

GUÍA METODOLÓGICA: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA



:

Alejandro Pablo Arena

aparena@gmail.com

INDICE

Tabla de contenido

Abreviaturas utilizadas.....	5
Introducción.....	6
1. PARA QUÉ SIRVE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?.....	9
2. EJEMPLOS DE APLICACIONES.....	9
3. CÓMO SE INICIA UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?.....	10
4. QUÉ APLICACIONES TIENE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?.....	10
5. QUÉ PUEDE OCURRIR TRAS REALIZAR UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?.....	11
6. QUÉ NORMAS INTERNACIONALES SE APLICAN?.....	11
7. QUÉ PUBLICACIONES EXISTEN SOBRE LA TEMÁTICA?.....	12
8. CÓMO SE DEFINE EL MÉTODO DEL ACV?.....	12
9. CÓMO SE REALIZA UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?.....	13
10. CÓMO SE PUEDE SIMPLIFICAR LA REALIZACIÓN DE UN ACV?.....	14
11. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS PARA REALIZAR UN ACV.....	14
11.1. ETAPA 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE.....	14
La definición del sistema y sus límites.....	16
Identificación de funciones.....	18
Selección de la unidad funcional.....	19
Identificación del rendimiento del producto y del flujo de referencia.....	20
Comparación de productos.....	20
11.2. EL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA.....	20
Definición de las entradas y salidas del sistema.....	21
Determinación los procesos unitarios del producto del sistema.....	21
Recolección inicial de datos para cada proceso unitario.....	21
Aplicación de reglas de decisión.....	22
La asignación de cargas.....	22

Limitaciones del Inventario	23
11.3. LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA	24
Definición y clasificación de categorías.....	25
Caracterización.....	26
Normalización de los impactos	28
Ponderación	28
Limitaciones de la etapa de Evaluación de Impactos	29
11.4. EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN.	29
12. El acv y las huellas como herramientas de gestión y comunicación ambiental.....	29
13. donde se puede obtener más información?	30
14. bibliografía y referencias	31

ABREVIATURAS UTILIZADAS

ACV: Análisis del Ciclo de Vida

ICV: Inventario de Ciclo de Vida

EIACV: Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida

HH: Huella Hídrica

HC: Huella de Carbono

WSI: Índice de estrés hídrico

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry

ISO: International Standards Organization

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

LCA: Life Cycle Analysis (Análisis del Ciclo de Vida por sus siglas en inglés)

ODP: Potencial de adelgazamiento de la capa de ozono (sigla en inglés)

Midpoint: Punto intermedio

Endpoint: Punto final

WFN: Water Footprint Network

WULCA: Water Use in LCA

INTRODUCCIÓN

La preocupación mundial por el cambio climático, asociada a las evidencias científicas sobre su existencia, y a las consecuencias que este cambio traería (alteración en los patrones de precipitaciones, extinción de especies, cambio en los rendimientos de las cosechas, escasez hídrica, aumento del nivel de los océanos, etc.), han motivado el diseño, desarrollo e implementación de acciones de mitigación y adaptación para reducir sus impactos negativos, no sólo por parte de los gobiernos, sino también de las empresas.

Esto a su vez ha determinado la necesidad de contar con indicadores y metodologías, que permitan cuantificar la efectividad de esas acciones, siendo la Huella de Carbono la más específica para la categoría ambiental del cambio climático. La Huella de Carbono cuantifica la cantidad total de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, asociadas a un producto a lo largo de su ciclo de vida.

Resulta claro que el cambio climático es sólo una de varias preocupaciones ambientales que es necesario atender. La pérdida de biodiversidad, el adelgazamiento de la capa de ozono, la disponibilidad de agua potable, las reservas de energía o la eutrofización de aguas son ejemplos de otros impactos ambientales que, por su repercusión sobre la salud humana, de los ecosistemas o sobre la disponibilidad de recursos naturales, causan profunda preocupación en la sociedad actual.

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida - ACV (Life Cycle Analysis o Life Cycle Assessment – LCA, en la literatura anglosajona) permite considerar todos los atributos ambientales relacionados con la naturaleza, la salud humana, y los recursos, con una óptica que difiere de las clásicas en que analiza un sistema considerando todos los consumos y emisiones que ocurren en los distintos momentos de su vida útil, a saber:

- la fabricación, considerando desde que se extraen las materias primas del ambiente, se procesan, se transportan, se elabora un producto, se distribuye al mercado;
- la utilización y el mantenimiento;
- el desmantelamiento y el tratamiento de los residuos al final de la vida útil, lo que puede incluir el reciclaje de los materiales, su utilización en otros procesos industriales, el aprovechamiento del calor resultante de la incineración de sus materiales, su disposición final en basurales, etc.

El análisis de ciclo de vida puede entonces definirse como un procedimiento sistemático, objetivo, con base científica que permite cuantificar todos los consumos de recursos y todas las emisiones asociadas a un producto, desde la cuna hasta la tumba (Figura 1). Esta característica es esencial para identificar posibles intercambios (por ejemplo, mejorar un aspecto ambiental a costa de empeorar otro, o disminuir la carga ambiental en una región pero aumentarla en otra).

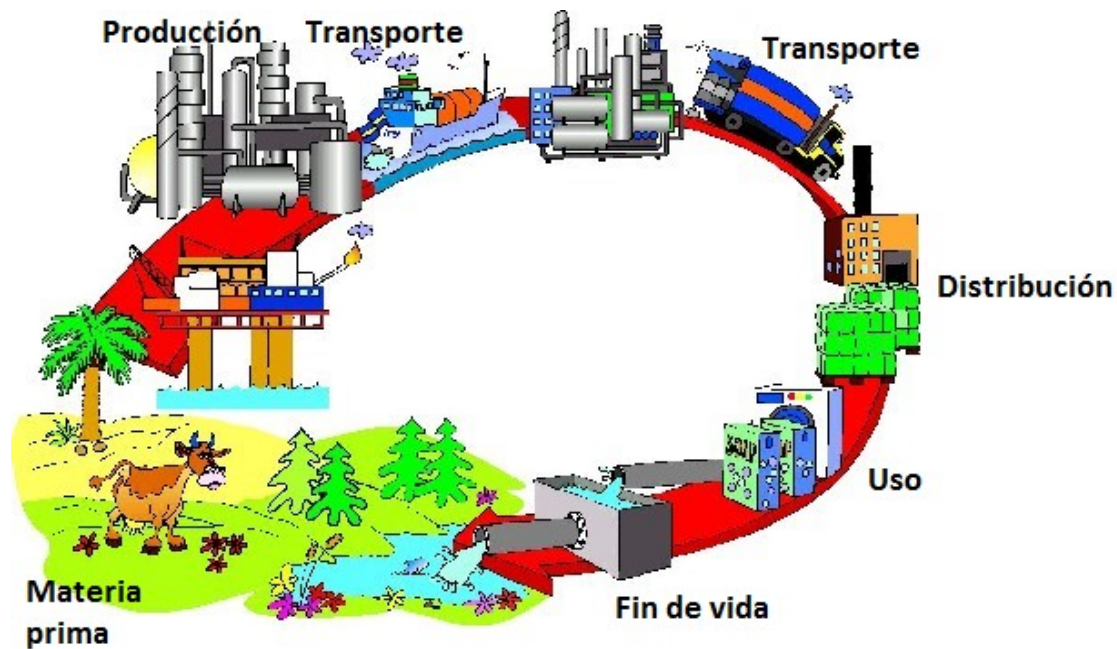


Figura 1. Cadena de producción, uso y fin de vida de un producto (Fuente: adaptado de www.dantes.info/Tools&Methods/Environmentalassessment/envrio_asse_lch.html)

El análisis de ciclo de vida permite analizar los potenciales impactos ambientales de un gran número de indicadores. El más conocido de ellos es, sin duda, la “Huella de Carbono”. Sin embargo, la “Huella Hídrica” es otro indicador ambiental incluido dentro del ACV que ha despertado un gran interés entre la comunidad científica en los últimos tiempos. La Huella Hídrica se define como:

“Las medida(s) que cuantifican los potenciales impactos ambientales relacionados con el agua de productos, procesos u organizaciones”

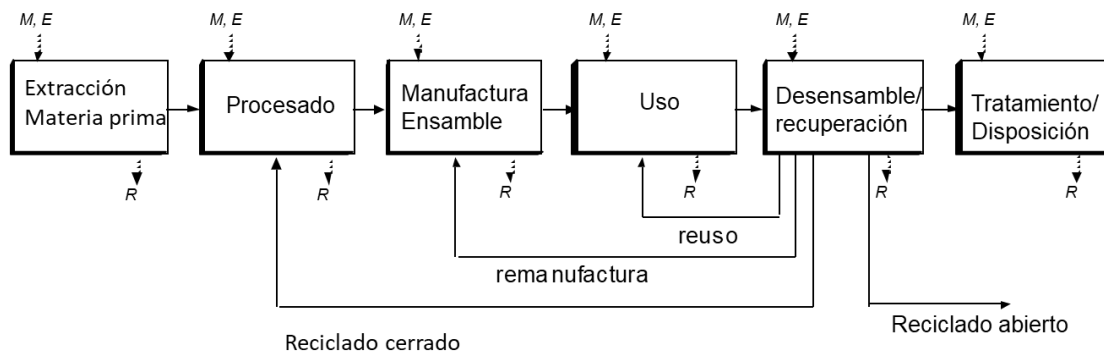
A finales de 2014 se publicó la ISO 14046 referente a la Huella Hídrica y se espera que en los próximos años este indicador ambiental gane en popularidad y, al igual que ha pasado con la Huella de Carbono, se consolide como un referente de la sostenibilidad ambiental.

SECCIÓN 1.
INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS
DEL CICLO DE VIDA

1. PARA QUÉ SIRVE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?

Es usual que los consumidores quieran conocer cuál es el producto menos nocivo, por ejemplo, si utilizar bolsas plásticas de polietileno o bolsas de papel, o una botella de PET o una de vidrio descartable, u otra retornable; o los pañuelos descartables de papel o los lavables de tela. Pero la realidad es mucho más sofisticada, y el impacto ambiental asociado con un producto dependerá de tantas variables que esas preguntas sólo podrán contestarse "caso por caso", y no de manera universal. Por ejemplo la bolsa de papel podrá producirse a partir de de madera de una plantación, o de residuos forestales, o de papel reciclado, y el impacto ambiental será completamente diferente. La energía eléctrica utilizada en su proceso podría ser de origen nuclear, o hidroeléctrico, o solar, y nuevamente el impacto será muy diferente. El impacto de su transporte será diferente si se realiza por tren o por camión, y cambiará según el tipo de embalaje que se utilice. Y cuando llegue al final de su ciclo útil, el impacto será diferente si la bolsa va a un relleno sanitario, a un incinerador o si se destina a reciclaje.

Sólo un estudio que contemple todas las fases del ciclo de vida de un producto, conocido como enfoque "desde la cuna hasta la tumba", puede contestar estas preguntas. Pero su utilidad será mucho mayor: permitirá al productor definir estrategias para mejorar el desempeño ambiental de su producto, ya que conoce dónde se originan los principales daños y cuáles son; a una universidad u organismo de ciencia y tecnología orientar sus actividades de investigación para disminuir los impactos, y al decisor político para impulsar compras de uno u otro tipo de bolsas. La siguiente figura representa este enfoque



M, E = Ingresos de Materia y Energía
R = Residuos (gaseosos, líquidos, sólidos)

Figura 2. Esquema del ciclo de vida de un producto

2. EJEMPLOS DE APLICACIONES

Existen muchísimas publicaciones sobre aplicación de análisis de ciclo de vida a productos de distintos sectores, que involucran distintos procesos, sectores y países. A modo de ejemplo se citan los títulos de algunos trabajos publicados en distintos idiomas:

- *Ecobilancio di manufatti edili in gesso.*
- *The application of Life Cycle Analysis in Urban Water Systems*
- *Ciclo di vita del fotovoltaico e ciclo di vita degli edifici.*
- *Saving energy vs. saving materials. Life cycle inventory analysis of housing in a cold climate region of Japan*
- *Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: case study of Tianjin, China.*
- *Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba.*
- *L'analisi di processo nella determinazione del contenuto energetico dei materiali termoisolanti.*
- *Environmental assessment of buildings projects based upon a life cycle approach.*
- *Life cycle assessment of flooring materials: case study.*
- *LCA of concrete and steel building frames.*
- *Ciclo de vida de bolsas plasticas reusables*
- *Ciclo de vida de detergentes*
- *Ciclo de vida de derivados de petróleo*

3. CÓMO SE INICIA UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?

Usualmente un estudio de esta naturaleza inicia por una demanda externa (por ejemplo, una exigencia del mercado destino de un producto, o de la casa matriz de una industria), o interna (interés por obtener un posicionamiento frente a los consumidores o competidores, búsqueda de mejoras en la eficiencia para disminuir costos productivos). Cualquiera sea el caso, usualmente el estudio es encargado por alguien que no es quien lo va a ejecutar. Quien realiza el estudio, es en general alguien externo a la empresa, que la ayuda a terminar de definir el objetivo y el alcance del estudio, para que sea factible su realización dentro de los límites presupuestarios y temporales de la empresa.

4. QUÉ APLICACIONES TIENE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?

Las aplicaciones de un Análisis de Ciclo de Vida son innumerables. Sin embargo, la mayor parte de ellas pueden clasificarse en una de las siguientes categorías:

1. Desarrollo y mejora de productos
2. Planificación estratégica
3. Desarrollo de políticas públicas
4. Declaraciones ambientales de productos
5. Marketing

5. QUÉ PUEDE OCURRIR TRAS REALIZAR UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?

El resultado de un estudio de ciclo de vida tendrá forma de números, que representan cuál es el impacto del producto o servicio analizado. Estos números constituyen una referencia que permitirá comparar con un producto o servicio equivalente, o bien con el mismo producto en distintos momentos. Lo más importante es que el resultado no es "blindado", sino que tiene trazabilidad, se detecta qué material, proceso, proveedor, o etapa del ciclo del producto es responsable de cada efecto analizado. Habitualmente, hay unas pocas causas (materiales, procesos, etc.) que determinan la mayor parte de los impactos. Su identificación permite establecer medidas de mejora trascendentes, evitando realizar otras que sean poco efectivas o aún contraproducentes. Estas medidas pueden ser:

- Sustituir algunos materiales del producto
- Modificar el diseño del producto
- Buscar proveedores diferentes
- Modificar un proceso productivo
- Buscar un embalaje diferente
- Modificar la fuente energética
- Modificar el sistema/medio/ruta de transporte

6. QUÉ NORMAS INTERNACIONALES SE APLICAN?

La complejidad de un estudio con un alcance tan amplio como el del Análisis de Ciclo de Vida, y la necesidad de obtener resultados objetivos han determinado que la normativa internacional haya trabajado activamente para lograr la estandarización de la metodología, lo que ayuda a evitar un mal uso de esta herramienta, y de sus resultados.

Las normas generales que rigen su aplicación son la ISO 14040:2006 que establece los principios y el marco general, y la ISO 14044:2006 que establece los requisitos y líneas guía. En la Argentina, el Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) está colaborando con la elaboración de estas normas, participando en las actividades del Comité Técnico 207 de ISO, en el Sub-Comité 5



7. QUÉ PUBLICACIONES EXISTEN SOBRE LA TEMÁTICA?

Existe un número muy importante de publicaciones específicas sobre la temática, tanto libros como periódicos (revistas, actas de congresos regulares, etc). Por otra parte, otras publicaciones que no tienen como foco esta metodología, tienen en sus contenidos un número creciente de artículos sobre el Análisis del Ciclo de Vida. Entre las revistas con mayor densidad de artículos sobre la temática se encuentran el International Journal of Life Cycle Assessment, el Journal of Cleaner Production, el Journal of Industrial Ecology, el Journal of Environmental Management, o el Journal of Resources conservation and recycling.



Figura 3. Publicaciones específicas relacionadas con el Análisis del Ciclo de Vida

8. CÓMO SE DEFINE EL MÉTODO DEL ACV?

La definición dada por SETAC (1993) para el método del ACV es la siguiente:

Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.

Se puede desarrollar un Análisis de Ciclo de Vida para un proceso, un servicio o una actividad, considerando todas las etapas que constituyen su vida útil.

Los primeros estudios realizados con una óptica de ciclo de vida se orientaron fundamentalmente al estudio del consumo de energía. A medida que las preocupaciones ambientales fueron cambiando, se fue ampliando el universo de sustancias y efectos analizados.

9. CÓMO SE REALIZA UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA?

Las citadas normas ISO 14040 y 14044 establecen con claridad el marco y los lineamientos para realizar un estudio de ciclo de vida.

El método tiene cuatro partes fundamentales, que son:

1. la definición de objetivos y alcance, donde se establecen la finalidad del estudio, los límites del sistema, los datos necesarios, las hipótesis y los límites del análisis;
2. el inventario, una cuantificación de todos los flujos de materiales y de energía que alimentan el sistema productivo, y todos los flujos salientes (productos, subproductos, emisiones gaseosas, líquidas y sólidas).
3. la evaluación de impactos, que transforma los resultados del inventario en impactos ambientales.
4. La interpretación, un análisis crítico del estudio que permite establecer las conclusiones y recomendaciones para reducir los impactos detectados, así como la confiabilidad del estudio, los aspectos que deben mejorarse, etc..

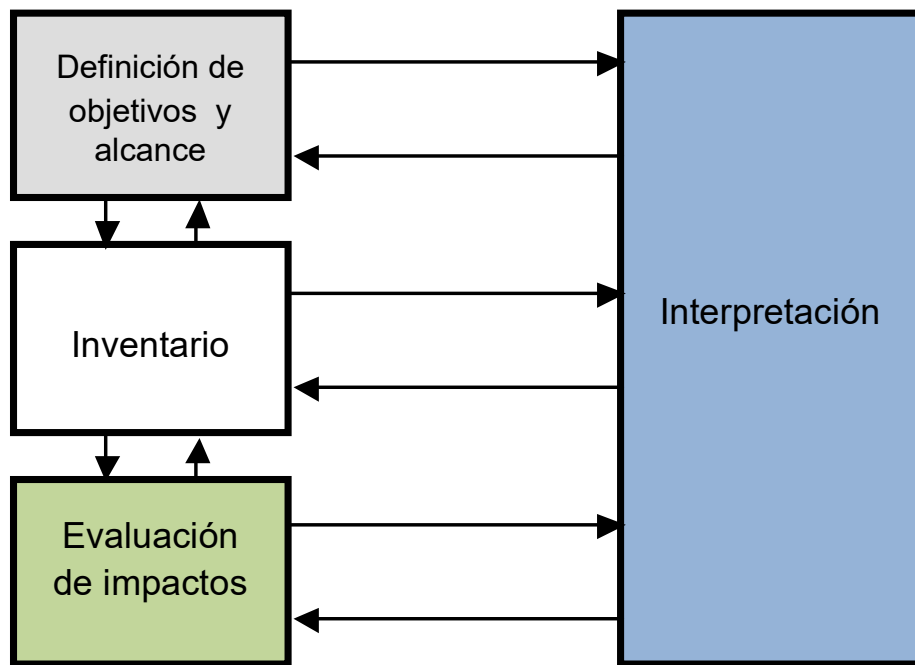


Figura 4. Fases fundamentales del Análisis del Ciclo de Vida

En función de los resultados y conclusiones obtenidas tras realizar el análisis, entre las que se pueden encontrar los puntos críticos (materiales y/o procesos más influyentes sobre el impacto ambiental), se puede continuar el estudio con una etapa de mejoramiento, un análisis que conduce a la elaboración de propuestas que reduzcan el impacto producido por el sistema analizado. Por este motivo el análisis en general es iterativo.

La complejidad de un estudio de ciclo de vida se ve compensada por las siguientes ventajas:

- brinda una estimación de los impactos totales producidos por el sistema
- identifica cuándo se produce un cambio de tipo de impacto como consecuencia de una modificación, en lugar de una mejora real
- facilita la toma de decisiones.

10. CÓMO SE PUEDE SIMPLIFICAR LA REALIZACIÓN DE UN ACV?

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, por lo que a medida que se obtienen resultados se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo que exige el cálculo iterativo. Este hecho, más la gran cantidad de datos requeridos para realizar un ACV, determinan que en general un estudio de ciclo de vida se realice utilizando un programa informático específico que simplifica la tarea.

Existen en el mercado diversos programas disponibles, entre los cuales se destacan por su penetración en el mercado SimaPro, Gabi, Boustead Model, Umberto, etc. Existen también programas gratuitos, como OpenLCA que es de aplicación para cualquier sector, o algunos específicos para un sector, como es el caso del danés SBIDB aplicable al sector de la construcción. Estos programas incluyen bases de datos más o menos extensas, que pueden ser de gran ayuda para el usuario, aunque el uso de datos que no correspondan con el sistema en estudio debe siempre hacerse con gran cuidado. En general, los programas informáticos de uso libre pueden incluir bases de datos comerciales, cuyo acceso sí requiere pago de licencia.

Merece destacarse que la mayoría de la información disponible para realizar un ACV es de carácter internacional, con bases de datos globales a las cuales todavía no se han incorporado, por ejemplo, perfiles ambientales nacionales.

11. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS PARA REALIZAR UN ACV

11.1. ETAPA 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo del estudio se define respondiendo a la pregunta: ¿Para qué se realiza el estudio?

Especifica la aplicación propuesta, incluyendo las razones por las cuales se lleva a cabo el estudio y su público objetivo, es decir para quién están destinados los resultados.

Ejemplos:

- Comparación de productos alternativos con objetivos de marketing o de regulación
- Identificación de alternativas innovativas de diseño
- Identificación de los materiales o procesos que más contribuyen al impacto analizado

El alcance indica la amplitud, profundidad y detalle del estudio, a través de la definición de los límites del sistema, la unidad funcional, la calidad requerida de los datos, etc.

Se facilita su definición dando respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el propósito del sistema?
 - Función o funciones del sistema
- ¿Cuál es la base de evaluación?
 - Unidad funcional, por ejemplo 1 kg de producto, o 1 litro, o 1m²
- ¿Qué apariencia tiene el ciclo de vida?
 - Definición del sistema, establecimiento de sus límites
- ¿Con qué criterio se repartirán las cargas ambientales si el sistema elabora más de un producto?
 - Métodos de asignación
- ¿Qué tipos de impacto se evaluarán?
 - Selección de uno o más métodos de evaluación de impacto
- ¿Cuáles son las hipótesis del estudio?
 - Limitaciones del estudio
- ¿Qué precisión se requiere?
 - Calidad de los datos
- ¿Quiénes son los destinatarios?

Formato del reporte

A continuación se citan como ejemplos algunos objetivos de estudios de ciclo de vida:

Carne bovina: Distintos sistemas productivos (*feed lot* o engorde a corral versus pastoreo directo)

Producción frutihortícola: distintos sistemas de irrigación (goteo versus manto) e influencia en huella energética e hídrica

Iluminación: lámparas incandescentes vs compactas de bajo consumo

Algodón: producción en seco versus riego suplementario

Bolsas plásticas de supermercado: comparación de bolsas descartables vs reusables

Agua: evaluación de distintas alternativas de packaging (material de la botella, volumen, estrategia de fin de vida)

Electricidad: Comparación de distintos sistemas productivos, comparación del impacto ambiental según la fuente, evaluación del impacto del cambio climático.

LA DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y SUS LÍMITES

Por definición de ACV en un estudio se deberían considerar todos los flujos materiales y de energía que se requieren para elaborar un producto o prestar un servicio, y todos los flujos residuales que aparezcan, considerando todas las fases de su ciclo de vida (extracción de materia prima, elaboración de insumos, componentes, transportes, procesos, etc.). Los flujos de materia y de energía que son incluidos en el inventario deben cumplir las siguientes condiciones:

- Los flujos de entrada al sistema deben ser considerados en la forma en la que se encuentran en el ambiente natural, sin previa modificación humana;
- Los flujos de salida serán aquellos que irán a formar parte del ambiente exterior al sistema considerado, sin sufrir transformaciones posteriores por parte del hombre.

Dada la complejidad del sistema industrial actual, la evaluación de todos los materiales y los procesos que intervienen en la elaboración de un producto es sumamente complicada. Quien quiere evaluar el impacto del producto que elabora, comienza por "escarbar" en su industria en búsqueda de toda la información posible. Pero toda industria tiene proveedores, que elaboran insumos en sus propias fábricas, que a su vez tienen otros proveedores. ¿Hasta dónde se debe continuar? Por otra parte, en la fabricación de casi cualquier producto, por ejemplo tomate, hace falta una o varias formas de energía en alguno o varios puntos de su cadena productiva. Pero la energía es obtenida en otro sistema industrial, muy ajeno al productor de tomates, quien no tiene ninguna información sobre cuáles son los impactos que produce. Puede producirse a partir de combustibles fósiles, de materiales fisibles, del caudal de un río o de otra fuente renovable de energía (radiación solar, viento, biomasa). A su vez la propia central eléctrica estará construida con distintos materiales, los cuales son elaborados en otros sistemas productivos, que a su vez consumen electricidad. Se comprende que al analizar un producto cualquiera, habrá que conocer todos los procesos que aparecen "aguas arriba". Por otra parte, los flujos residuales tendrán distinto impacto según cuál sea su tratamiento: incineración con recuperación de energía, reciclado, recuperación de materiales, disposición controlada, etc. Es decir, también será necesario conocer lo que ocurre "aguas abajo" del sistema que interesa.

Resulta claro que el número de flujos de materia y de energía que intervienen es sumamente grande y el modo como están relacionados entre sí es muy complejo; por lo tanto el estudio es muy costoso. Será necesario establecer estrategias que mantengan el análisis en un equilibrio que concilie la practicidad y la consistencia. Éstas pueden incluir la definición de reglas de corte, que desprecien aquellos flujos que contribuyan por debajo de cierto valor umbral. Esto se justifica en que por lo general un pequeño número de procesos es responsable de la mayor parte de los impactos. También se pueden especificar procesos o materiales que se dejarán afuera del estudio por otras causas, por ejemplo, por falta de información o porque ésta es

poco confiable, como muestra la siguiente figura. De este modo se establecen los límites del sistema en estudio, documentando las exclusiones e inclusiones.

Otro modo de establecer los límites del sistema a analizar se representa en la siguiente figura:

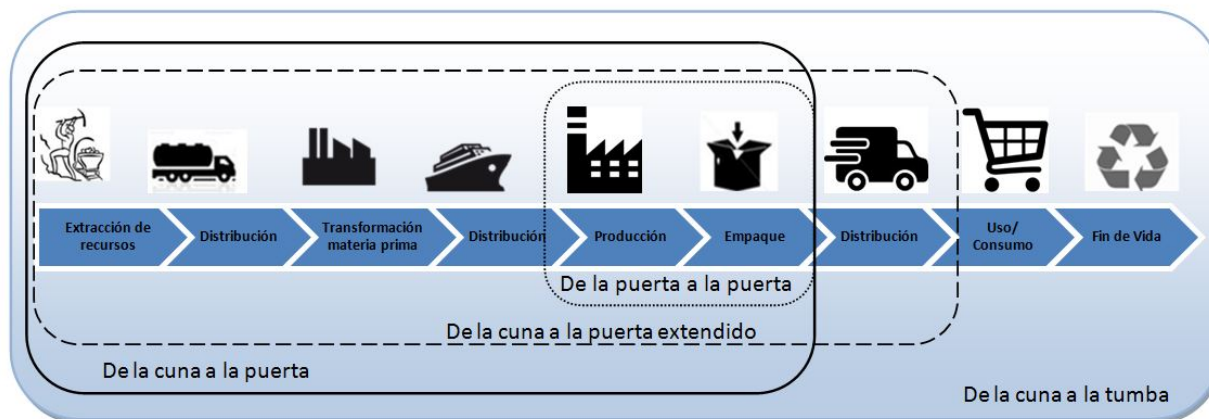


Figura 5. Límites del sistema típicamente utilizados en un Análisis del Ciclo de Vida

Si bien la definición del método adhiere a la representación de límites indicados dentro del recuadro azul (de la cuna a la tumba), es lícito modificar el alcance según el objetivo del estudio, siempre que éste 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 requeridas para la elaboración del producto, hasta que éste se encuentra en la planta listo para ingresar en el mercado, el estudio es conocido como de la cuna a la puerta (límites indicados con línea negra continua). Esto puede ampliarse para incluir alguna etapa posterior, por ejemplo el transporte hasta un centro de distribución (límites indicados con línea de guiones). 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 (límites indicados con línea punteada).

En los sistemas agrícolas la definición de los límites juega un rol muy importante. Algunos ejemplos de exclusiones e inclusiones son (Nemecek et al 2007):

- Considerar que el balance de carbono del suelo permanece constante, lo que implica que todo el C incorporado en la planta es tomado del CO₂ atmosférico
- Los impactos asociados a la producción y almacenamiento del abono de origen animal (incluyendo sus emisiones, la infraestructura necesaria) se asigna a esa cadena productiva (animal), no a los inventarios de los cultivos donde se usan.
- Las emisiones por aplicación de abono se consideran en el sistema agrícola.

- El eventual uso de aguas residuales como fertilizante agrícola se carga al sistema de tratamiento de aguas

La siguiente figura muestra un esquema de límites para un sistema de producción de leche.

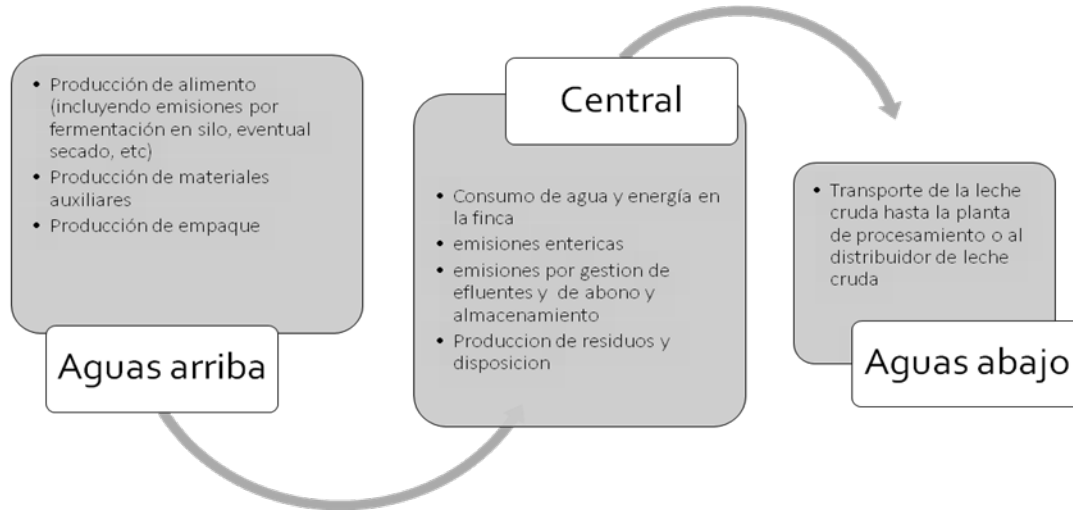


Figura 6. Límites para un sistema de producción de leche

IDENTIFICACIÓN DE FUNCIONES

Una característica distintiva del ACV es que relaciona el impacto sobre el ambiente con la función del producto analizado, es decir que el punto central no es el producto en términos físicos, sino el servicio o función que éste ejerce, y sobre esto es que se debe evaluar el impacto producido. La función es por lo tanto aquéllo para lo que debe servir el producto o servicio.

Por lo tanto, para poder comparar diferentes productos o sistemas debemos identificar su función y poder cuantificarla.

Algunos sistemas son multifuncionales, es decir satisfacen más de una necesidad. Por ejemplo algunos materiales aislantes poseen superficies coloreadas que hacen innecesaria la capa de pintura. En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos.

Tabla 1. Ejemplo de sistemas multifuncionales (sistemas que satisfacen más de una necesidad)

Ejemplo	1	2
Sistema	Vacuno	Cogeneración
Funciones	Producción de carne Producción de leche Producción de cuero Otros	Generación de energía eléctrica y producción de vapor

SELECCIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL

Una vez elegida la función se selecciona la unidad funcional, que representa la referencia elegida para expresar los resultados. Es decir, la unidad funcional (UF) es la cuantificación del servicio suministrado por el sistema, la unidad común que representa la función del sistema.

Los resultados de los cálculos de un Análisis de Ciclo de Vida se refieren a la unidad funcional; debe por lo tanto ser un valor cuantificable y aditivo.

Si por ejemplo se analizan distintos modos para secar manos (por ejemplo, secador eléctrico, toalla de algodón lavable, toallas de papel descartables), porque se quiere identificar el menos nocivo para el ambiente, se puede elegir como unidad funcional "secar 1000 pares de manos". Así se calculará el impacto de secar 1000 pares de manos con toallas de papel, secador eléctrico, toalla de algodón, y se obtendrá la respuesta sobre cuál es la mejor alternativa.

Ejemplos:

Función

- Para lo que debe servir (una o mas cosas)
- Es importante definir la función de un producto, más que el producto mismo

Functional Unit

- Cuantifica la función para mi estudio
- Permite la comparación entre productos

Flujo de referencia

- Cuantifica cuánto hace falta del product estudiado para cumplir con la unidad funcional



Ejemplo

Lápiz de madera vs automático

- Funcion = ?
- Unidad funcional =?



Función seleccionada: iluminar (también caliente)

Unidad funcional:

Proveer una iluminación de 600 lumen durante 6000 hs de uso.



IDENTIFICACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL PRODUCTO Y DEL FLUJO DE REFERENCIA

Una vez definida la unidad funcional, es necesario calcular la cantidad de producto necesaria para satisfacer la función cuantificada por la unidad funcional, lo que toma el nombre de Flujo de referencia.



Por ejemplo, siguiendo con el ejemplo de secado de 1000 pares de manos, el flujo de referencia para el caso de toallas de papel desechables podrían ser "2000 toallas de papel", si hiciera falta una toalla por mano (lo que constituye el rendimiento del producto "toalla de papel").

COMPARACIÓN DE PRODUCTOS

La definición de la unidad funcional está estrechamente relacionada con el objetivo del estudio. Si éste es la comparación de productos, se debe estar seguro que la comparación sea válida, que eventuales funciones adicionales han sido identificadas y descritas, y que todas las funciones relevantes han sido consideradas. En los estudios comparativos la selección de funciones es más importante que en estudios no comparativos. Por ejemplo, en el caso de botellas, es posible encontrar soluciones técnicas que satisfagan la función de protección de bebidas, pero que el productor o el consumidor no consideren como equivalentes o aceptables.

Es necesario cerciorarse que la comparación se basa en la misma unidad funcional y en consideraciones metodológicas equivalentes, como el rendimiento, los límites del sistema, la calidad de los datos, los procedimientos de asignación, etc.

Ejemplo: iluminación

Producto	Unidad Funcional	Flujo de referencia	Parámetros clave
Incandescente	600 lumen durante 6000 hs	6 de 60W 	Eficiencia: 10 lm/W Vida útil: 1000 hs
Compacta	600 lumen durante 6000 hs	1 de 11 W 	Eficiencia: 55 lm/W Vida útil: 6000 hs

11.2. EL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

El inventario es definido por la ISO como la "recopilación y cuantificación de entradas y salidas para un sistema producto a lo largo de su ciclo de vida" (ISO 14040 2006). Consiste básicamente en un balance de masa y de energía del sistema, aunque puede incluir otros parámetros como radiaciones, ruido, etc.

Durante la fase del inventario se calculan los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de los distintos componentes del sistema, y se identifican y cuantifican los flujos salientes del sistema, que se pueden manifestar como flujos gaseosos, líquidos o sólidos.

El inventario es la fase más laboriosa de un estudio de ciclo de vida. Sin embargo, las decisiones tomadas en las etapas anteriores (definición de objetivos y alcance), tienen muchas veces mayor influencia sobre los resultados.

DEFINICIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

El proceso a seguir para determinar las entradas y salidas de material del sistema y los límites del mismo está constituido por los siguientes pasos:

DETERMINACIÓN LOS PROCESOS UNITARIOS DEL PRODUCTO DEL SISTEMA

Los procesos unitarios son las menores porciones del sistema para las cuales existen datos disponibles. Para cada proceso unitario, definido como el elemento más pequeño considerado en el análisis de inventario para la cuantificación de entrada y salida de datos, se determinan las entradas de materia prima o intermedia, las entradas de material auxiliar, las entradas de energía, las emisiones al suelo, al aire, al agua, los deshechos a tratamiento, el producto intermedio y el subproducto.

RECOLECCIÓN INICIAL DE DATOS PARA CADA PROCESO UNITARIO

El inventario de un cierto producto está compuesto de datos primarios o propios y secundarios o de fondo. Los datos propios son específicos del sistema en estudio. Sin datos propios no hay resultados específicos. Los datos de fondo son los que no están dentro del alcance del sistema en estudio, como la matriz energética.

Tanto los datos propios como los ajenos deben respetar los mismos principios comunes (consistencia, transparencia, etc.), para que los resultados sean atendibles. Sin principios comunes no hay resultados consistentes.

Una buena práctica es la de diseñar y enviar un cuestionario a los proveedores, quienes a su vez pueden copiarlo y enviarlo a sus propios proveedores.

Para cada proceso unitario se debe establecer claramente la unidad de referencia (por ej. kg), los límites del proceso unitario considerado, la materia prima que requiere, la energía, los flujos salientes, los embalajes que intervienen, los productos de limpieza y materiales auxiliares. Otros datos importantes son la situación geográfica, la tecnología utilizada, la validez temporal, etc.

Para cada entrada o salida, es necesario calificar el dato conseguido, como por ejemplo si se trata de un promedio el período al cual corresponde, cómo se ha recogido el dato (medición continua, consumo acumulado, estimado, etc.), métodos de medición utilizados, métodos de cálculo utilizados, datos sobre la persona que recolectó los datos, etc. También es necesario indicar, si es posible, la información estadística como el desvío estándar, tipo de distribución,

etc..Otra información importante es la proveniencia de los flujos de entrada, y el destino de los flujos de salida, así como las características cualitativas.

El transporte se debe reportar en lo posible como un proceso unitario separado. El sistema de transporte utilizado se caracteriza por sus tres componentes:

- La infraestructura involucrada (rutas, conductos, puertos, aeropuertos)
- El medio de transporte (camiones, buques, avión, etc.)
- El vector energético (diesel, eléctrico, gas, etc.).

Se debe incluir información sobre viajes de vuelta vacíos o llenos.

APLICACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN

- a- Para la masa: Es frecuente aplicar reglas para flujos de entrada del sistema, por ejemplo todo flujo cuya masa sea inferior a un porcentaje determinado del total de masa entrante a dicho proceso se descarta, o bien establecer un porcentaje de contribución acumulada al sistema estudiado (por ej. la suma de los materiales incluidos deben superar el 99 % del total de masa entrante).
- b- Para la energía se puede adoptar un criterio semejante: incluir procesos hasta que se exceda un porcentaje fijo (por ej 99 %) del consumo total de energía.

LA ASIGNACIÓN DE CARGAS

El objeto de estudio del ACV es un sistema, y no un producto, por lo que cuando el sistema elabora más de un producto útil (por ejemplo en una destilería, central de cogeneración, etc.), es necesario repartir entre ellos la cantidad de recursos utilizados por el sistema, y los problemas ambientales que su funcionamiento origina. Esto ocurre en casi todos los sistemas modernos.

La asignación de cargas ambientales en sistemas multiproductos tiene una estrecha relación con el alcance del estudio y con el establecimiento de los límites del sistema-producto analizado.

Los distintos enfoques adoptados para la asignación pueden clasificarse en dos metodologías principales: consecuente y por atributos.

El primero utiliza datos marginales de modo de evitar la realización explícita de una asignación, mediante una expansión de los límites del sistema que incluya aquellos sistemas productos cuyos mercados, y consecuentemente, su producción, sean afectados por el sistema analizado. Por ejemplo, en la producción de una planta de transesterificación, en la que se considere que se obtienen dos productos, biodiesel y glicerina, la expansión de límites respondería al siguiente esquema:

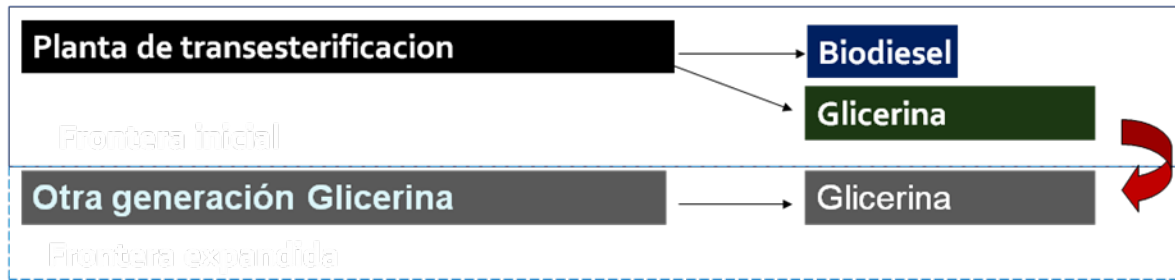


Figura 7. Ejemplo de asignación de cargas por expansión de límites en un sistema multiproducto

El procedimiento exigiría realizar un inventario de procesos alternativos que elaboren glicerina, y sustraer las emisiones de este proceso del sistema original para determinar el impacto a asignar al biodiesel.

El enfoque por atributos utiliza en cambio datos promedio específicos de los proveedores del sistema analizado, y resuelve la asignación de cargas entre co-productos mediante factores de asignación, que pueden basarse en propiedades tales como la masa, el poder calorífico, la energía, el valor económico, etc.

Existen varios criterios para resolver este problema por métodos de atributos, que son los más clásicos. La primera cuestión a definir es un parámetro común a todos los productos para utilizar como base de asignación de los costos. Entre los parámetros más utilizados para distribuir las cargas energéticas y ambientales en un sistema multiproducto se encuentran la masa, el valor económico, o la energía asociada a cada flujo saliente.

La Norma ISO 14044 establece el siguiente criterio preferente:

- Donde sea posible, se debe evitar la asignación mediante:
 - División del proceso unitario a asignar entre dos o más subprocesos y recolectar los datos de entrada y salida (input y output) relacionados con ellos;
 - expansión del sistema producto para incluir funciones adicionales relacionadas con los co-productos
- Repartir inputs y outputs del sistema entre sus distintas funciones de modo que refleje las relaciones físicas que subyacen entre ellas (por ej. masa, contenido energético, contenido exergético).
- Repartir datos de input y output entre los co-productos en proporción a su valor económico.

LIMITACIONES DEL INVENTARIO

La etapa del inventario no produce una caracterización de los impactos ambientales potenciales, sino que comunica solamente entradas y salidas. Estos resultados pueden conducir a extraer conclusiones erróneas por sobreestimación o subestimación de la importancia real de los resultados. Por ejemplo grandes volúmenes de emisiones pueden

parecer más dañinos que volúmenes bajos, si no se tiene en cuenta su potencial para causar algún daño ambiental. Es por lo tanto necesario tener precaución cuando se interpretan los resultados del inventario sin pasar por una etapa de evaluación de los impactos.

Otro aspecto importante es que en los resultados del inventario hay una incertidumbre debida a la acumulación de los efectos introducidos por la incertidumbre de los datos utilizados. Un estudio de incertidumbre aplicado al inventario puede ser incluido para explicar y soportar las conclusiones del mismo.

Por otro lado, durante el inventario se pueden agregar emisiones que ocurren en distintas operaciones, lugares geográficos y tiempos, o aún emisiones de distintos tipos. Esto puede producir una pérdida de transparencia en los resultados obtenidos.

Por último, el inventario es sólo un instrumento entre los varios existentes para asistir en la toma de decisiones basada en consideraciones ambientales. Otras técnicas pueden ser la evaluación de riesgos o la evaluación de impactos in situ, que pueden ser utilizadas en combinación con el inventario cuando el objetivo del estudio lo justifique.

11.3. LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA

El resultado que se obtiene de la etapa del inventario, consiste en una gran cantidad de datos, que por lo general son ordenados en una tabla. Dado el elevado número resultados datos obtenidos (que pueden alcanzar centenares de valores), es muy difícil hacer una evaluación ambiental de un producto o sistema a partir de ellos.

Es por este motivo que luego del inventario sigue la fase de evaluación de impactos, que consiste en un proceso para caracterizar y estimar los efectos de los resultados del inventario, donde se evalúan las modificaciones ambientales y los consumos de recursos producidos.

En general se habla de “impactos potenciales”, ya que durante el inventario se realiza una agregación de los valores de emisiones de las distintas sustancias que han sido producidas en las distintas fases y componentes del sistema.

La fase de evaluación de impactos completa consta de los siguientes puntos obligatorios según la ISO 14040:

- definición de categorías
- clasificación
- caracterización.

Existen además otros elementos opcionales que pueden utilizarse dependiendo del objetivo del estudio:

- normalización: consiste en el cálculo de magnitudes de los indicadores relativos a valores de referencia
- agrupamiento: ordenamiento y ranking de los indicadores

- ponderación: consiste en la conversión y agregación de indicadores entre categorías de impacto
- análisis de calidad de los datos: estimación de la confiabilidad de los resultados de la fase de evaluación de impactos.

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS

Consiste en definir las categorías de impacto que se considerarán en el estudio, y en clasificar los impactos producidos por las distintas sustancias, definiendo equivalencias entre las distintas sustancias que concurren a un efecto particular a través factores de clasificación.

La clasificación consiste en la asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto identificadas. Durante la clasificación se condensan los resultados del inventario en un número limitado de aspectos ambientales estudiados, lo que permite realizar una primera interpretación del ACV.

A partir de la intervención ambiental aparece una cadena de eventos físicos, químicos y biológicos que relacionan el flujo elemental con una categoría ambiental afectada, que se llama proceso ambiental. Las categorías pueden considerarse en el punto final de esa cadena (por ejemplo, pérdida de biodiversidad, o daños sobre la salud humana, o sobre los recursos), o bien en algún punto anterior (por ejemplo, el cambio climático, o el adelgazamiento de la capa de ozono, o la acidificación).

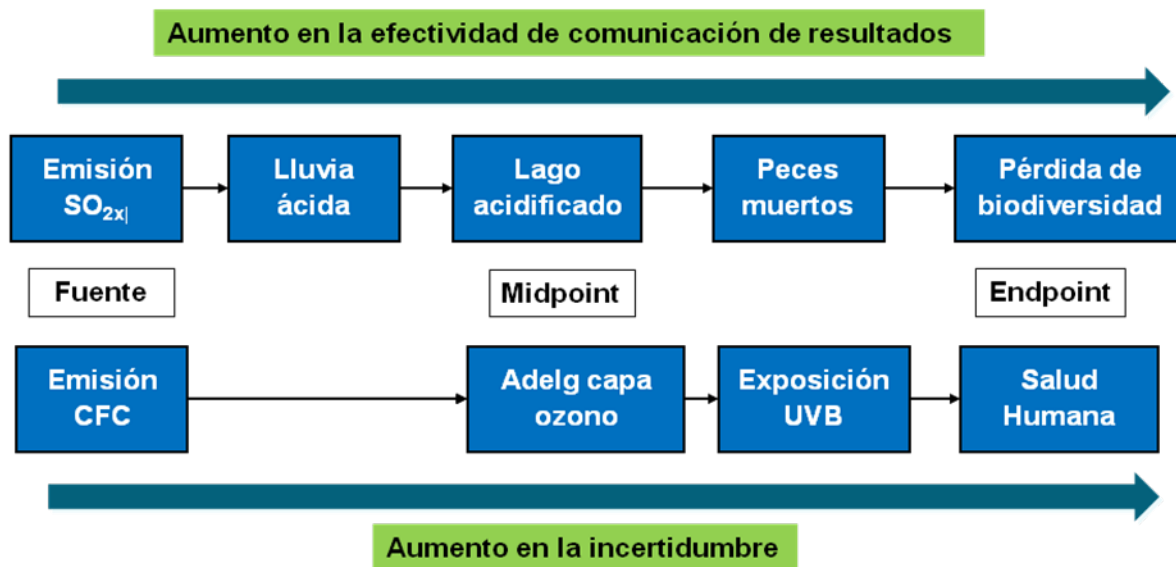


Figura 8. Ejemplo de una secuencia de cálculo de Categorías de impacto Midpoint y Endpoint

Mientras más cerca se considere del punto final, mayor la claridad de interpretación, pero mayor es la incertidumbre de los modelos involucrados.

Las categorías de impacto de punto intermedio se clasifican también en función de la escala en la que actúan (global, regional y local).

Tabla 2. Categorías de Impacto Midpoint (punto intermedio) en función de la escala en la que actúan (fuente: Badino et al., 1998)

ESCALA	EFEECTO
Global	Efecto invernadero
	Adelgazamiento de la capa de ozono
	Consumo de recursos no renovables
Regional	Acidificación
	Eutrofización
	Formación de smog fotoquímico
	Toxicidad crónica
Local	Toxicidad aguda
	Degradación del área
	Disturbios de tipo físico (por ej. ruidos molestos)

Entre los impactos con efecto regional se encuentran aquéllos producidos por emisiones en el aire de sustancias contaminantes que actúan negativamente a distancia gracias a los movimientos del aire y a la presencia de gradientes térmicos. La emisión de sustancias que producen efectos negativos a nivel regional interesan no sólo al país donde se producen, sino también a sus limítrofes.

CARACTERIZACIÓN

Consiste en el cálculo de los resultados de los indicadores de categorías, que se realiza multiplicando el intercambio ambiental producido por un factor que representa cuánto contribuye ese intercambio ambiental a un determinado impacto ambiental. Si una determinada emisión o consumo, contribuye a más de un impacto ambiental, tendrá un factor de impacto para cada uno de esos impactos.

Como ya establecido, los métodos más tradicionales de evaluación de impacto en ACV determinan impactos potenciales, es decir, se concentran en la cantidad de sustancias emitidas, sin considerar lugar y momento de la emisión, y se traducen en un impacto potencial a través de factores de caracterización.

Al finalizar la etapa de clasificación y caracterización, se tiene una lista de una decena de impactos, en lugar de centenas que había al finalizar el inventario.

Se muestra como ejemplo la caracterización para la categoría efecto invernadero.

El efecto invernadero potencial causado por un proceso se puede estimar calculando el producto de la cantidad de cada gas invernadero emitido por kg de material producido y el potencial de efecto invernadero en kg equivalentes de CO₂ por cada kg de ese gas. Esto se realiza para cada gas, y al final se suman las contribuciones que cada uno de ellos realiza:

$$\text{Efecto invernadero potencial (kg equiv. CO}_2\text{)} = \sum GWP_i \cdot m_i$$

La siguiente tabla resume distintos impactos de punto intermedio, los factores de clasificación y las unidades de medida comúnmente utilizadas:

Tabla 3. Efectos ambientales, factores de clasificación y unidad de medida (Fuente: Dessy P. et al., 1996)

EFECTO AMBIENTAL	FACTOR DE CLASIFICACIÓN		UNIDAD O SUSTANCIA GUIA (mayormente responsable del efecto)
Aumento del efecto invernadero	GWP (Global Warming Potential)		kg de dióxido decarbono equivalente (CO ₂)
Deterioro de la capa de ozono	ODP (Ozone Depletion Potential)		kg de triclorofluorometano equivalente (CFC ₁₁)
Toxicidad humana	HCA (<i>aire</i>) HCW (<i>agua</i>) HCS (<i>suelo</i>)	TOX (hombre) TOX (eco-sistema)	kg de peso corporal contaminado al límite máximo diario aceptable
Formación de oxidantes fotoquímicos	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)		kg de etileno equivalente (C ₂ H ₄)
Acidificación	AP (Acidification Potential)		kg de dióxido de azufre equivalente (SO ₂)
Eutrofización	NP (Nutrification Potential)		kg de fosfato equivalente (composición media de: C ₁₀₆ H ₂₆₃ O ₁₁₀ N ₁₆ P)
Deterioro del territorio			km ² sujetos a deterioro por causas legadas a: - ruidos > 50 dB(A) - olores > 1 unidad de olor por m ³ - accidentes >10E6 riesgo de 1 mortalidad por año
Deterioro de los recursos naturales			Toneladas por escasez. El peso relativo está determinado por el grado de escasez que se mide en años que faltan hasta la extinción del recurso en cuestión, sobre la base de los consumos mundiales de recursos.

NORMALIZACIÓN DE LOS IMPACTOS

Finalizada la fase precedente, se encuentra que los distintos efectos ambientales de punto intermedio presentan unidades de medida distintas. Si se desea obtener para cada proceso estudiado un perfil sintético apto para ser confrontado con otros perfiles, será necesario normalizar los resultados. Los distintos perfiles ambientales se comparan entre sí.

Existen varios los parámetros de normalización, muchos de los cuales están ligados a consideraciones artificiosas. A continuación se presentan algunos ejemplos:

1. El método del *Centre of Environmental Science* (CML - *University of Leiden*, Holanda), propone transformar los distintos impactos en una "incidencia ambiental" expresada en años, relacionando las emisiones de, por ejemplo CO₂ del producto analizado, con el volumen anual de emisiones de CO₂.
2. El método danés de la Universidad de Copenhague propone el concepto de "person-equivalent", relacionando el impacto producido por el producto con el impacto de una persona (promedio mundial, o nacional).
3. El método suizo del Volumen Crítico "Swiss Critical Volume Approach" tiene como base la evaluación de un valor crítico, que puede ser por ejemplo el valor límite establecido por ley para los distintos tipos de emisiones en los países donde se realiza el estudio.
4. Un cuarto método desarrollado por el Swedish Environmental Research Institute, denominado Environmental Priority Strategies (EPS), utiliza una unidad de carga ambiental expresada en términos monetarios y calculada en función de lo que costaría mantener intacta la situación ambiental actual o para restablecer la situación precedente a un efecto determinado provocado por un proceso o sistema productivo.

Una vez que los impactos han sido normalizados se obtiene el perfil ambiental del proceso productivo, o por ejemplo del producto edilicio.

PONDERACIÓN

La ponderación requiere de juicios de valor sobre la importancia relativa de las categorías de impacto. Esto no puede hacerse sobre la base de las ciencias naturales. Sirve para expresar los resultados en un valor único, que permita comparar directamente dos o más productos alternativos a través de un indicador.

Por ejemplo, puede resultar que en la comparación entre dos sistemas uno contribuya mayormente al efecto invernadero, mientras el otro cree mayores riesgos para la salud humana. Resulta necesario por lo tanto establecer prioridades entre las categorías de impacto, lo que está relacionado con juicios de valor subjetivos.

Esta fase no se encuentra estandarizada, ya que no existe consenso sobre la metodología y los parámetros a utilizar.

LIMITACIONES DE LA ETAPA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Los aspectos ambientales que son analizados y reportados en esta fase corresponden solamente a aquéllos que han sido identificados en los objetivos del estudio, y no constituyen un reporte completo desde el punto de vista ambiental. La fase de evaluación de impactos no predice excedencia de valores límites, márgenes de seguridad o riesgos. Por ejemplo, en general los resultados de esta fase no incluyen información espacial, temporal, valores máximos admisibles ni del tipo dosis-respuesta (excepto en los citados casos de factores dependientes del sitio). Además, se suelen combinar emisiones y actividades realizadas en distintos lugares y momentos, lo que puede disminuir la relevancia de los resultados.

Por otro lado, no obstante esta fase se basa en un procedimiento técnico y científico, el uso de valores predefinidos para la selección de categorías de impacto, indicadores y modelos y en la agrupación y la ponderación u otros procedimientos utilizados en normalización de resultados puede ser cuestionable.

11.4. EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN.

En esta fase los hallazgos realizados en las dos fases precedentes se combinan para establecer las conclusiones y recomendaciones del estudio, en modo coherente con los objetivos del estudio establecidos al inicio. En aquellos casos en los que no se ha llevado a cabo la etapa de la evaluación de impactos, la interpretación se basa sólo en los resultados del inventario.

Las etapas de esta fase son las siguientes:

1. identificación de aspectos significativos basados en los resultados del inventario, de la evaluación de impactos o de ambas
2. evaluación, que incluye pruebas de la integridad del estudio, la sensibilidad y la consistencia
3. conclusiones, recomendaciones y comunicación de los aspectos relevantes.

12. EL ACV Y LAS HUELLAS COMO HERRAMIENTAS DE GESTIÓN Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Las compañías/industrias y las administraciones necesitan herramientas para evaluar y gestionar los impactos ambientales de sus procesos, especialmente aquéllos relacionados con el agua, ya que los riesgos relacionados con la disponibilidad de agua tenderán a cobrar cada vez más importancia a nivel internacional.

Entre los citados riesgos se destacan:

Riesgos físicos: Acceso a recursos hídricos y servicios relacionados

Riesgos legales: Regulaciones y procedimientos administrativos

Riesgos de mercado: Responsabilidad Social Empresaria (RSE) y reputación frente a los consumidores

Riesgos financieros: Los precios del agua y la energía en constante aumento lo que puede provocar una disminución de los beneficios.

El ACV en general y las huellas como la Huella de Carbono (HC) o la huella hídrica (HH) se enmarcan dentro de las denominadas “herramientas voluntarias de gestión ambiental”, entre las que destacan las ecoetiquetas (ISO 14020, 12021), los sistemas de gestión ambiental (ISO 14001, ISO14004) y los ACV (ISO 14040-44) entre otros.

La introducción de estas herramientas de gestión ambiental tiene entre otros beneficios la disminución de: (i) impactos ambientales, (ii) consumos de recursos y (iii) generación de residuos acompañados al mismo tiempo de un incremento de la eficiencia en el uso de materiales y energía lo que conlleva una disminución de costos en el proceso de producción.

Además, la mejora de la sostenibilidad ambiental es una gran herramienta tanto de comunicación como de concientización ambiental entre los potenciales consumidores. Ser ecológico cada vez es más atractivo como estrategia empresarial, las prácticas ambientalmente sostenibles en la industria no sólo disfrutan el sentimiento favorable de la opinión pública, sino que también contribuyen al aumento del ahorro de costos, a políticas gubernamentales favorables y en general, a aumentar cada vez más la rentabilidad. Todo parece indicar, que las tendencias en el consumo y las nuevas políticas gubernamentales así como el aumento de la competitividad empresarial se dirigen aún más hacia una conversión a la “industria verde” en los próximos años.

13. DONDE SE PUEDE OBTENER MÁS INFORMACIÓN?

Existe un enorme número de sitios que contienen información sobre la metodología, el concepto y el pensamiento de ciclo de vida. El siguiente es un listado muy limitado que se presenta como ejemplo.

www.lifecycleinitiative.org/es/

www.setac.org

www.life-cycle.org

www.rediberoamericanadeciclodevida.wordpress.com/

www.eiolca.net

www.spold.org

<http://www.doka.ch/lca.htm>

www.lcacenter.org

www.ecomed.de/journals/lca

www.ecomed.de/journals/lca/village/aboutLCA_village.htm

www.yale.edu/is4ie

www.mitpress.mit.edu

14. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Annika Carlsson-Kanyama (1998). Climate change and dietary choices — how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy*. Volume 23, Issues 3–4, November 1998, Pages 277–293

Arena, A.P. (1998) The allocation problem in Life cycle Assessment. Presentado en la "School of Environmental Science and Technology"(EdEA), Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires (Argentina), del 24 al 28 de agosto.

Arena, A.P. (2006). Impactos ambientales de las construcciones e infraestructuras urbanas durante el ciclo de vida. Jornadas de Urbanismo "Piensa urbana Mendoza". Colegio de Arquitectos de Mendoza. 10-11 de Noviembre de 2006. Mendoza (Argentina).

Badino, V., Baldo, G.L. (1998). LCA. Istruzioni per l'uso. Progetto Leonardo. Bologna (Italia)

Bare, J., Pennington, D., Udo de Haes, H. (1999). Life Cycle Impact Assessment Sophistication. International Workshop. *Int. Journal of LCA*, Vol 4, N° 5, pag. 299-306.

Bengtsson, G. (1995). Working environment in LCA.. 2nd SETAC World Congress, Vancouver, November 5-9 1995. Molndal: IVF Swedish Institute of Production Engineering Research.

Bengtsson, G., Berglund, R. (1996). Life Cycle Assessments including the Working environment. Summary of methods and case studies. Molndal: IVF Swedish Institute of Production Engineering Research. (IVF Research Publication N° 95859).

Boustead, J., Hanckock, (1979). Handbook of industrial analysis.

Christel Cederberga, Berit Mattsson (2000). Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production*. Volume 8, Issue 1, February 2000, Pages 49–60

Civit, B., Arena, A.P. Terrestrial acidification: is it an impact category or relevance for ACV studies in the Argentinean western arid region?. 2nd International Conference on Quantified Eco-Efficiency Analysis for Sustainability. 28 - 30 June, 2006. Egmond aan Zee – The Netherlands

Civit, B., Arena, AP (2006). Towards the identification and calculation of characterization factors for land use in western Argentina. Expert Workshop: definition of best indicators for land use impacts in Life Cycle Assessment". University of Surrey, Guildford, 12-13 Jun 2006.

Daesoo Kim, Greg Thoma , Darin Nutter, Franco Milani, Rick Ulrich, Greg Norris (2013). Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. The International Journal of Life Cycle Assessment. June 2013, Volume 18, Issue 5, pp 1019-1035

Dessy P., Morfini L., Nironi L. (1996), Dalla fabbrica alla discarica, rivista Modulo, n. 223, pp. 606-610, julio-agosto

Dolle J.B., Gac A., Le Gall A. (2009). L'empreinte carbone du lait et de la viande bovine. Renc. Rech. Ruminants, 2009, 16 AIPE, (1998) EPS Il polistirene e l'impatto ambientale, Ed. BE-MA, Milán, mayo

Erlandsson, M., Levin, P., Myhre, L. (1997). Energy and Environmental consequences of an Additional Wall Insulation of a Dwelling. Building and Environment, Vol 32, N. 2

F Brentrup, J Küsters, H Kuhlmann, J Lammel (2001). Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers

Finnveden, G. (1996). Part III: Resources and related impact categories. In: Udo de Haes (ed). Towards a methodology for life cycle impact assessment. SETAC-Europe. Brussels.

Finnveden, G., Andersson-Skold, Y., Samuelsson, M-O, Zetterberg, L., Lindfors L-G (1992). Classification (impact analysis) in connection with life cycle assessments – a preliminary study. In Product life cycle assessment – principles and methodology. Nord 1992:9. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Fornaro M., (1998). Elementi per la valutazione dell'impatto ambientale di un sistema edilizio, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, relatore: prof. Marco Filippi, Año académico 1997/98

Fullana, P., Puig, R. (1997). Análisis del ciclo de vida. Rubes editorial, S.L. España.

Goedkoop , M. (1995). Eco-Indicator 95, weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, Final report. RIVM.

Goedkoop , M. (1997). The Eco-Indicator 97 Explained. Proceedings of Eco-Indicators for products and materials. State of Play'97. An International Workshop. Toronto, Ontario, November 25 1997.

Goedkoop , M., Spriensma, R. (1999). Eco-Indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report and appendix. Pré Consultants, Netherlands. <http://www.pre.nl/ecoindicator99/index.html> .

Guinée, J., Heijungs, R. (1993). A proposal for the classification of toxic substances within the framework of LCA of products. *Chemosphere* 26

Guinée, J., Heijungs, R., van Oers, L., van de Meent, D., Vermeire, T., Rikken, M (1996). LCA impact assessment of toxic releases. Generic modelling of fate, exposure and effect for ecosystems and human beings with data for 100 chemicals. RIVM report n. 1996/21.

Hauschild M., Wenzel, H. (1997). Global warming as assessment criteria in the EDIP-method. In Hauschild M., Wenzel, H. (eds). *Environmental assessment of products. Vol II: Scientific background*. London: Chapman and Hall.

Heijungs R., Guinée J.B., Huppes, G., Lankreijer R.M., Udo de Haes, H., Sleswijk A., Ansems, A., Eggels, P., van Duin R., de Goede, H.(1992). *Environmental Life Cycle Assessment of products. I. Guide. II. Backgrounds*. Leiden, CML.

Hertwich, E., Pease, W., Koshland, C. (1997). Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. *The science of the Total environment*, Vol 196, (1997), pp. 13-29. Elsevier.

Hertwich, E., Pease, W., McKone, T. (1998). Evaluating toxic impact assessment methods. What works best?. *Environmental science & Technology*, Vol 32, N° 5. American Chemical Society.

ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment –Principles and framework

ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

Jensen, A., Elkington, J., Christiansen, K., Hoffmann, L., Moller, B., Schmidt, A., van Dijk, F. (1997). *Life cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources*. Final Report. Report to the European Environment Agency, Copenhagen. Dk-TEKNIK Energy & Environment.

Johanna Berlin (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi hard cheese. *International Dairy Journal*. Volume 12, Issue 11, 2002, Pages 939–953

Jolliet, O., Crettaz, P. (1996). Critical surface-time 95 (CST 95). A Life cycle impact Assessment methodology including exposure and fate. Laussane: EPFL Swiss Federal Institute of Technology, AITE-HYDRAM Institute of Soil and water management.

Kägi, T., Zschokke, M., & Dinkel, F. (2012). *Nutrient based functional unit for meals*. Paper presented at the 8th international conference on LCA in the agri-food sector, St-Malò, France.

Kendall, Brodt 2012 Comparing Alternative Nutritional Functional Units for Expressing Life Cycle Greenhouse Gas Emissions in Food Production Systems

Krewitt, W., Mayerhofer, P., Trukenmüller, A., Friedrich, R. (1998). Application for the impact pathway analysis in the context of LCA. The long way from burden to impact. *Int. J. of LCA*, Vol, 3, N° 2 (1998). Pp. 86-94. Ecomed publishers, Germany.

Life cycle assessment of drinking Darjeeling tea. Conventional and organic Darjeeling tea . Geneviève Doublet Niels Jungbluth ESU-services Ltd (2010)

Lippiatt B., (1997) BEES, in "Environmental and Economic Balance: The 21st Century Outlook" Conference, Miami, Florida, november.

Llorenç Milà i Canals, Roland Clift, Lauren Basson, Yvonne Hansen and Miguel Brandão. Con contribuciones de Alejandro Pablo Arena, Christian Bauer, Christel Cederberg, John Gardner, Wanja Margaret Kinuthia, Jesper Kløverpris, Constantinos Kosmas, Pascal Lesage, Jim Lynch, Ottar Michelsen, Ruedi Müller-Wenk, Joan Romanyà, Alexandre Rosado, Bernt Rydgren, Rita Schenck, James Schepers, Jo Treweek, Sonia Valdivia, Hayo van der Werf, Elena Vanguelova (2006). State-of-the-Art: Land Use in LCA. Expert Workshop on Land Use Impacts in Life Cycle Assessment (LCA). *International Journal of LCA* 11 (5) 363 – 368 (2006)

Nemecek, T., Kagi, T (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. *Ecoinvent report*. N 15.

Odum, Howard (1980). *Ambiente, energía y sociedad*. Editorial Blume, Barcelona 1980. Pag. 50.

Pérez Gutiérrez, Francisco Alberto (2013). Análisis del ciclo de vida comparativo de una mermelada de naranja ecológica y no ecológica Trabajo de fin de carrera. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales

Poritosh Roy, Daisuke Nei, Takahiro Orikasa, Qingyi Xu, Hiroshi Okadome, Nobutaka Nakamura, Takeo Shiina (2009) A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*. Volume 90, Issue 1, January 2009, Pages 1–10

Powell, J., Pearce, D., Craighill, A. (1997). Approaches to valuation in LCA impact assessment. *Int. J. LCA*, Vol 2., N. 1 (11-15)

Roveda L. (1997) Valutazione della qualità ambientale di alcune soluzioni tecnologiche. Le pareti perimetrali verticali in laterizio, Tesi di Laurea in Architettura, Politecnico di Milano, relatore: S. Piardi, Año académico 96/97

Thomas Nemecek, , David Dubois, Olivier Huguenin-Elie, Gérard Gaillard (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems I. Integrated and organic farming. *Life cycle assessment of Swiss farming systems I. Integrated and organic farming*

Thomas Nemecek, Olivier Huguenin-Elie, David Dubois, Gérard Gaillard, Britta Schaller, Andreas Chervet. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems*. Volume 104, Issue 3, March 2011, Pages 233–245

Weidema B (1999), System expansions to handle co-products of renewable materials. Pp 45-48 in Presentation Summaries of the 7th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe, 1999

Weidema B (2003), Market information in life cycle assessment. Environmental Project No. 863 2003. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema B P, A M Nielsen, K Christiansen, G Norris, P Notten, S Suh and J Madsen (2005a), Prioritisation within the Integrated Product Policy. Environmental Project No. 980 2005, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema B, Hauschild M and Jolliet O (2007), Stepwise 2006 – a new environmental impact assessment method. International Journal of Life Cycle Assessment (In prep.). Ecomed Publishers, Landsberg

Weidema B, N Frees, E H Petersen and H Ølgaard (2003), Reducing Uncertainty in LCI - Developing a Data Collection Strategy. Environmental Project No. 862 2003. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen
Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L. (1997). Environmental assessment of products. Vol 1: Methodology, tools, techniques and case studies in product development. Chapman & Hall. London.

Weidema, B., Mortensen, B., Nielsen, P. (1996). Characterization of resource depletion. Section 3 en Elements of an impact assessment of wheat production. Lyngby: Institute for product development.