

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería

Gestión Ambiental

UNIDAD 2-B:

METODOLOGIA DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

Prof. Adjunta Dra. Ing. Irma Mercante
CEIRS (Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos)
Instituto de Medio Ambiente – Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo
imercante@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Contenido: Definición de ACV de un sistema. Ciclo de vida de un producto o servicio. Estructura del ACV: objetivos, alcance y unidad funcional, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación. Aplicaciones.

1. Introducción

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida, ACV (LCA, Life Cycle Assessment en su nomenclatura en inglés), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad.

Su finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un producto o servicio durante su ciclo de vida completo o parte de él.

La evolución histórica del ACV puede dividirse en dos periodos. El primero va desde los años `60 hasta finales de los `80 y el segundo, comenzó en 1990 y continúa hasta nuestros días. Los primeros estudios, en los años 60, se centraban en el cálculo del consumo energético necesario para la producción de sustancias químicas intermedias y finales. Posteriormente, como consecuencia de las predicciones de aumento de la población (lo que hizo prever un incremento de la demanda de recursos materiales y energéticos) y, sobre todo, a partir de la crisis del petróleo de los años setenta, se llevaron a cabo gran número de estudios más detallados encaminados, sobre todo, a la gestión óptima de los recursos energéticos. Dado que para estos estudios había que tener en cuenta los balances de materia del proceso, fue necesario incluir en ellos el consumo de materias primas y la generación de residuos.

Entre el año 1975 y 1980, disminuyó el interés por el tema, aumentando otra vez a inicios de los ochenta. Hay que destacar dos hechos importantes:

- La fundación de la SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) en 1979, cuyo objetivo es el desarrollo de la metodología y los criterios de ACV, y que actualmente lidera este tema.
- El incremento en la población de la preocupación por el medio ambiente, lo que llevó a que tanto los industriales como la administración pusieran énfasis en el ACV. Los industriales lo hicieron con la intención de incrementar sus ventas definiendo su producto como más respetuoso con el medio ambiente, y la administración con el interés de desarrollar normativas o criterios que permitieran clasificar los productos en función de su carga medioambiental.

El segundo periodo de desarrollo del ACV comienza en 1990, en que se proyectó el tema a nivel internacional, con la organización de tres seminarios sobre ACV: el primero en Washington, organizado por WF (World Wildlife Fund) y patrocinado por la EPA (Environmental Protection Agency), el segundo en Vermont, organizado por SETAC y el tercero en Lovaina, organizado por Procter & Gamble.

Al mismo tiempo, diversas instituciones comenzaron a desarrollar estudios de sectores industriales o productos concretos. Es el caso de BUWAL (Swiss Federal Office of

Environment, Forest and Landscape), APME (Association of Plastics Manufactures in Europe) y PWMI (European Center for Plastics in the Environment), que aportaron bases de datos.

En 1992 se creó la SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development), asociación formada por 20 grandes compañías europeas, con el objetivo de potenciar y normalizar el uso del ACV.

En 1993 se creó en la Internacional Standards Organisation (ISO) el Comité Técnico 207 (ISO/TC 207), con el objetivo de desarrollar normativas internacionales para la gestión medioambiental. El Subcomité SC 5 desarrolla la normalización referente al Análisis del Ciclo de Vida. Las versiones vigentes son:

- ISO 14040: 2006. Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- ISO 14044: 2006. Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
- ISO TR 14072: 2014. Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices para Análisis de Ciclo de Vida Organizacional.

2. Definición de ACV de un sistema

La primera definición consensuada del ACV y más utilizada internacionalmente es la propuesta por la ISO 14040-44 (2006): *ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar las consecuencias que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.*

3. El ciclo de vida de un producto o servicio

El ciclo de vida de un producto o servicio considera toda la “historia” de los mismos desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. En el caso de los productos, la vida de un producto (Figura 1) empieza en el diseño y desarrollo del mismo y finaliza al final de vida de las actividades a través de las siguientes etapas:

- **Adquisición de materias primas:** Todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.
- **Proceso de fabricación:** Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la práctica esta etapa se compone de una serie de sub-etapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.
- **Empaque, transporte y distribución:** traslado del producto final al cliente.



Figura 1 Ciclo de vida de un producto

- **Uso, reutilización y mantenimiento:** Utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- **Gestión de los residuos:** Comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.

Reciclaje: es parte de la gestión de residuos, pero se menciona separadamente por su importancia en el ciclo de vida. Se puede reciclar un producto a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).

En el caso de los servicios las etapas que componen el ciclo de vida son muy variadas dependiendo de la actividad, y hay que ajustarlas a cada caso. Como ejemplo, la Figura 2 muestra las etapas de ciclo de vida de un sistema de gestión de residuos.



Figura 2 Ciclo de vida de un sistema de gestión de residuos.

4. Estructura del ACV

Los estudios de ACV se componen de cuatro etapas. La relación entre las mismas se ilustra en la Figura 3 y se describen en lo que sigue. Es importante mencionar que el método de ACV es de carácter dinámico, ya que a medida que se va avanzando en el estudio puede resultar necesario, volver a una etapa anterior para mejorar los datos, modificar los límites del sistema o redefinir los objetivos.

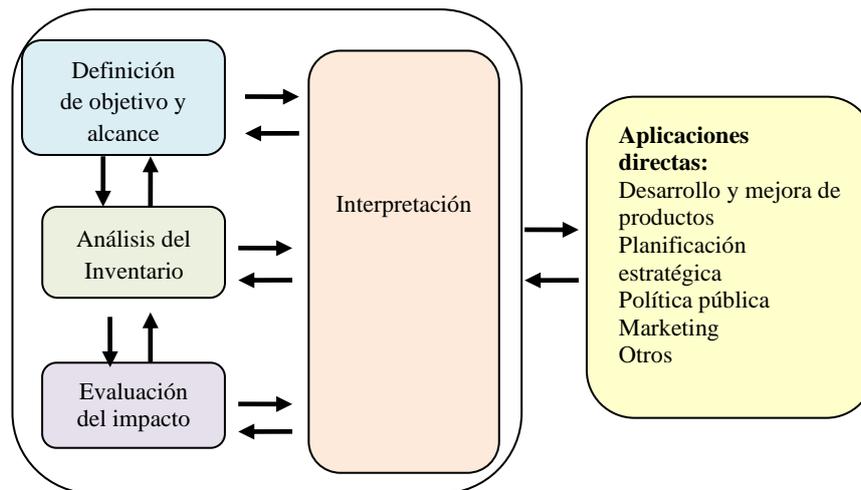


Figura 3 Esquema de un ACV según la norma ISO 14040-44 (2006)

Etapa I: Definición del objetivo y alcance

La primera etapa en todo ACV es determinar los objetivos y el alcance del estudio. De acuerdo a las indicaciones de la norma ISO 14040-44 (2006), esta etapa a su vez puede subdividirse en las siguientes fases:

- **Definición de objetivos.** Consiste en definir el propósito del ACV. Debe incluir cuál es la razón que lleva a realizar un estudio de este tipo, a quién está dirigido y cuál es el uso que se pretende dar a los resultados.
- **Definición del alcance.** Define el ámbito de aplicación del estudio, límites del sistema, requerimientos de datos y categorías de datos que se van a utilizar, hipótesis y extensión del estudio. El alcance debe definirse de forma que se asegure que la profundidad del estudio es compatible con los objetivos definidos inicialmente. Se determina en el alcance qué unidades de procesos se incluirán en el estudio de ACV, las posibilidades más utilizadas se presentan en la Figura 4.

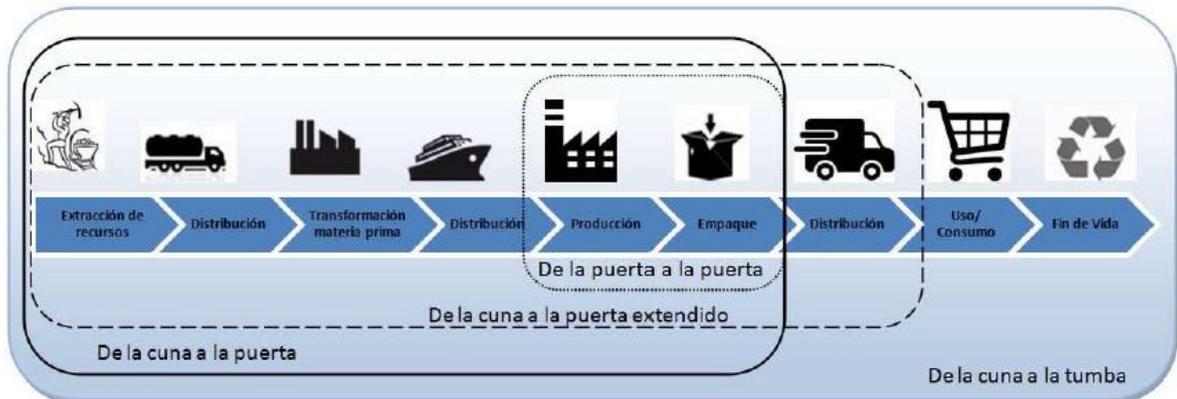


Figura 4 Límites del sistema típicamente utilizados en un ACV

Si bien la definición del método adhiere a la representación de límites indicados dentro del recuadro azul, es posible modificar el alcance según el objetivo del estudio, siempre que esto sea adecuadamente anunciado en el reporte de resultados. Cuando sólo se consideran los impactos asociados desde la obtención de la materia prima y la energía requerida para la elaboración del producto, hasta que el mismo sale de la planta para ingresar en el mercado, el estudio es conocido como de la cuna a la puerta. Esto puede ampliarse para incluir alguna etapa posterior, por ejemplo el transporte hasta un centro de distribución. Si en cambio se incluyen únicamente los procesos que intervienen dentro de los límites del sistema producto, el estudio se denomina de la puerta a la puerta.

En casos donde la fase de uso del producto depende mucho del consumidor o de procesos posteriores al que se está estudiando o cuando no se tienen datos representativos de esta fase el enfoque de la cuna a la tumba no es recomendado.

El alcance además debe considerar los siguientes límites:

Límites entre el sistema tecnológico y naturaleza. Un ciclo de vida normalmente empieza con la extracción de las materias primas y el transporte de la energía de la naturaleza. Las etapas finales normalmente incluyen generación de residuos y/o producción de calor.

Área geográfica. La geografía juega un papel crucial en la mayoría de ACV, ej. infraestructuras, producción de electricidad, gestión de residuos y sistemas de transporte, variando de una región a otra. La sensibilidad de los impactos medioambientales también varía de unas regiones a otras.

Horizonte de tiempo. Básicamente, los ACVs se llevan a cabo para evaluar los impactos presentes y para predecir los escenarios futuros. Las limitaciones de tiempo dependen de las tecnologías utilizadas, la vida de los contaminantes, entre otros.

Límites entre el actual ciclo de vida y los ciclos de vida de otros sistemas técnicos relacionados. La mayoría de las actividades se interrelacionan. Por ejemplo la producción de bienes de capital, donde la viabilidad económica de procesos nuevos y de mejor desempeño ambiental pueden ser evaluados en comparación con la tecnología utilizada actualmente. Idealmente, los ciclos de vida de los productos se utilizan para producir los materiales y también se requieren productos bajo investigación. Eso llevaría a listados de entradas y salidas interminables. Consecuentemente, se ha de marcar los límites excluyendo determinadas partes que puedan alterar el resultado final del estudio. Es muy útil tener un diagrama del sistema para identificar los límites y pasa lo mismo con algunas elecciones como la producción, disposición de bienes de capital y límites naturales.

- **Definición de la unidad funcional.** La unidad funcional es la unidad de comparación que se utiliza en el ACV e ICV. Es aquella a la que irán referidas todas las entradas y salidas del sistema. Su definición permite realizar una comparación entre varios sistemas que cumplen la misma función.

La unidad funcional es el elemento clave del ACV. Es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes. Por ejemplo, la unidad funcional para un sistema de pintado puede estar definida por la superficie (por ejemplo 1 m²) protegida durante 10 años. La comparación del impacto medioambiental de dos sistemas de pintado diferentes será posible si la unidad funcional es la misma.

La unidad funcional utilizada en el caso de un proyecto ha de ser determinada mediante la elaboración de los datos y estudios recogidos. Pueden existir restricciones respecto a la profundidad del estudio, las fuentes y calidad de los datos se determinan durante el proceso de estudio.

- **Requisitos de calidad de los datos.** Es necesario establecer las características de los datos necesarios para el estudio. La descripción de la calidad de los datos es importante para comprender la fiabilidad de los resultados del estudio e interpretar correctamente los resultados del estudio.

Etapa 2: Análisis del Inventario (ICV)

Comprende todas las etapas de recolección y gestión de datos. Se necesitan datos de cada proceso considerado para completar el modelo. Los datos son una conjunción de entradas y salidas relacionadas con la función o producto generado por el proceso (Figura 5).

o



Figura 5 Esquema de la etapa de inventario del ciclo de vida.

Las maneras utilizadas para recoger datos han de ser apropiadamente diseñadas para su recogida óptima. En consecuencia, los datos son validados y relacionados con la unidad funcional de manera que se puedan agregar los resultados.

El proceso de recopilación de datos es el que más recursos consume dentro del ACV y es la etapa más crítica. La reutilización de datos de otros estudios puede simplificar el trabajo pero hay que tener cuidado de que los datos sean representativos.

Los sistemas de producto suelen contener tipos de procesos comunes a todos los estudios como fuentes de energía, transporte, servicios de tratamiento de residuos y producción de sustancias químicas y materiales. El aspecto de calidad también es crucial.

Los datos a incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario involucrado dentro de los límites del sistema. Para ello, se puede recurrir a datos de campo (opción recomendada) o utilizar bases de datos de ICV, públicas o comerciales:

- **Inventario a partir de datos de campo (datos primarios):** Esta es la forma de obtener datos de alta calidad para el estudio de ACV. Con el fin de obtener datos representativos, se suelen recopilar datos de entradas y salidas correspondientes a un período de tiempo de un año, posteriormente se asignan a la unidad funcional y a cada proceso unitario.
- **Bases de datos de inventario del ciclo de vida comerciales (datos secundarios):** A fin de facilitar la elaboración de inventarios y atenuar los recursos necesarios en su obtención, se han constituido diferentes bases de datos públicas, privadas o comerciales, que incorporan los resultados de estudios de inventario del ciclo de vida aplicados a diferentes materiales y procesos, de forma que pueden ser utilizadas como fuente de información de elementos minoritarios en otros inventarios. Cuando se utilizan bases de datos comerciales resulta importante utilizar la matriz energética eléctrica del país donde se realiza el estudio ya que los impactos ambientales asociados con consumos eléctricos pueden variar mucho. Así, por ejemplo entre Argentina donde alrededor del 65% de la energía eléctrica proviene de fuentes térmicas, Brasil donde más del 40% proviene de fuentes renovables o Francia donde un 40% de la energía es nuclear, las emisiones son muy diferentes.

El resultado que se obtiene de la etapa de inventario es la cuantificación de las emisiones al medio ambiente, diferenciando entre emisiones atmosféricas, vertidos al agua y

suelos, residuos sólidos y otros aspectos ambientales (ruido, radiactividad, etc.), para el sistema en su conjunto y para cada proceso unitario que lo compone (opcional, dependiendo del objetivo del estudio).

Etapa 3: Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) tiene por objeto estimar la importancia de los impactos ambientales utilizando los resultados obtenidos en la etapa de inventario. El objetivo de esta etapa es relacionar los datos de las emisiones cuantificadas en la etapa de inventario con una serie de categorías de impacto definidas previamente, y medir la magnitud relativa de la contribución de cada contaminante a la categoría de impacto correspondiente.

Los resultados de una EICV pueden utilizarse para identificar oportunidades de mejora, caracterizar o comparar variaciones de un sistema de productos en el tiempo, comparar sistemas diferentes de producto, identificar variables medioambientales críticas.

Según la norma ISO 14040-44 (2006), el análisis de impacto puede realizarse a dos niveles, tal y como muestra la Figura 6, con elementos obligatorios, que permiten obtener un indicador para cada una de las categorías de impacto; o con elementos opcionales, que permiten obtener un único indicador que engloba toda la información del inventario mediante la aplicación de un método de evaluación del impacto.

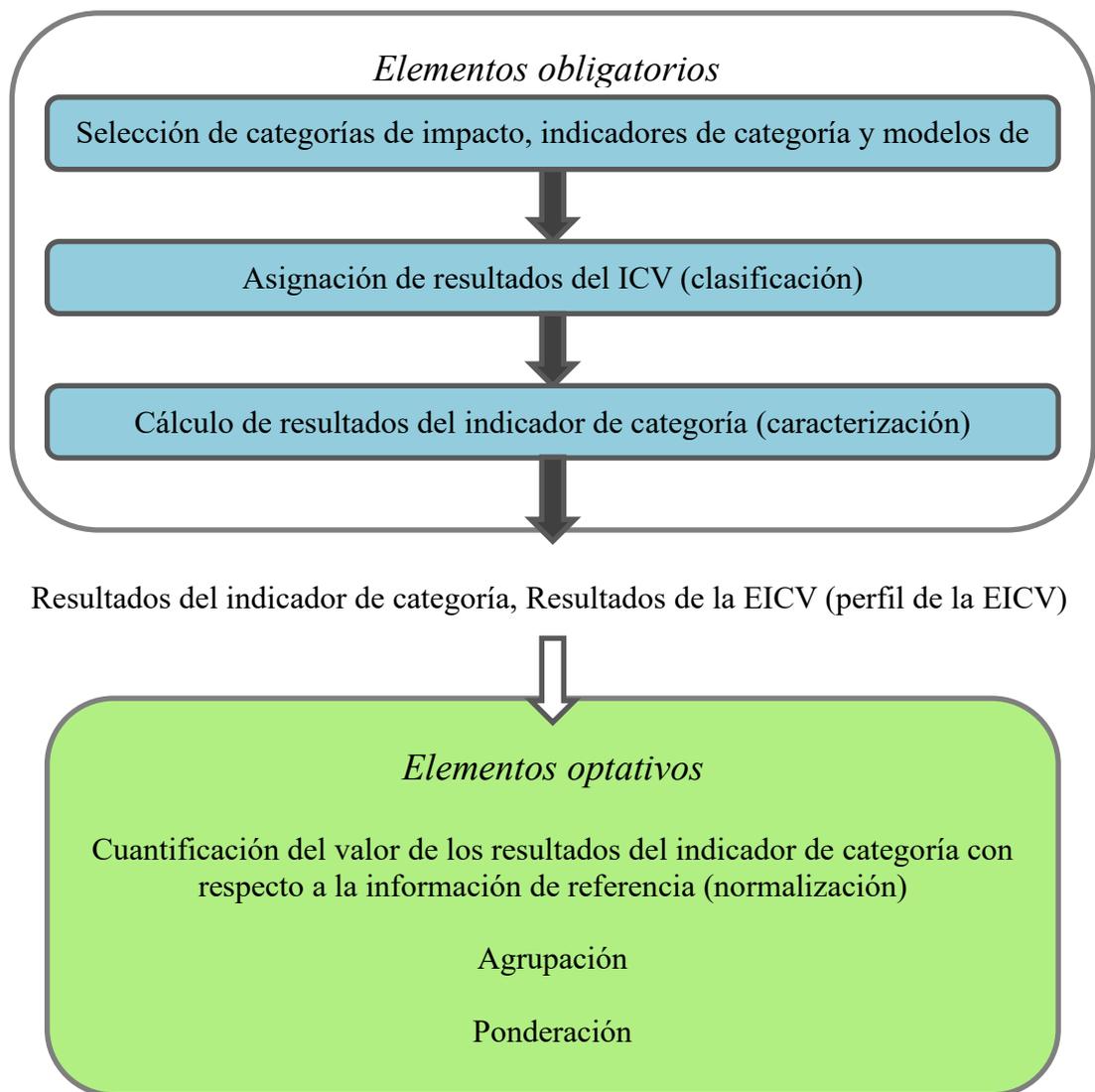


Figura 6 Elementos de la etapa de evaluación del impacto del ciclo de vida

Elementos obligatorios: Análisis por categoría de impacto.

En esta fase del EICV se seleccionan las categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización que se van a considerar. A continuación se asignan los resultados del ICV a las categorías de impacto (*clasificación*) y se calculan los resultados de los indicadores para cada una de las categorías de impacto consideradas (*caracterización*).

- Selección de categorías de impacto
Las categorías que suelen utilizarse en los estudios de ACV son las mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, tomando como factores de caracterización los propuestos, por ejemplo, por el método CML2000 (Guinée, 2002). Respecto a la categoría uso del suelo, cabe señalar que una de las debilidades en el ACV es que no hay acuerdo científico sobre el método de evaluación, lo que resulta frecuentemente o bien en la exclusión, o en la falta de evaluación de impactos ambientales locales relacionadas con el uso del suelo.

Tabla 1 Categorías de impacto frecuentemente utilizadas en ACV

Categoría de impacto	Unidad
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq
Calentamiento global	kg CO ₂ eq
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C ₂ H ₄ eq
Acidificación	kg SO ₂ eq
Eutrofización	kg PO ₄ ³⁻ eq
Toxicidad humana	kg 1,4 diclorobenceno eq
Ecotoxicidad	Kg Zn eq.
Uso del suelo	ha-año

Cada categoría representa un impacto diferente y particular, por ejemplo el Calentamiento Global analiza, mediante un modelo, el impacto de diferentes gases de efecto invernadero y sus horizontes temporales mientras que la Eutrofización presenta el efecto del uso en exceso de fertilizantes que en cuerpos de agua dulce produce el aumento de la concentración de algas, lo que disminuye el oxígeno disponible y provoca la mortalidad de peces.

- Clasificación de emisiones según categorías

La clasificación consiste en la asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto identificadas. Durante la clasificación se integran los resultados del inventario en un número determinado de aspectos ambientales (Ver **Figura 7**).

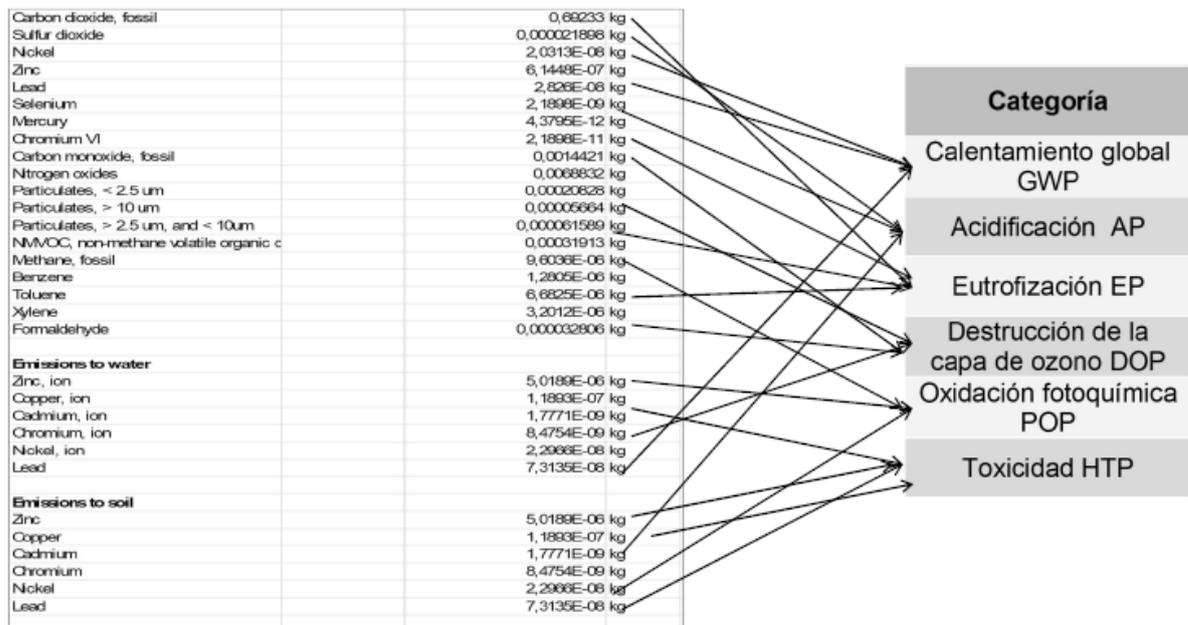


Figura 7 Ejemplo ilustrativo de clasificación de emisiones por categoría

- Caracterización de impactos

En la caracterización se utilizan factores de caracterización que representan cuánto contribuye cada sustancia a cada categoría de impacto seleccionada.

Tabla 2 Ejemplo de factores de caracterización de Categoría Calentamiento Global

Sustancia	Factor de Caracterización
Dióxido de Carbono CO ₂	1
Metano CH ₄	24
Halon 1301 CF ₃ Br	6900
Óxido de Nitrógeno N ₂ O	360
Tetrafluoruro de Carbono CF ₄	5700

De la multiplicación de los factores de caracterización y los resultados del ICV se obtienen los valores de cada indicador, tal como se presenta en la siguiente fórmula.

$$CCI = \sum_1 GWP_i \times m_i$$

CCI: Indicador de calentamiento global [kg eq. CO₂]
m_i: cantidad de emisión de la sustancia

A partir de la intervención ambiental ocurre una cadena de eventos físicos, químicos y biológicos que relacionan el flujo elemental con una categoría ambiental afectada, de acuerdo a qué punto se evalúe para una categoría. Como se aprecia en la Figura 8 mientras más se avance en la cadena, mayor es la claridad de interpretación pero también mayor es la incertidumbre de los resultados obtenidos.

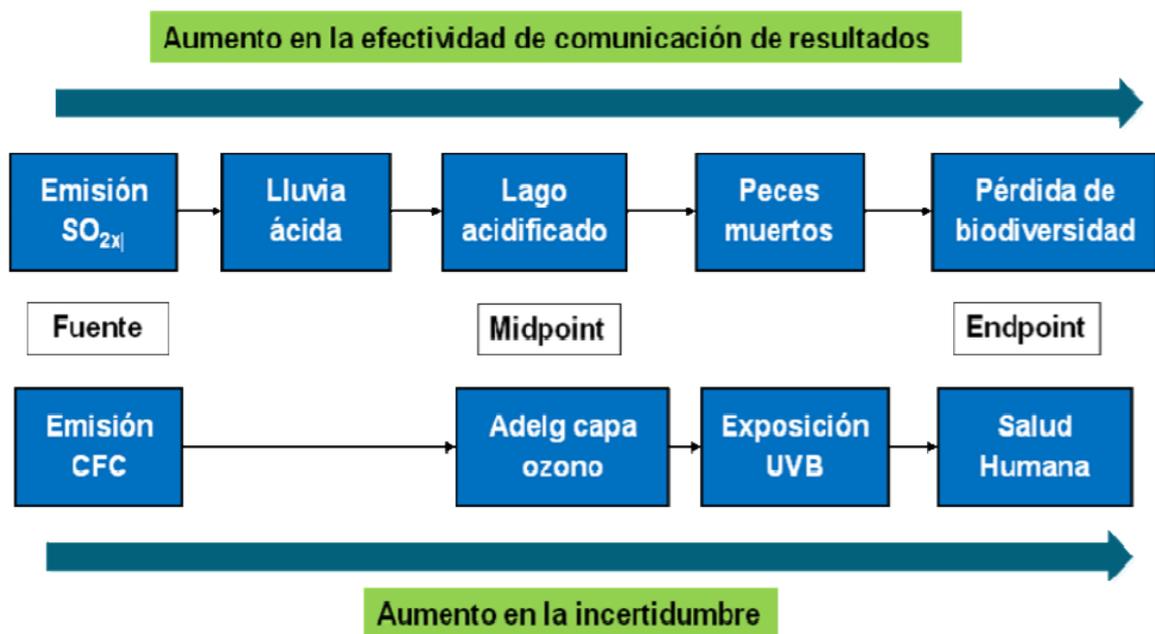


Figura 8 Ejemplo de secuencia de cálculo de EICV

Elementos opcionales: Descripción de los métodos de valoración del impacto. La aplicación de un método de evaluación de impacto permite expresar la carga ambiental del sistema analizado en un único indicador, siguiendo los pasos de:

- Normalización.
Cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría en relación con la información de referencia. Permite la comparación de distintos perfiles ambientales.
- Agrupación.
Organización y posible clasificación de las categorías de impacto.
- Ponderación
Conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor. Sirve para expresar los resultados en un valor único, que permita comparar directamente dos o más productos. Esta fase no se encuentra estandarizada, ya que no existe consenso sobre la metodología y los parámetros a utilizar.

De forma simplificada, el proceso seguido hasta obtener un único valor del impacto ambiental pasa por agrupar los resultados conseguidos para cada una de las categorías de impacto, dependiendo del daño o efecto que producen. Este paso es altamente subjetivo, pero necesario si se desea obtener un único indicador, de ahí la existencia de diferentes métodos de evaluación de impacto. Algunos ejemplos de métodos de evaluación del impacto se muestran en la 0.

Tabla 3. Ejemplos de métodos de evaluación del impacto.

Método	Referencia	Enlace
Eco-Indicator '95	Goedkoop (1995)	http://www.pre.nl
Eco-Indicator '99	Goedkoop y Spriensma (2000)	http://www.pre.nl
Eco-Scarcity	Frischknecht <i>et al.</i> (2006)	http://www.esu-services.ch
EDIP 2003	Hauschild y Potting (2004)	http://ipt.dtu.dk/~mic/Projects.htm#EDI P2003
IMPACT 2002+	Jolliet <i>et al.</i> (2003)	http://www.epfl.ch/impact
TRACI	Bare <i>et al.</i> (2003)	http://epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/iam_traci.htm
EPS 2000	Steen (1999 ^{a,b})	http://eps.esa.chalmers.se/
CML 2001	Guinée <i>et al.</i> (2002)	http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html
LIME	Itsubo <i>et al.</i> (2004)	http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm

Al no existir consenso en la utilización de un único método de evaluación del impacto, la norma ISO 14040-44 (2006) recomienda aplicar diferentes métodos de evaluación y realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo influye el método aplicado en los resultados del estudio.

Etapa 4: Interpretación de resultados

Según la norma ISO 14040-44 (2006), en esta última etapa de un ACV, se combina la información obtenida en la fase de inventario y evaluación del impacto para llegar a identificar las variables significativas teniendo en cuenta los análisis de sensibilidad realizados. La interpretación de resultados arroja una serie de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, siempre de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio.

5. Aplicaciones del análisis de ciclo de vida

El ACV, debido a sus características, puede ser utilizado con propósitos muy diferentes por distintos agentes sociales, como los siguientes:

- a. **Dentro del contexto de las legislaciones:** ACV no está sometido a legislación alguna, pero su filosofía, tal como se entiende en la actualidad, se puede reflejar en los principales reglamentos y normativas relacionados con los sistemas de gestión ambiental y prevención desarrollados por los distintos países. Así por ejemplo, normas relativas a envases y residuos de envases, leyes referidas a gestión de residuos y etiquetas ecológicas. Podemos nombrar entre sus aplicaciones de interés colectivo:
 - ✓ Herramienta para colaborar en el desarrollo de legislación y políticas ambientales que, a largo plazo, puedan favorecer la conservación de recursos y la reducción de riesgo ambiental asociado a productos y procesos.
 - ✓ Evaluación de distintas alternativas de actividades de servicios (por ejemplo gestión de residuos).
 - ✓ Proporcionar al público información sobre características ambientales de productos materiales
 - ✓ Detección de necesidades de investigación y establecimiento de prioridades de actuación.
 - ✓ Establecer criterios de valoración y diferenciación de productos en los programas de ecoetiquetado.

- b. **Como herramienta para la industria y para la administración:** El ACV es una **herramienta** útil para proporcionar información a los sectores público y privado implicados en la toma de decisiones relativas a la mejora ambiental. Dicha información, combinada con datos económicos, sociales y laborales, puede ser utilizada por ambos sectores para la toma de decisiones estratégicas importantes, lo cual amplía sus aplicaciones más allá del terreno medioambiental.
 - Aplicaciones dentro del sector industrial. Dentro de este sector, el ACV tiene distintas aplicaciones, según se haga de él un uso interno o externo (Tabla 4):

Tabla 4. Aplicaciones del ACV

INTERNOS	EXTERNOS
Aplicaciones como herramientas para la planificación de estrategias medioambientales.	Mejora de imagen y marketing ambiental
Selección de alternativas de productos o servicios	Desarrollo de programas de investigación
Herramienta de decisión durante la fase de diseño de nuevos productos.	Proporcionar información complementaria a la administración para la regulación y reducción de determinados productos.
Comparación funcional de productos equivalentes.	
Comparación de distintas opciones dentro de un nuevo proceso con el objetivo de minimizar impactos ambientales.	
Herramienta para la identificación de procesos, componentes y sistemas cuya contribución al impacto ambiental es significativa.	Ejercer presión sobre los proveedores
Evaluación de los efectos producidos por el consumo de recursos en las instalaciones.	

BIBLIOGRAFIA

- Bovea M D, Ibáñez-Forés V, Bernad-Beltrán D, Mercante I (2011) Capítulo 18: Aplicación de la metodología de análisis del ciclo de vida a la gestión de residuos sólidos. Libro: Residuos sólidos: un enfoque multidisciplinar (Ed. L. Márquez). Editorial: Libros en Red. ISBN: 978-1-59754-787-1.
- Elías X Ed. (2009) Reciclaje de residuos industriales. 2º Ed. España.
- ISO 14040 (2006) Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. European Committee for Standardization (CEN)
- ISO 14044 (2006) Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines
- Mercante I, Arena P, Bovea Edo M (2009b) Evaluación de alternativas de RCD con consideraciones de ciclo de vida. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Colombia, ISBN: 978-958-741-006-8
- ISO TR 14072 (2014) Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices para Análisis de Ciclo de Vida Organizacional
- Mercante, I (2014). Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición. Tesis doctoral. Doctorado en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. UNCuyo.