E-04	1.13E-05	6.06E-04	-1.76E-04	3.16E-06
Ammoniaco	Aire	1.44E-04	2.69E-05	2.99E-04	-1.84E-04	2.33E-06
Radon-222	Aire	1.33E-04	-8.34E-08	1.01E-04	3.26E-05	-2.56E-07
Hidrocarburos aromáticos	Aire	-2.17E-04	-6.19E-04	3.41E-03	-2.88E-03	-1.20E-04
Dióxido de azufre	Aire	-2.98E-04	2.91E-05	1.11E-02	-1.15E-02	-5.02E-06
Benzo (a) pireno	Aire	-1.12E-03	2.85E-05	3.93E-05	-1.19E-03	-3.22E-08
HAP, hidrocarburos aromáticos policíclicos	Aire	-1.69E-03	1.46E-05	8.07E-05	-1.79E-03	1.61E-07
Arsénico	Agua	-4.76E-03	1.92E-05	1.13E-04	-4.90E-03	-9.87E-07
Partículas, < 2.5 um	Aire	-9.67E-03	5.71E-04	2.73E-02	-3.75E-02	5.30E-06

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: DALY

**Anexo 2. Inventario de Resultados con mayor impacto de Calidad de los Ecosistema de Impact 2002+**

<b>Substancia</b>	<b>Compartimento</b>	<b>Total</b>	<b>Limpieza de Maquinaria</b>	<b>Op. Impresión</b>	<b>Preparación de Placas</b>	<b>Transporte Interno</b>
Total		9.12E-03	1.83E-04	1.50E-02	-6.13E-03	4.47E-05
Substancias restantes		1.62E-04	3.13E-05	1.22E-03	-1.10E-03	4.66E-06
Aluminio	Suelo	3.30E-03	8.66E-05	4.58E-03	-1.39E-03	2.39E-05
Ocupación, bosque, intensiva	Materia Prima	2.36E-03	3.37E-07	4.23E-03	-1.87E-03	3.63E-08
Zinc	Suelo	1.31E-03	1.02E-05	2.62E-03	-1.33E-03	1.53E-05
Ocupación, zona de tráfico, ferrocarril / carretera terraplén	Materia Prima	1.14E-03	6.92E-09	1.12E-03	2.00E-05	7.44E-09
Ocupación, cultivo permanente	Materia Prima	9.25E-04	1.28E-04	8.04E-04	-6.42E-06	6.59E-10
Aluminio	Aire	2.94E-04	7.38E-06	6.25E-04	-3.37E-04	-9.07E-07
Ocupación, cultivable, de secano, intensiva	Materia Prima	-1.65E-04	-2.26E-05	-1.40E-04	-2.51E-06	1.08E-11
Cobre	Suelo	-2.00E-04	-5.76E-05	-2.34E-05	-1.21E-04	1.75E-06

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: PDF \*m<sup>2</sup>\*a

**Anexo 3. Inventario de Resultados con mayor impacto de Cambio Climático de Impact 2002+**

Substancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
Total		-9.19E-04	3.33E-04	3.31E-02	-3.44E-02	4.89E-05
Substancias Restantes		-5.32E-06	7.31E-07	1.98E-05	-2.59E-05	-9.37E-09
Dióxido de carbono, transformación del suelo	Aire	2.17E-03	2.85E-04	1.89E-03	-3.96E-06	-1.72E-07
Dióxido de carbono, fósil	Aire	1.80E-03	5.10E-05	2.93E-02	-2.76E-02	4.21E-05
Metano, fósil	Aire	4.80E-04	-1.95E-05	1.11E-03	-6.13E-04	3.74E-06
Óxido nitroso	Aire	3.38E-04	1.35E-05	3.90E-04	-6.88E-05	3.08E-06
Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Aire	1.27E-04	-8.12E-06	1.36E-04	-1.62E-07	-9.24E-11
Monóxido de carbono, fósil	Aire	-1.59E-04	3.25E-06	4.89E-05	-2.11E-04	9.82E-08
Etano, hexafluoro, HFC-116	Aire	-2.89E-04	1.44E-06	1.51E-06	-2.92E-04	-8.62E-11
Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Aire	-1.05E-03	5.23E-06	5.45E-06	-1.06E-03	-3.12E-10
Hexafluoruro de azufre	Aire	-4.34E-03	8.80E-07	1.33E-04	-4.47E-03	2.80E-08

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: kg CO<sub>2</sub>-eq

**Anexo 4. Inventario de Resultados con mayor impacto de Recursos de Impact 2002+**

Substancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
Total		1.57E-02	1.72E-03	3.52E-02	-2.20E-02	6.85E-04
sustancias restantes		-5.66E-06	5.64E-06	1.01E-05	-2.13E-05	-1.20E-07
Petróleo, crudo	Materia Prima	6.54E-03	2.09E-03	9.88E-03	-6.11E-03	6.75E-04
Uranio	Materia Prima	4.73E-03	-4.14E-05	3.71E-03	1.08E-03	-8.55E-06
Carbón, duro	Materia Prima	3.91E-03	1.19E-04	1.23E-02	-8.47E-03	-6.52E-06
Gas natural / m3	Materia Prima	2.35E-03	-4.61E-04	8.48E-03	-5.70E-03	2.74E-05
Aluminio	Materia Prima	-3.92E-04	1.98E-06	3.68E-06	-3.98E-04	1.88E-10
Carbón, marrón	Materia Prima	-1.47E-03	6.26E-06	8.97E-04	-2.37E-03	-2.93E-06

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: MJ

**Anexo 5. Inventario de Resultados con mayor impacto de Salud Humana de ReCiPe Punto Final**

Sustancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
total		-3.60E-03	5.77E-04	5.60E-02	-6.03E-02	6.02E-05
sustancias restantes		-3.08E-06	8.62E-06	5.98E-04	-6.12E-04	1.50E-06
Dióxido de carbono, transformación del suelo	Aire	2.21E-03	2.89E-04	1.92E-03	-4.02E-06	-1.74E-07
Dióxido de carbono, fósil	Aire	1.83E-03	5.18E-05	2.98E-02	-2.81E-02	4.28E-05
Metano, fósil	Aire	1.18E-03	-4.79E-05	2.72E-03	-1.50E-03	9.18E-06
Óxido nitroso	Aire	6.55E-04	2.62E-05	7.57E-04	-1.33E-04	5.97E-06
Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Aire	3.10E-04	-1.98E-05	3.30E-04	-3.93E-07	-2.25E-10
Óxidos de nitrógeno	Aire	2.53E-04	5.91E-05	3.76E-03	-3.57E-03	1.27E-05
Amoníaco	Aire	7.31E-05	1.37E-05	1.52E-04	-9.36E-05	1.18E-06
Radón-222	Aire	5.39E-05	-3.38E-08	4.08E-05	1.32E-05	-1.04E-07
Cloro	Aire	-6.60E-05	1.35E-07	-6.35E-05	-2.74E-06	3.12E-08
Selenio	Agua	-1.46E-04	8.75E-07	1.81E-04	-3.28E-04	-4.43E-07
Dióxido de azufre	Aire	-1.48E-04	1.44E-05	5.52E-03	-5.68E-03	-2.48E-06
Bario	Agua	-1.61E-04	-2.43E-05	1.82E-04	-3.13E-04	-5.80E-06
Mercurio	Aire	-1.75E-04	-2.89E-06	9.39E-05	-2.66E-04	2.03E-07
Etano, hexafluoro, HFC-116	Aire	-1.99E-04	9.96E-07	1.04E-06	-2.01E-04	-5.94E-11
Vanadio	Agua	-2.94E-04	1.63E-06	1.46E-05	-3.10E-04	-2.15E-08
Manganeso	Agua	-4.59E-04	2.48E-05	3.17E-03	-3.65E-03	-4.26E-06
Partículas, > 2,5 um, y <10um	Aire	-5.61E-04	5.60E-05	1.04E-03	-1.66E-03	1.61E-07
Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Aire	-8.78E-04	4.39E-06	4.58E-06	-8.87E-04	-2.62E-10
Arsénico	Agua	-9.29E-04	3.00E-06	4.05E-04	-1.34E-03	-1.29E-06
Fluoruro de hidrógeno	Aire	-1.17E-03	6.08E-06	2.61E-05	-1.21E-03	2.97E-08
Partículas, <2,5 um	Aire	-1.87E-03	1.10E-04	5.27E-03	-7.25E-03	1.02E-06
Hexafluoruro de azufre	Aire	-3.10E-03	6.29E-07	9.47E-05	-3.20E-03	2.00E-08

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: DALY

**Anexo 6. Inventario de Resultados con mayor impacto de Ecosistemas de ReCiPe Punto Final**

Sustancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
total		5.23E-03	1.04E-04	1.11E-02	-5.99E-03	4.89E-06
sustancias restantes		-2.92E-05	-6.71E-06	6.82E-05	-9.07E-05	-3.72E-08
Transformación, del bosque, extensa	Materia Prima	4.67E-03	-1.15E-07	8.19E-03	-3.53E-03	6.72E-08
Ocupación, bosque, intensiva	Materia Prima	3.84E-03	5.48E-07	6.88E-03	-3.05E-03	5.92E-08
Ocupación, zona de tráfico, ferrocarril / carretera terraplén	Materia Prima	4.18E-04	2.55E-09	4.10E-04	7.36E-06	2.74E-09
Transformación, del bosque, primario	Materia Prima	2.71E-04	3.74E-05	2.35E-04	-1.88E-06	1.93E-10
Ocupación, cultivo permanente	Materia Prima	1.96E-04	2.70E-05	1.70E-04	-1.36E-06	1.39E-10
Dióxido de carbono, la transformación del suelo	Aire	1.86E-04	2.44E-05	1.62E-04	-3.39E-07	-1.47E-08
Dióxido de carbono, fósil	Aire	1.54E-04	4.36E-06	2.51E-03	-2.36E-03	3.60E-06
Cipermetrina	Suelo	1.46E-04	2.01E-05	1.27E-04	-1.01E-06	1.04E-10
Metano, fósil	Aire	9.90E-05	-4.03E-06	2.29E-04	-1.26E-04	7.72E-07
Transformación, del bosque, intensiva	Materia Prima	5.71E-05	1.62E-06	5.56E-05	-7.41E-08	8.28E-13
Óxido nitroso	Aire	5.52E-05	2.20E-06	6.37E-05	-1.12E-05	5.03E-07
Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Aire	-7.43E-05	3.72E-07	3.87E-07	-7.51E-05	-2.22E-11
Hexafluoruro de azufre	Aire	-2.62E-04	5.31E-08	7.99E-06	-2.70E-04	1.69E-09
Transformación, al bosque, intensiva	Materia Prima	-4.50E-03	-3.65E-06	-8.01E-03	3.52E-03	-6.53E-08

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: Especies por año

**Anexo 7. Inventario de Resultados con mayor impacto de Recursos de ReCiPe Punto Final**

Sustancia	Compartimento	Total	Limpieza de Maquinaria	Op. Impresión	Preparación de Placas	Transporte Interno
Total		2.08E-02	4.78E-03	7.26E-02	-5.82E-02	1.61E-03
Sustancias restantes		2.18E-04	3.48E-04	9.20E-04	-1.05E-03	4.79E-07
Petróleo, crudo	Materia Prima	1.52E-02	4.87E-03	2.30E-02	-1.42E-02	1.57E-03
Carbón, duro	Materia Prima	9.10E-03	2.77E-04	2.85E-02	-1.97E-02	-1.52E-05
Gas natural / m3	Materia Prima	4.92E-03	-9.64E-04	1.78E-02	-1.19E-02	5.74E-05
Cromo	Materia Prima	-3.64E-04	9.99E-05	1.12E-04	-5.75E-04	-2.38E-08
Cobre, 0,99% en sulfuro, Cu 0,36% y Mo 8.2e-3% en el mineral crudo	Materia Prima	-3.94E-04	-8.78E-05	-8.51E-05	-2.19E-04	-2.20E-06
Aluminio	Materia Prima	-6.58E-04	3.33E-06	6.18E-06	-6.68E-04	3.16E-10
Carbón, marrón	Materia Prima	-3.43E-03	1.46E-05	2.09E-03	-5.53E-03	-6.82E-06
Manganeso	Materia Prima	-3.83E-03	2.23E-04	2.05E-04	-4.26E-03	1.24E-08

\* Unidades de la tabla para todo el inventario: \$ (dlls)

## **Anexo 8. Abreviaciones**

**ACV:** Análisis de ciclo de vida

**CFE:** Comisión Federal de Electricidad

**CTP:** Computer-to-plate (tipo de preparación de placas para proceso de impresión offset)

**DALY:** Disability Adjusted Life Years (años de vida ajustados por discapacidad)

**EICV:** Evaluación del impacto del ciclo de vida

**EPLCA:** por sus siglas en inglés - Plataforma Europea para la evaluación del ciclo de vida

**GLO:** datos promedios globales

**ICV:** Inventario del ciclo de vida

**kg sustancia s – eq:** kilogramos equivalentes referentes a la sustancia s

**MJ:** Mega joules

**PDF\*m<sup>2</sup>\*a:** Potentially Disappeared Fraction of species over a certain amount of m<sup>2</sup> during a certain amount of year (fracción de especies potencialmente desaparecidas en m<sup>2</sup> durante un año)

**PT:** point (punto = personas por año; Un "punto" representa el impacto promedio en una categoría específica causada por una persona durante un año en Europa)

**RER:** datos promedio de Europa

**ROW:** datos promedios del resto del mundo