



**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PROCESO DE IMPRESIÓN OFFSET,  
CALCOGRAFICA Y TIPOGRAFÍA MEDIANTE EL MÉTODO ReCiPe**

Zulma Esperanza Urian Pacasuca

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Asesor

John Dairo Zapata Ochoa, Magíster (MSc) en en Geografía Ingeniero Ambiental

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Gestión Ambiental  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

---

<b>Cita</b>	(Urian-Pacasuca, 2023)
<b>Referencia</b>	Urian Pacasuca, Z . E .(2023). <i>Análisis de ciclo de vida de proceso de impresión offset, calcográfica y tipográfica mediante el método ReCiPe</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Especialización en Gestión Ambiental



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

A mi familia, especialmente a mi hijo Gabriel, por su paciencia y acompañamiento durante este tiempo de formación.

## Tabla de contenido

Lista de tablas.....	5
Siglas, acrónimos y abreviaturas.....	6
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1 Planteamiento del problema.....	10
2 Antecedentes.....	11
3 Objetivos.....	14
4 Hipótesis.....	15
5 Marco teórico.....	16
6 Metodología.....	18
7 Resultados.....	20
8 Conclusiones.....	21

### **Lista de tablas**

Ilustración 1. Normas de referencia. Elaboración propia.....	18
Ilustración 2. resultados por categoría de impacto. Elaboración propia .....	20

### **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>APA</b>	American Psychological Association
<b>ACV</b>	Análisis de ciclo de vida
<b>Esp.</b>	Especialista
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>MSc</b>	Magister Scientiae
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

Desde 1970 el Análisis de Ciclo de Vida – ACV- pasó de ser un análisis energético a un análisis profundo de carga ambiental, desde 1980 y 1990 se ha introducido diferentes modelos de evaluación de impacto ambiental en los primeros años se enfocaban más en aspectos sociales posteriormente a abordado aspectos de sostenibilidad con el fin de disminuir las brechas de conocimiento y evolucionar hacia una Análisis de Sostenibilidad del Ciclo de Vida. El análisis de impactos ambientales permite sustentar de manera técnica el proceso de toma de decisiones de un proyecto y como herramienta preventiva busca brindar información a los directivos de las compañías sobre las posibles transformaciones ambientales que pudieran derivarse del desarrollo de su actividad. En la última década se pasó de establecer mejoras basadas en unidades funcionales a mejoras reales, en estos periodos se establecieron métodos como la ISO para estandarizar los métodos del ACV.

El proceso de impresión de papel moneda es una actividad crucial en la industria financiera, y entender su impacto ambiental a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida puede contribuir a mejorar la sostenibilidad y reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente. En esta investigación, se aplicará un enfoque de ciclo de vida, que consiste en evaluar las etapas clave del proceso impresión, desde la adquisición de materias primas hasta la disposición final de los residuos generados. Los resultados permitirán realizar una comparación de diferentes métodos y tecnologías utilizadas en el proceso de impresión de papel moneda, con el fin de determinar cuáles son las más eficientes y sostenibles desde una perspectiva ambiental. Los resultados obtenidos a través del análisis de ciclo de vida nos proporcionarán información valiosa para la toma de decisiones.

*Palabras clave:* análisis de ciclo de vida, proceso, impresión gráfica

### **Abstract**

Since 1970, the Life Cycle Assessment - LCA - went from being an energy analysis to a deep analysis of environmental load, since 1980 and 1990 different models of environmental impact assessment have been introduced, in the early years they focused more on social aspects and later on sustainability aspects in order to reduce the knowledge gaps and evolve towards a Life Cycle Sustainability Analysis.

The environmental impact analysis provides technical support for the decision-making process of a project and, as a preventive tool, seeks to provide information to company managers on the possible environmental transformations that could result from the development of their activity. In the last decade, the focus has shifted from establishing improvements based on functional units to real improvements, during which time methods such as ISO were established to standardize LCA methods.

The process of printing paper money is a crucial activity in the financial industry, and understanding its environmental impact throughout all stages of the life cycle can contribute to improve sustainability and reduce negative effects on the environment. In this research, a life cycle approach will be applied, which consists of assessing the key stages of the printing process, from the acquisition of raw materials to the final disposal of the waste generated. The results will allow a comparison of different methods and technologies used in the printing process of paper money, in order to determine which are the most efficient and sustainable from an environmental perspective. The results obtained through the life cycle analysis will provide valuable information for decision making.

*Keywords: Life cycle analysis, Process, Graphic printing,*

## Introducción

Este trabajo pretende realizar un Análisis de Ciclo de Vida – ACV, de un proceso de impresión offset, el proceso se ubica en la ciudad de Bogotá el objetivo principal es recopilar y analizar la información del proceso para establecer de manera detallada los impactos ambientales asociados al proceso de producción.

Los procesos productivos llevan consigo algunos impactos ambientales, sociales y económicos asociados y el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida- **ACV**, de los Billetes nos permitirá generar información desde el punto de vista ambiental de manera que se cuantifique el **impacto ambiental** asociado a cada etapa de producción, mediante el **ACV** se identificarán oportunidades para mejorar el desempeño ambiental del proceso respecto al aumento de la **temperatura por emisiones de agentes generadores de la capa de ozono, agotamiento de recursos (agua, energía y recursos naturales) y contaminación de fuentes de agua y/o suelo, etc.**

El análisis propuesto toma fuerza teniendo en cuenta que el **ACV** se concibe como fuente de información para la toma de decisiones, la planificación, el establecimiento de prioridades o tal vez el rediseño de productos.

Se propone realizar el **ACV**, mediante software Open LCA, dado que se encuentra que es una herramienta de la que se puede obtener información muy detallada de los resultados de cálculos y análisis además de tener mayor precisión sobre las categorías de impacto.

## **1 Planteamiento del problema**

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis de ciclo de vida del proceso de impresión de papel moneda, evaluando su impacto ambiental y social desde la extracción de los recursos naturales hasta el final de su vida útil.

Hipótesis: Se plantea la hipótesis de que el proceso de impresión de papel moneda tiene un impacto significativo en el medio ambiente debido a la alta demanda de energía, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos asociados a la etapa del ciclo de vida. Además, se hipotetiza que existen posibles mejoras y alternativas tecnológicas que podrían reducir el impacto ambiental del proceso de impresión de papel moneda sin comprometer su calidad y seguridad.

## 2 Antecedentes

Desde 1970 el Análisis de Ciclo de Vida – ACV- pasó de ser un análisis energético a un análisis profundo de carga ambiental, desde 1980 y 1990 se ha introducido diferentes modelos de evaluación de impacto ambiental de ciclo de vida, que en los primeros años se enfocaban más en aspectos sociales. Finalmente se ha llegado a abordar aspectos de sostenibilidad dentro del Análisis de Ciclo de Vida, la idea de este abordaje es identificar el conocimiento disponible y los modelos relacionados, para disminuir las brechas de conocimiento y evolucionar hacia una Análisis de Sostenibilidad del Ciclo de Vida. (Evaluación de ciclo de vida: pasado, s.f.)

El análisis de impactos ambientales permite sustentar de manera técnica el proceso de toma de decisiones de un proyecto nuevo o en desarrollo, el análisis de impacto como herramienta preventiva busca brindar información a los directivos de las compañías sobre las posibles transformaciones ambientales que pudieran derivarse del desarrollo de su actividad, además permite indicar las necesidades o esfuerzos que se requieren para determinar los efectos significativos, de esta manera en las diferentes compañías pueden definir estrategias que busque prevenir, mitigar, corregir o compensar. Estos estudios se remontan a los años 1960 y 1970 y generalmente se realiza de manera comparativa de manera que se puede definir que un producto es mejor que otro en términos de impacto ambiental.

En un sinnúmero de compañías se ha fomentado el uso del ACV, como un elemento central de la política ambiental o acciones voluntarias empresariales, además estos análisis han involucrado impactos más complejos como la biodiversidad el ruido, la economía y lo social.

A lo largo de la historia se han tenido los siguientes avances en materia de ACV:

“1970-1990: concepción del ACV con enfoque, terminología y resultados, se realizaban análisis con diferentes métodos y sin un marco teórico común, los resultados diferían mucho, incluso cuando los objetos de estudio eran los mismos, lo que impidió que la herramienta se convirtiera en una herramienta más aceptada y aplicada”. (Evaluación de ciclo de vida: pasado, s.f.)

“1990-2000: década de la Normalización durante este periodo se vio un crecimiento notable de actividades científicas y de coordinación, lo anterior se reflejo en talleres y foros, guías y manuales de ACV, artículos, además la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) empezó a liderar y coordinar para reunir a profesionales, usuarios y científicos del ACV de manera que se gestaron espacios de mejora continua y la armonización del marco, la terminología y la metodología del ACV. (Evaluación de ciclo de vida: pasado, s.f.)

En la última década se pasó de establecer mejoras basadas en unidades funcionales a mejoras reales, en este periodo se establecieron métodos como la ISO para estandarizar los métodos del ACV, la Comisión Europea reconoció y dirigió el proyecto de Acción de coordinación para la innovación en el análisis de ciclo de vida para la sostenibilidad, cuyos resultados principales son el establecimiento de un marco para ACVS- Análisis de Ciclo de Vida Sostenible que vincula cuestiones de sostenibilidad con conocimiento necesario para abordar el tema. (Evaluación de ciclo de vida: pasado, s.f.)

En general se puede observar como el ACV está en auge en muchas direcciones: aplicación, amplitud, y profundidad.

Hacia la década de 1980, la impresión digital avanzó y permitió el desarrollo de nuevos equipos de impresión de manera que se mejoraron las técnicas de procesamiento de imágenes digitales. En 1985 se conoció la primera impresora de inyección de tinta fabricada por parte de la compañía internacional Hewlett Packard.

La impresión digital por el contrario tiene origen en la década de 1960, cuando se fabricaron las primeras impresoras láser, estas impresoras utilizaban una tecnología similar a las de una fotocopidora para imprimir texto y gráficos en papel.

La impresión Offset es un método de impresión que transfiere tinta por presión por medio de rodillos, este tipo de impresión se destaca dado que permite realizar gran cantidad de impresiones en solo unos minutos, disminuyendo costos y menores necesidades de producción.

La impresión calcográfica es un tipo de impresión en la que las imágenes son resultado de un grabado o estampación mediante el uso de planchas o laminas metálicas.

La impresión tipográfica se basa en la organización de caracteres y símbolos es en una plancha que posteriormente se impregnará de tinta y luego por presión se colocará sobre el papel.

La impresión de papel moneda “se define así a los trozos de papel o fibra sintética que representan una cantidad determinada de dinero, estos generalmente están elaborados de diferentes materiales como polímeros y algodón” (Euroinnova, s.f.) generalmente usa una combinación de los tres tipos de impresión.

Por lo que en este documento se tratará de realizar el ACV a un proceso de impresión de papel moneda.

### **3 Objetivos**

#### **Objetivo general**

Evaluar el impacto ambiental de un proceso de impresión offset mediante el análisis de ciclo de vida y los principios de la norma ISO 14040/44, la evaluación considera solo el proceso de impresión en el periodo enero del 2022 al diciembre del 2022.

#### **Objetivos específicos**

1. Recopilar los datos de proceso de impresión
2. Realizar el análisis de ciclo de vida para los procesos:  
Impresión offset, calcográfica y tipográfica.
3. Evaluar el impacto del ciclo de vida en el software Open LCA.

## **4 Hipótesis**

La hipótesis es la creencia, la suposición o la conjetura de un fenómeno posible, es decir, independiente de si es verdadero o no. En la hipótesis se reúnen datos, se comparan y se escogen las explicaciones más probables. Dicho de otra forma, la hipótesis es la explicación probable de la relación entre dos o más variables.

## **5 Marco teórico**

El análisis de ciclo de vida -ACV, es una herramienta metodológica que permite evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso de forma tal que se consideran todas las etapas del ciclo de vida y todos los vectores incluidos, el ACV , es una metodología que permite determinar los aspectos ambientales e impactos, además recopila la información en un listado de entradas y salidas relevantes, generalmente el ACV es un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permiten abordar el problema dentro de un ámbito donde el asunto cobre sentido, incorporando los conocimientos previos relativos al mismo y ordenándolos de modo tal que resulten útiles a la investigación. El marco teórico es la explicación que el investigador construye sobre la realidad que investiga, un conjunto central de conceptos y teorías que el investigador utiliza para formular y desarrollar un argumento. Las bases teórico-conceptuales son definitivas para que la investigación no quede a la deriva.

Una manera bastante común de abordar el ACV es mediante la aplicación de la norma ISO 14040/14044 del 2006, estas normas incluyen los principios, marcos de referencia, requisitos y lineamientos para el ACV y fueron preparadas por el comité técnico ISO/TC-207, la ISO es la Organización Internacional de Normalización ó Organización Internacional de Estandarización,

esta organización es la encargada de crear los estándares internacionales y está conformada por diferentes organizaciones nacionales de normalización. (Estadarización, s.f.)

Dentro de los métodos de evaluación de impacto en la Evaluación de Ciclo de Vida y sus categorías de impacto se encuentran un sinnúmero a continuación se exponen algunos:

LMC Este método creado por la Universidad de Leiden en Holanda en 2001 con tiene más de 1700 flujos diferentes, el método se divide en línea base y línea de no base.

Ecoindicador 99: es uno de los métodos más utilizados, y utiliza tres tipos de daños: la salud humana, la calidad de los ecosistemas y los recursos. Este método distingue tres perspectivas culturales o arquetipos:

H Jerárquico(predeterminado)

Yo Individualista

E Igualitario

Además grupa las categorías en fuentes finales y puntos medios: salud humana, recursos y ecosistemas.

ReCiPe: El principal objetivo de este método es proporcionar información que convine Eco indicador 99 y CMI y distingue dos indicadores:

Indicadores de punto medio

Indicadores de parámetros con las siguientes categorías; daños a la salud humana, daños a los ecosistemas y daños a la disponibilidad de recursos.

Respecto al ACV de papel Moneda en el mundo se tiene los siguientes avances: Corresponde al cuerpo de la monografía o desarrollo del tema a partir de la recopilación de fuentes importantes, ideas, conceptos, opiniones y avances y situación actual del tema de estudio reportado en la literatura, que luego se pueden refutar o complementar luego del desarrollo del tema de la monografía. El nivel de formación o conocimiento en el tema debe ser suficientemente alto para que el estudiante sea capaz de aportar información relevante, que se posicione a la vanguardia de las fuentes ya previamente consultadas y obtenga así su título de especialista.

Mientras en el marco teórico se pueden elegir las teorías a trabajar, en el estado del arte, por fuerza, se deberán considerar **todos los aportes teóricos importantes que se relacionan con el tema de estudio, aunque sean contradictorias entre sí**. Eso significa que debe conocer todos los argumentos de diferentes autores, entenderlos perfectamente y ser capaz de asimilar las diferencias y semejanzas entre las ideas.

## 6 Metodología

Este documento presenta el análisis de ciclo de vida -ACV, de proceso de impresión desarrollado en Bogotá, Colombia, y aplicando los criterios de las normas ISO relacionadas con el ACV, que a continuación se relacionan:

Norma	Contenido
ISO 1440:2006	Principios y marco de referencia. - Esta norma establece los principios y marco de referencia para llevar a cabo un ACV, describe las fases claves del proceso de ACV. Se recomienda usarla junto con ISO 14044.
ISO 14044: 2006	Requisitos y lineamientos. - Esta norma establece los requisitos y orientaciones para llevar a cabo un ACV. Se recomienda utilizarla junto con ISO 14040.

Ilustración 1. Normas de referencia. Elaboración propia

El análisis se realizó en un proceso de impresión que combina la tecnología offset, calcográfica y litográfica, el análisis se ha realizado en una industria ubicada en la ciudad de Bogotá, ciudad a una altura de 2600msnm.

El alcance del análisis del estudio abarcó la definición de objetivo y alcance, la recolección de información, el análisis de inventario y la descripción de los resultados, toda la información primaria, es decir, materias primas, insumos, equipos, tiempos de funcionamiento y consumos de recursos, se recogieron en campo y se evaluaron en el software Open LCA.

Para la información de impactos que se generan en la impresión de papel moneda la base de datos empleada fueron datos reales del proceso de producción. El inventario en cada fase se ajustó a unidades funcionales se determinaron a partir de la cantidad funcionales reales calculadas a partir

de la cantidad de papel moneda producida y distribuida en el periodo comprendido entre enero de 2022 a diciembre del 2022 y una vida útil estimada en 18 años.

Respecto al consumo de recurso y la generación de residuos y/o vertimiento, se tomaron datos reales de consumo y generación.

Una vez listo el inventario se procedió a la evaluación de impactos a partir del ACV.

La metodología usada es la ReCipe 2014 a 2000 años, está incluye la caracterización de las siguientes categorías de impacto: Acidificación, cambio climático, agotamiento de los recursos abióticos, ecotoxicidad, eutrofización, toxicidad humana, radiación ionizante, usos del suelo, agotamiento de la capa de ozono, material particulado y oxidación fotoquímica. Este análisis se realizó con el apoyo del software Open LCA 1.6.3, el cual es libre y de código abierto para la evaluación del ciclo de vida y sostenibilidad.

El análisis contempló evaluar los impactos de la etapa de impresión, además de mostrar los resultados de los principales impactos causados por proceso.

## 7 Resultados

Una vez realizado la recolección de datos para el ACV de la impresión de papel moneda se en el software open LCA, se obtuvieron valoraciones de cero en impacto en punto medio y punto final en las siguientes categorías:

- Acidificación
- Cambio climático
- Agotamiento de recursos abióticos
- Eutrofización
- Radiaciones Ionizantes
- Usos de la tierra
- Agotamiento de la capa de ozono

Para las demás categorías de impactos se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación:

Categoría de impacto	Unidades de referencia	Resultado	Normalizado
Ecotoxicidad del agua dulce	kg 1,4-DB eq	12,40047242	4,45567E-10
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	14603,98333	1,6434E-09
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	41359,95119	9,99755E-09
Eutrofización marina	kg N eq	37,11144269	8,24326E-10
Agotamiento del metal	kg Fe eq	382695,3763	1,40633E-07
Formación de partículas	kg PM10 eq	0,385575155	4,47745E-12
Formación de oxidantes fotoquímicos.	kg NMVOC	0,204844815	5,8883E-13
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	250,8819653	5,03995E-09

*Ilustración 2. resultados por categoría de impacto. Elaboración propia*

## **8 Conclusiones**

Una vez analizados los resultados obtenidos en la investigación, se concluye:

Los impactos de mayor significancia para el proceso son ecotoxicidad del agua dulce, toxicidad humana, formación de material particulado, formación de oxidantes fotoquímicos y ecotoxicidad terrestre.

El ACV permite identificar los contribuyentes de mayor peso a lo largo del ciclo de vida de un producto, por lo que en los resultados obtenidos se observa que los contribuyentes principales a las categorías de impacto son el sustrato.

El uso de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida permitirá tomar decisiones sobre uso de sustratos de billete.

## 9 Referencias

Estadarización, O. I. (s.f.). *Organización Internacional de Estadarización*. Obtenido de Organización Internacional de Estadarización: <https://www.iso.org/home.html>

Euroinnova. (s.f.). *Euroinova international education*. Obtenido de Euroinova international education: <https://www.euroinnova.edu.es/blog/que-es-el-papel-moneda>

Evaluación de ciclo de vida: pasado, p. y. (s.f.). *Universidad de Leiden, Países Bajos*. Obtenido de Universidad de Leiden, Países Bajos: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es101316v>