

Análisis de Ciclo de Vida

Master en Ingeniería y Gestión
Medioambiental

2016

PROFESORA:
Esperanza Haya Leiva

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1.	1. Concepto de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	4
	1.1. Definición de Análisis de Ciclo de Vida	4
	1.2. Etapas del Ciclo de Vida	5
	1.3. Conceptos relacionados con ACV	7
	1.4. ACV en el contexto de la serie ISO 14000	8
	2. Evolución histórica del ACV	10
	3. Aplicaciones del ACV	13
	3.1. El ACV en el contexto de las legislaciones española y comunitaria	13
	3.1.1. ACV en el contexto de la normativa comunitaria	14
	3.1.2. El ACV en el contexto de la normativa española.....	15
	3.2. El ACV como herramienta para la industria y para la administración	
	16
	3.2.1. Aplicaciones del ACV para el sector industrial	16
	3.3.2. Aplicaciones del ACV para la administración	17
	4. Etapas de desarrollo de un ACV	18
	4.1. Definición del objetivo y alcance del estudio	19
	4.1.1. Sistema de producto, funciones y unidad funcional	21
	4.1.2. Límites del sistema.....	21
	4.1.3. Asignación de cargas ambientales, tipo de impacto a	
	evaluar y metodología de evaluación e interpretación	22
	4.1.4. Tipos y fuentes de datos.....	25
	4.1.5. Requisitos de calidad de los datos	26
	4.1.6. Revisión crítica.....	26

4.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	27
4.3. Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	28
4.3.1. Selección de categorías de impacto	29
4.3.2. Clasificación	34
4.3.3. Caracterización	34
4.3.4. Elementos opcionales de la EICV	35
4.4. Interpretación del ACV	37
4.4.1. Identificación de aspectos significativos	39
4.4.2. Evaluación: verificación de los análisis de integridad, sensibilidad, y coherencia	40
4.4.3. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones	41
5. Revisión crítica.....	41
6. Documentos de interés	42

1. Concepto de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

1.1. Definición de Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (esto es, de la cuna a la tumba). En los inicios de su uso se le denominaba también ecobalance o análisis del perfil ambiental.

En la norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia), se define el Análisis de Ciclo de Vida como una técnica que trata los aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, mediante:

- la recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto (producto/proceso en estudio);
- la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario;
- la interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.

Las normas de referencia para la realización de un ACV son:

- Norma UNE-EN ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)
- Norma UNE-EN ISO 14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices (ISO 14044:2006)

Si bien todos los ACV deben cubrir las mismas etapas, el nivel de detalle no es el mismo en todos ellos, ya que depende del objetivo a cubrir. Ello da lugar a la diferenciación de tres tipos de ACV:

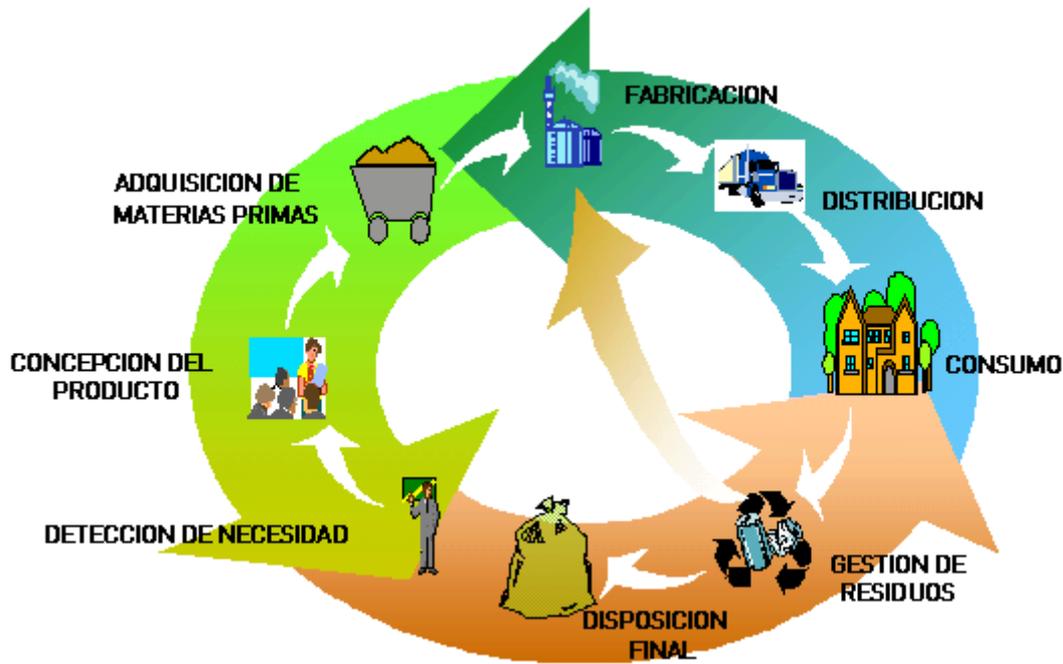
- **ACV conceptual.** Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales.
- **ACV simplificado.** Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomando sólo en consideración datos genéricos y abarcando el Ciclo de Vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados.
- **ACV completo.** Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

1.2. Etapas del Ciclo de Vida

En el contexto del Análisis del Ciclo de Vida, se incluye el estudio y la cuantificación de los impactos ambientales asociados a la vida de un producto, proceso o actividad desde “la cuna a la tumba”, esto es, el conjunto de las siguientes etapas: adquisición de materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida útil.

Cada una de estas etapas tiene asociados unos inputs (principalmente consumo de materias primas y energía) y unos outputs (esencialmente residuos y emisiones). En la figura siguiente se muestran las relaciones entre ellos.

Gráfico 1. Etapas del Ciclo de Vida



A la vista de las etapas que conforman el ciclo de vida, es habitual encontrarse con alcances diferentes en el desarrollo de un ACV, siendo los más habituales:

- De la puerta a la puerta (Gate to gate): considera únicamente las actividades (proceso productivo) de la empresa a la que se aplica.
- De la cuna a la puerta (Cradle to gate): toma en consideración desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- De la puerta a la tumba (Gate to grave): considera el proceso productivo de la empresa y abarca hasta la fase de gestión de los residuos a que da lugar el producto.
- De la cuna a la tumba (Cradle to grave): estudia desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos (reciclaje u otros).
- De la cuna a la cuna (Cradle to cradle): considera el ciclo de vida completo del producto, ya que abarca desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto, tras quedar fuera de uso, es reintroducido en el mismo proceso productivo o en otro.

1.3. Conceptos relacionados con ACV

Los fundamentos del ACV y su metodología están relacionados y se toman en consideración en conceptos que actualmente son muy utilizados en el campo del medio ambiente y la sostenibilidad:

- **Compra Verde:** es la toma en consideración de los impactos ambientales (además de los económicos, técnicos u otros) de un producto en todo su ciclo de vida en el proceso de compra o de contratación del mismo.
- **Declaraciones ambientales de producto (EDP):** es un certificado que se otorga a un producto, material o servicio, por aportar información ambiental de sus impactos a lo largo de su ciclo de vida. No establecen criterios de preferencia, pero aportan información para la toma de decisiones.
- **Ecodiseño (Diseño para el medio ambiente - DFE):** introducción de la variable ambiental junto a otros criterios habituales (calidad, costes, ...) en el diseño de productos, a lo largo de todo su ciclo de vida, previo a su salida al mercado.
- **Ecoetiqueta:** distintivo que se otorga a determinados productos por el cumplimiento de determinados criterios ambientales en determinadas etapas de su ciclo de vida.
- **Ecología industrial:** estrategia que promueve cerrar el ciclo del material, de modo que utiliza los subproductos y residuos de una industria como materia prima de otra; potencian la creación de redes de empresas, con lo cual favorecen, además, los aspectos económicos y los ambientales.
- **Greenwashing:** práctica empresarial consistente en publicitar sus productos como respetuosos con el medio ambiente, como argumento de venta, aunque no lo sean.
- **Huella ambiental:** analiza las contribuciones a lo largo del ciclo de vida de un producto en todos los vectores ambientales: atmósfera, residuos, suelos, biodiversidad, ...
- **Huella de carbono:** análisis de las contribuciones a la categoría de impacto de Calentamiento Global a lo largo del ciclo de vida de un producto. Viene a ser un ACV simplificado, puesto que sólo se considera una categoría de impacto de todas las posibles.

- Life Cycle Costing (LCC): consiste en considerar, en la etapa de diseño de un producto, junto con el análisis de todos los costes, la repercusión ambiental durante todo su ciclo de vida. Ello permite combinar los parámetros económicos con los ambientales para la toma de decisiones.
- Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA): consiste en tomar en consideración, en el ciclo de vida de un producto, no sólo los parámetros ambientales y los económicos, sino también los sociales, de modo que toma en cuenta el concepto integral de sostenibilidad.

LCSA = LCA + LCC + SLCA

SLCA: Social Life Cycle Assessment

1.4. ACV en el contexto de la serie ISO 14000

Las normas ya mencionadas que se utilizan de referencia para trabajar con ACV se enmarcan y relacionan con otras de la serie ISO 14000, estando todas ellas desarrolladas, entre otras, sobre las siguientes bases:

- Tener como objetivo la mejora de la gestión ambiental.
- Basarse en el conocimiento científico y ser útiles y prácticas.
- Resultar de interés para sus usuarios y el público en general.
- Cubrir necesidades de organizaciones de cualquier tamaño y geografía.
- Ser verificables tanto externa como internamente.

Las normas de la serie 14000 que presentan mayor relación con ACV son las siguientes:

- UNE-EN ISO 14001:2004. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- UNE-EN ISO 14006: 2011. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la gestión del ecodiseño.
- UNE-EN ISO 14020:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales.

- UNE-EN ISO 14021:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Autodeclaraciones medioambientales. Etiquetado ecológico Tipo II (se basa en declaraciones del fabricante (ej.: fabricado con “x”% de material reciclado)).
- UNE-EN ISO 14024:2001. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios generales y procedimientos (se basa en criterios establecidos por una tercera parte, como la ecoetiqueta de la UE, el Nordic Swan u otros).
- UNE-EN ISO 14025:2010. UNE EN-ISO 14024:2001. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Etiquetado ecológico Tipo III. Principios generales y procedimientos (Se basa en información cuantificada del producto obtenida de un estudio de su ciclo de vida).
- UNE- EN ISO 14031:2000. Gestión medioambiental. Evaluación del comportamiento medioambiental. Directrices generales.
- UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- UNE-EN ISO 14045:2012. Gestión ambiental. Evaluación de la ecoeficiencia del sistema del producto. Principios, requisitos y directrices.
- UNE-EN ISO 14046:2015. Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices.
- UNE-ISO/TR 14062:2007 IN. Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos.
- UNE-EN ISO 14063:2010. Gestión ambiental. Comunicación ambiental. Directrices y ejemplos.
- UNE-EN ISO 14064-1:2012. Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero.

- UNE-EN ISO 14064-2:2012. Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificaciones y orientaciones, a nivel de proyecto, para la cuantificación, la monitorización y la declaración de las reducciones y de las mejoras en la eliminación de gases de efecto invernadero.
- UNE-EN ISO 14064-3:2012. Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificaciones y orientaciones para la validación y la verificación de las declaraciones de gases de efecto invernadero.
- UNE-E ISO 14065:2012. Gases de efecto invernadero. Requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de gases de efecto invernadero, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento.

2. Evolución histórica del ACV

El análisis del ciclo de vida es una técnica que empezó a utilizarse en Estados Unidos en los años sesenta. Su evolución histórica se divide en dos períodos: el primero va desde los años sesenta hasta finales de los ochenta y el segundo, comenzó en 1990 y continúa en nuestros días.

Los primeros estudios, en los años 60, realizados principalmente en Estados Unidos, se centraban en el estudio de los requerimientos energéticos y de los efectos ambientales asociados al uso de la energía. 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 75 y comienzos de los ochenta, 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 del ACV y que actualmente lidera este tema. Este organismo en los años noventa publica las primeras metodologías y guías para realizar los inventarios del ciclo de vida y organiza los primeros inventarios para su difusión.

La SETAC definió el Análisis del Ciclo de Vida como: "Un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de la materia y de la energía, así como las emisiones o los vertidos al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones o vertidos, con el fin de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final."

- El incremento en la población por medio ambiente, hizo 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.

La segunda etapa 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 World Wildlife Found y patrocinado por la EPA, 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, Forests and Landscape), APME (Association of Plastics Manufactures in Europe) y PWMI (European Centre for Plastics in the Environment).

Las primeras aplicaciones datan de la segunda mitad de los década de los ochenta, iniciándose los trabajos con software específicos desde finales de los noventa. El impulso del ACV viene motivado, en gran parte, por la promoción de políticas y programas en la Unión Europea que propugnan su utilización, tal como la política integrada de producto, estrategias sobre consumo de recursos, etc. 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 Europa, el uso de la técnica del ACV se inicia en los países nórdicos y en Suiza (destacan también el Reino Unido, Alemania y Suecia), los cuales destacan como los pioneros en el uso del ACV a nivel europeo; en la década de los noventa comenzaron el desarrollo de metodologías y guías para su uso. Suiza es el país donde primero se trabaja con ACV en Europa, pues ya en los setenta, el Laboratorio Federal Suizo para Ensayos e Investigación de Materiales trabajó en su desarrollo. En la década de los noventa, lideró el desarrollo de bases de datos sobre ACV y, a primeros de este siglo, desarrolló la base de datos Ecoinvent.

En Holanda, en el año 1993, la Universidad de Leiden (CML) publica una metodología que supuso el inicio de la homogeneización de las metodologías de trabajo de ACV. El mismo organismo, en la segunda mitad de la década de los noventa, desarrolla la base de datos Ecoinvent⁹⁵.

En España, el trabajo con el ACV es más reciente. Actualmente, destacan las contribuciones de la Red Española de ACV y de la Red Catalana de ACV.

En 1993 se creó en ISO el Comité Técnico 207 (ISO/TC 207), con el objetivo de desarrollar normativas internacionales para gestión medioambiental. El Subcomité SC 5 desarrolla la normalización referente al Análisis del Ciclo de Vida. Hasta el año 2006, el contexto normativo del ACV era el siguiente:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Estructura.
- UNE-EN ISO 14041. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición de Objetivos y Alcance y análisis de inventario.
- UNE-EN ISO 14042. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.
- UNE-EN ISO 14043. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Interpretación de Ciclo de Vida.

En el año 2006, las normas enumeradas fueron anuladas y sustituidas por las siguientes:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. La ISO 14044 sustituyó a ISO 14041, 14042 y 14043

Actualmente, la Plataforma europea sobre análisis de ciclo de vida, creada para promocionar el trabajo y la aplicación del ACV tanto en la industria como en la administración, está trabajando en la homogeneización metodológica y de tratamiento de datos, de modo que se disponga de herramientas de trabajo comunes para todos los ACVs. En el año 2012 publicó el ILCD (International Reference Life Cycle Data System) que surge con el fin de disponer de técnicas, herramientas y fuentes de información comunes y que sirvan de referencia para el desarrollo de ACV. Fundamentalmente trabajan en:

- Manual ILCD: guía para utilizar las normas de la serie ISO 14040, enfoques metodológicos, presentación de informes, etc.
- ILCD Data Network: desarrollo de bases de datos que puedan servir de referencia.

3. Aplicaciones del ACV

El ACV, debido a sus características, puede ser utilizado con propósitos muy diferentes por distintos agentes sociales. Para reflejar sus usos, en este epígrafe se expondrá, de forma global, el papel que desempeña el ACV mediante la descripción de:

- El ACV en el contexto de las legislaciones comunitaria y española
- El ACV como herramienta para la industria y para la administración

3.1. El ACV en el contexto de las legislaciones comunitaria y española

El ACV, como se ha descrito, tuvo sus orígenes en los estudios energéticos llevados a cabo a raíz de las primeras crisis del petróleo. Desde entonces, su concepto ha evolucionado hasta hoy, en que se perfila como una herramienta de gestión ambiental de gran valor.

El ACV no está sometido a legislación alguna, si bien su filosofía, tal como se entiende en la actualidad, se refleja en los principales reglamentos y directivas relacionados con los sistemas de gestión ambiental y prevención desarrollados por la Comisión Europea, así como en las últimas regulaciones legislativas españolas.

3.1.1. ACV en el contexto de la normativa comunitaria

Dentro de la normativa comunitaria, se introducen conceptos e ideas compartidas con las del ACV en distintas regulaciones, exponiéndose a continuación algunas representativas:

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, de 2 de diciembre de 2015,: “Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la Economía Circular”.
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Reglamento (CE) nº 66/2010 del Parlamento europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009 , relativo a la etiqueta ecológica.
- Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (MTDs)
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas (Directiva Marco de residuos).
- Comunicación de la Comisión de 21 de diciembre de 2005: «Un paso adelante en el consumo sostenible de recursos - Estrategia temática sobre prevención y reciclado de residuos» [COM(2005) 666

Estas consideraciones no son nuevas, sino que, ya en publicaciones anteriores (algunas de ellas, incluso ya han sufrido varias revisiones posteriores), se encuentran referencias, tal como se indicó en el epígrafe relacionado con la evolución histórica del ACV. A modo de ejemplo, pueden mencionarse:

- Reglamento (CE) nº 761/2001, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría mediambientales (EMAS).
- Reglamento (CE) nº 1980/2000, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de julio de 2000, relativo a un sistema comunitario revisado de concesión de etiqueta ecológica.

- Resolución 97/C 76/01, de 24 de febrero de 1997, sobre una estrategia comunitaria de gestión de residuos.
- Directiva 94/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1994, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.
- Directiva 94/62/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.
- Resolución del Consejo, de 1 de febrero de 1993, sobre un programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible.

3.1.2. El ACV en el contexto de la normativa española

Siguiendo la línea de las disposiciones comunitarias en materia de medio ambiente, normativa española más reciente también incluye filosofía relacionada con ACV en algunos de sus puntos:

- Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- Ley 11/97, de 24 de abril, de envases y residuos de envases

Al igual que en el caso de la normativa comunitaria, estas consideraciones no son nuevas, puesto que ya encontramos relaciones en otras anteriores:

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
- Ley 10/98, de 21 de abril, de Residuos

3.2. El ACV 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 ambiental.

En concreto, el ACV permite dar respuesta a cuestiones como:

- Comparativa entre dos procesos diferentes de fabricación de mismo producto.
- Comparativa entre dos productos de diferente naturaleza que tienen aplicaciones similares.
- Comparativa entre las diferentes etapas del ciclo de vida de un mismo producto.

3.2.1. Aplicaciones del ACV para el sector industrial.

Dentro de este sector, el ACV tiene distintas aplicaciones, según se haga de él un uso interno o externo:

- Como usos internos del ACV, pueden destacarse:
 - Aplicaciones como herramienta para la planificación de estrategias, políticas y programas ambientales, así como seguimiento de los mismos.
 - Selección de alternativas de gestión de residuos.
 - Herramienta de decisión durante la fase de diseño de nuevos productos, o de mejora de los existentes.
 - 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, y apoyo a la implementación de medidas que permitan reducir el mismo.
- Evaluación de los efectos producidos por el consumo de recursos en las instalaciones.
- Como usos externos del ACV en la industria, destacan los siguientes:
 - Mejora de imagen y márketing ambiental.
 - Desarrollo de programas de investigación.
 - Proporcionar información complementaria a la administración para la regulación y reducción de determinados productos.
 - Selección de proveedores y gestión de la cadena de suministro.

3.2.2. Aplicaciones del ACV para la administración.

Entre los usos que este colectivo puede hacer del ACV destacan los siguientes:

- Herramienta para colaborar en el desarrollo de legislación y políticas ambientales que, a largo plazo, puedan favorecer la conservación de recursos y la reducción del riesgo ambiental asociado a productos y procesos.
- Establecer criterios de valoración y diferenciación de productos en los programas de ecoetiquetado.
- Evaluación de distintas alternativas de gestión de residuos.
- Proporcionar al público información sobre características ambientales de productos y materiales.
- Detección de necesidades de investigación y establecimiento de prioridades de actuación.

4. Etapas de desarrollo de un ACV

El desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida, de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14040, debe cubrir las siguientes etapas metodológicas:

- **Etapas 1. Definición del Objetivo y Alcance del ACV.** En los objetivos se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quién va dirigido. El alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio.
- **Etapas 2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.** Esta fase incluye la identificación y cuantificación de las entradas (consumo de recursos) y salidas (emisiones al aire, suelo y aguas y generación de residuos) del sistema del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas.
- **Etapas 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.** Durante esta etapa, utilizando los resultados del análisis de inventario, se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales generados por las entradas y salidas del sistema del producto.
- **Etapas 4. Interpretación,** la cual incluye la combinación de los resultados de las dos etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones.

En la figura se representan las fases que debe cubrir un ACV y las relaciones existentes entre las mismas.

Gráfico 1. Estructura de un ACV



Fuente: UNE-EN ISO 14040. Etapas de un ACV.

4.1. Definición del objetivo y alcance del estudio

La definición de objetivos comprende la exposición de los motivos por los que se desarrolla el estudio y la descripción del destinatario del mismo. El alcance es la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio.

- **Definición del objetivo.** La definición del objetivo del análisis debe ser clara y coherente con la aplicación que se va a dar al estudio.

La definición de objetivos debe incluir:

- Identificación del realizador del estudio.
- Razones para realizar el estudio y tipo de información que se espera obtener de él.
- Aplicación prevista del estudio y uso que va a hacerse de los resultados.

- Destinatario previsto del estudio (es decir, si será un informe interno, si se hará público y a quién).
- Si procede, el uso del ACV en aseveraciones comparativas.
- **Definición del alcance del ACV.** Esta etapa debe reflejar claramente la extensión del estudio lo cual implica, la consideración y descripción de los siguientes puntos:
 - Sistema del producto a estudiar.
 - **Funciones** del sistema del producto.
 - Selección de la **unidad funcional**.
 - Establecimiento de los **límites del sistema**.
 - Establecimiento de las reglas de **asignación de cargas ambientales, tipos de impacto** a evaluar, metodología de evaluación e interpretación.
 - **Tipos y fuentes de datos:** requisitos que deben cumplir los datos del inventario.
 - Requisitos de calidad de los datos.

El alcance también debe incluir el tipo de **revisión crítica** a efectuar, si ésta es necesaria de acuerdo con los objetivos del estudio y el tipo y formato del informe final.

4.1.1. Sistema de producto, funciones y unidad funcional

El sistema de producto es el conjunto de etapas que componen el ciclo de vida en estudio.

Un sistema puede tener varias funciones y las seleccionadas para el estudio dependen del objetivo y el alcance del ACV.

La unidad funcional es la unidad de referencia en la cual se expresan, desde un punto de vista matemático, los datos de entrada y salida.

4.1.2. Límites del sistema

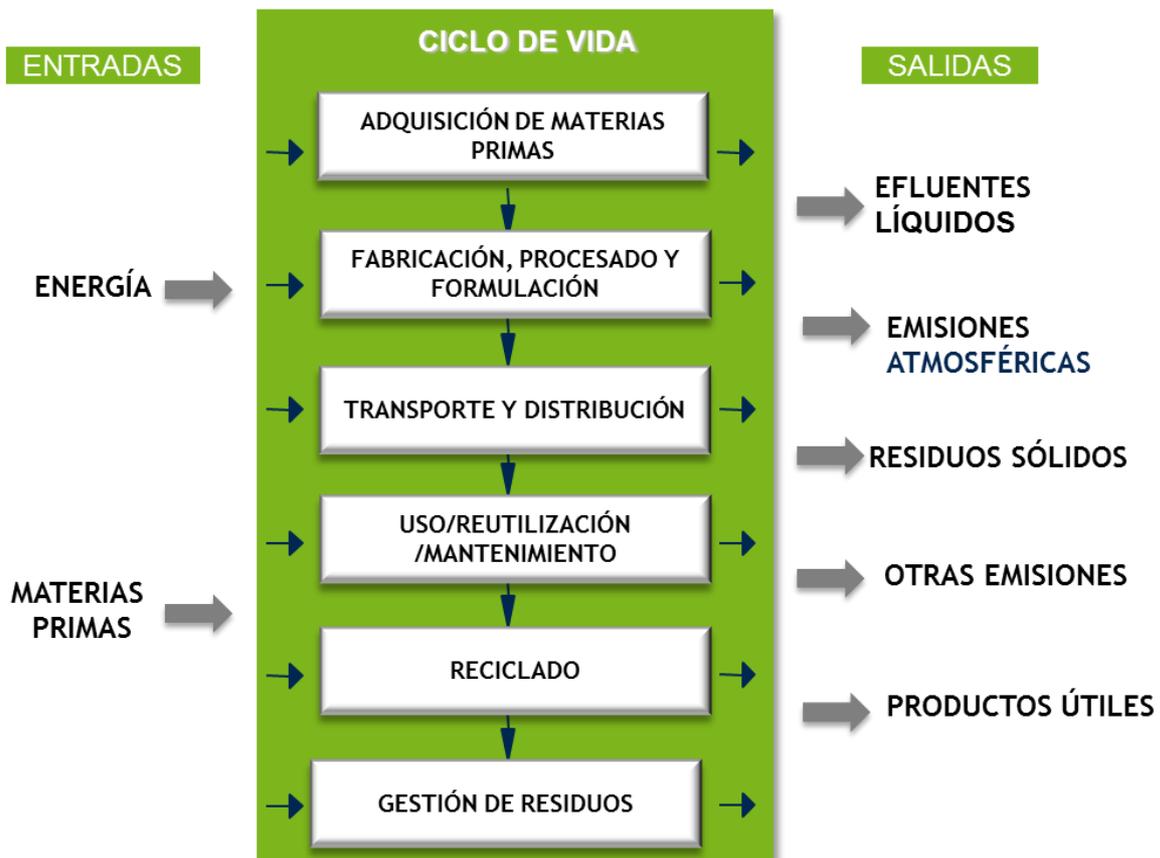
Dentro de este punto se establecerán los diferentes límites del sistema del producto, esto es, las etapas que se van a considerar, así como los criterios a los que responde esta decisión. Asimismo, se deben identificar y justificar las entradas y salidas a considerar.

A priori, las etapas a cuantificar son las seis que componen el Ciclo de Vida de un producto/proceso:

- **Adquisición de materias primas:** esta etapa comprende desde las actividades necesarias para la adquisición de materias primas o de energía hasta la primera fase de manufactura o procesamiento del material.
- **Manufactura, procesado y formulación:** esta etapa comprende las etapas que tienen lugar desde la introducción de las materias primas en el proceso hasta que se obtiene el producto final.
- **Distribución y Transporte:** el transporte comprende el movimiento de materiales o de energía entre las diferentes operaciones en cualquier etapa del ciclo de vida, incluida la extracción de recursos. La distribución comprende el paso de los productos manufacturados desde su salida de fábrica hasta el usuario final.
- **Uso/Reutilización/Mantenimiento:** los límites de esta etapa comienzan con la distribución de los productos o materiales y terminan cuando estos productos o materiales pasan a ser residuos.
- **Reciclado:** comprende todas las actividades necesarias para recoger el residuo y devolverlo a un proceso de fabricación.

- **Gestión de Residuos:** incluye todos los mecanismos de tratamiento de los residuos (estudio de las posibles alternativas de gestión).

Gráfico 2. Etapas del Ciclo de Vida



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Asignación de cargas ambientales, tipo de impacto a evaluar y metodología de evaluación e interpretación

Se deben indicar qué categorías de impacto se incluyen en el estudio de ACV, cómo se asignan los datos del inventario a cada impacto, cuáles son los indicadores de categoría y modelos de caracterización que se incluyen en el estudio de ACV.

A modo de ejemplo, se puede definir la categoría de impacto de cambio climático, a la que contribuyen los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cuyo indicador de categoría es el CO₂ equivalente.

Tabla 1. Ejemplo de selección de categorías de impacto y asignación de cargas ambientales.

CATEGORÍA	DATOS DEL INVENTARIO QUE CONTRIBUYEN A LA CATEGORÍA	INDICADOR DE CATEGORÍA
Cambio climático	Emisiones de CO ₂ Emisiones de N ₂ O Emisiones de CH ₄	t CO ₂ eq

Fuente: elaboración propia.

Existen diferentes metodologías para la evaluación del impacto del ciclo de vida y para su interpretación. Cabe mencionar entre otras:

- **CML2016**, desarrollada por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, Holanda. Han publicado una guía de aplicación de los estándares ISO en la que se establecen categorías de impacto y la correspondiente metodología de caracterización, diferenciando un enfoque orientado al problema y un enfoque orientado al daño (este último utilizando Eco-Indicator 99 y EPS-2000).
- **Cumulative Energy Requirement Analysis (CERA)**, desarrollado por la Asociación de Ingenieros Alemanes (VDI), está destinado a analizar el uso de energía a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio.
- **Eco-Indicator 99**, desarrollado por la consultora PRé para el Ministerio de Vivienda, Planeamiento Urbanístico y Medio Ambiente de Holanda. Este método introduce el concepto de categoría de daño no incluido en la norma ISO, así como factores de daño. Como categorías de daño se pueden considerar los daños a la salud humana, a la calidad de los ecosistemas o el agotamiento de recursos.
- **The Method of Ecological Scarcity (Umweltbelastungspunkte, UBP 2013)**, desarrollado por la Oficina Federal de Medio Ambiente del gobierno suizo. Propone factores de caracterización para diferentes emisiones al aire, agua y suelo/aguas subterráneas así como para el uso de recursos energéticos y algunas tipologías de residuos.

- **EDIP'03 - Environmental Design of Industrial Products**, elaborado por el Instituto para el Desarrollo de Productos (IPU) de la Universidad Técnica de Dinamarca, en colaboración con la Agencia danesa de Protección Ambiental, la Confederación de Industrias Danesas y cinco grandes empresas del sector de la electromecánica. Se establecen categorías de impacto organizadas por escala (global, regional o local), los aspectos que contribuyen en cada una y los daños sobre la salud humana en el entorno de trabajo. Está concebido para su uso en el proceso productivo, por lo que no incluye aspectos relacionados con revisión crítica.
- **Environmental Priority Strategy in Product Design (EPS 2000)**, elaborado por el Centro para el Análisis Ambiental de Sistemas de Producto y Materiales, de la Universidad Tecnológica de Chalmers, con el apoyo del Panel Sueco para el Desarrollo Técnico e Industrial, con el propósito de que las empresas pudieran valorar la magnitud de los impactos ambientales del diseño de sus productos. Las categorías de impacto se agrupan en afección a la salud humana, capacidad de producción del ecosistema y biodiversidad.
- **Impact 2002+**, desarrollado por el Instituto Federal de Tecnología de Lausana (Suiza). Presenta un enfoque que relaciona categorías de impacto y categorías de daño.
- **IPCC 2014 (Climate Change)**, elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Aplica el enfoque ACV a la elaboración de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el presente documento se toma como referencia la metodología CML. Así, retomando el ejemplo de la tabla 1, el potencial de cambio climático se calcularía como

$$\sum \text{GWPa}_i \times m_i$$

donde:

GWPa_i : Potencial de cambio climático de la sustancia i

m_i : Masa de sustancia i emitida al aire

Tabla 2. Ejemplos de potencial de cambio climático.

SUSTANCIA	GWP ₁₀₀ (t CO ₂ eq/t)
CO ₂	1
N ₂ O	265
CH ₄	28

Fuente: CML 2016; factores establecidos por IPCC 2013.

4.1.4. Tipos y fuentes de datos

Los datos se pueden obtener de los sitios de producción asociados con los procesos unitarios dentro de los límites del sistema o se pueden obtener o calcular de otras fuentes. En la práctica, todos los datos pueden incluir una combinación de datos medidos, calculados o estimados.

Los tipos de datos pueden incluir:

- Uso de recursos minerales.
- Emisiones al aire.
- Vertidos al agua y al suelo.
- Ruido y vibración.
- Usos del suelo.
- Radiación.
- Olor.
- Calor residual.

4.1.5. Requisitos de calidad de los datos

Se deben definir los requisitos de calidad de los datos en cuanto a:

- Tiempo: antigüedad y periodo mínimo en el que se deberían recopilar.
- Geografía: área geográfica a la que corresponden los datos.
- Tecnología a la que corresponden.
- Precisión: medida de la variabilidad de los valores para cada dato.
- Integridad: si los datos son medidos o estimados.
- Representatividad: evaluación cualitativa de en qué medida los datos reflejan la situación real (cobertura geográfica, periodo de tiempo y cobertura tecnológica).
- Coherencia: evaluación cualitativa de si la metodología de estudio se aplica de manera uniforme en todo el análisis.
- Reproductividad: evaluación cualitativa de si el cálculo es reproducible a partir de la documentación generada.
- Fuente de los datos.
- Incertidumbre de la información (datos directos, modelos, suposiciones).

Se debe documentar el tratamiento de los datos que faltan.

4.1.6. Revisión crítica

El alcance del estudio debe definir:

- Si es necesaria una revisión crítica y cómo realizarla.
- El tipo de revisión crítica.
- Quién la va a realizar y su nivel de experiencia.

4.2. Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV)

Esta fase consiste en la cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio, en la que se incluye el uso de recursos (materias primas y energía), las emisiones a la atmósfera, los vertidos al suelo y aguas y la generación de residuos. Los datos obtenidos en esta fase son el punto de partida para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.

Siempre que sea posible, es recomendable utilizar datos directamente obtenidos del proceso en estudio, a través de:

- Medidas “in situ”
- Balances de materia y energía
- Entrevistas, fuentes bibliográficas, ...

El inventario, a fin de dar una visión global del producto/proceso al que corresponde, además de los datos cuantificados debe constar de:

- Diagramas de flujo que dejen claro el sistema en estudio, así como las relaciones que tienen lugar dentro del mismo.
- Descripción detallada de cada unidad de proceso, listando la categoría de los datos asociados con cada una de ellas.
- Desarrollo de una lista donde se especifiquen las unidades de medida de cada parámetro.
- Descripción de los métodos empleados para recoger los datos y de las técnicas de cálculo empleadas para cada categoría de datos.
- Instrucciones informando claramente de fuentes documentales para casos especiales, irregularidades, o cualquier otra circunstancia asociada con la recogida de datos.

Se deben documentar todos los procedimientos de cálculo, que deben ser coherentes a lo largo de todo el estudio, y explicar las suposiciones realizadas.

Es necesario validar los datos recopilados. La validación puede implicar por ejemplo, realizar balances de materia, balances de energía y/o análisis comparativos de los factores de emisión y vertido.

Asimismo, hay que relacionar los datos con los procesos unitarios y con la unidad funcional. Como resultado, todos los datos de entrada y salida deben estar referenciados a la unidad funcional.

A partir de los datos obtenidos puede ser necesario ajustar los límites del sistema. Para ello, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad que puede determinar:

- La exclusión de etapas del ciclo de vida o de procesos unitarios cuando el análisis de sensibilidad pueda demostrar que carecen de importancia,
- La exclusión de entradas o salidas que carezcan de importancia,
- La inclusión de nuevos procesos unitarios, entradas y salidas que el análisis de sensibilidad haya demostrado que son importantes.

En el caso de considerar más de un producto, se deben especificar los criterios de asignación de los datos.

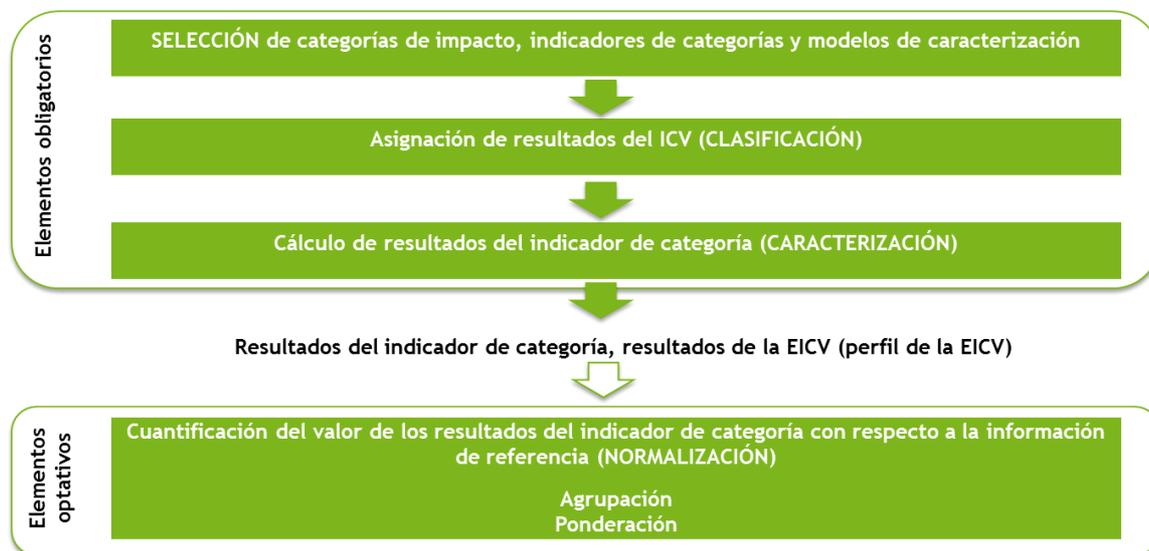
4.3. Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV)

La fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV) relaciona los resultados del Análisis de Inventario con los efectos ambientales a que dan lugar, con el fin de valorar la importancia de los potenciales impactos que generan.

En el contexto del ACV, se define un impacto como la anticipación razonable de un efecto, ya que no se trata de determinar impactos reales, sino de ligar los datos obtenidos en el inventario con una categoría de impacto y cuantificar la contribución a ésta de cada uno de ellos.

La Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida consta de cuatro elementos:

Gráfico 3. Elementos de la fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida.



Fuente: UNE-EN ISO 14040:2006. Elementos de la fase EICV.

4.3.1. Selección de categorías de impacto

La selección de categorías de impacto debe reflejar un conjunto exhaustivo de aspectos ambientales. Se deben justificar las categorías seleccionadas, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización.

Tal como se ha descrito en el apartado “4.1.3. Asignación de cargas ambientales, tipo de impacto a evaluar y metodología de evaluación e interpretación”, existen diversas metodologías para el desarrollo de un ACV y en concreto para la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). A modo de ejemplo, se enumeran a continuación las categorías de impacto definidas por la metodología CML.

En general, la metodología CML distingue tres bloques de categorías de impacto, dependiendo de la relevancia ambiental en relación con el ACV y la disponibilidad de métodos de caracterización adecuados:

- Grupo A. Categorías de impacto básicas:
 - Agotamiento de recursos abióticos
 - Impactos del uso del suelo. Competencia por el suelo.
 - Cambio climático
 - Agotamiento del ozono estratosférico
 - Toxicidad en humanos
 - Ecotoxicidad:
 - Ecotoxicidad acuática en aguas dulces.
 - Ecotoxicidad en agua marina
 - Ecotoxicidad terrestre
 - Formación de fotooxidantes
 - Acidificación
 - Eutrofización
- Grupo B. Categorías de impacto específicas
 - Impactos del uso del suelo:
 - Pérdida de la función de soporte de vida
 - Pérdida de biodiversidad
 - Ecotoxicidad:
 - Ecotoxicidad en sedimentos de aguas dulces
 - Ecotoxicidad en sedimentos marinos

- Impacto de la radiación ionizante
- Olor
- Ruido
- Calor residual (aumento de la temperatura del agua)
- Accidentes
- C. Otras categorías de impacto.
 - Agotamiento de recursos bióticos
 - Desecación
 - Malos olores en agua

Los resultados del ICV distintos de los datos de flujos de materia y energía incluidos en un ACV (por ejemplo, el uso del suelo) deben identificarse y debe determinarse su relación con los indicadores de categoría correspondientes.

Tomando como ejemplo la categoría de impacto de “uso del suelo”, podría considerarse:

- Competencia por el suelo: medida en superficie ocupada ($m^2/año$).
- Pérdida de biodiversidad: para medirla, la metodología CML propone basarse en datos estadísticos sobre densidad de especies, o más concretamente sobre densidad de especies vegetales.
- Pérdida de la función de soporte vital: para medirla, la metodología CML propone basarse en datos relativos a la producción primaria neta.
- Desecación: la metodología CML no se establece propuesta para medirla.

Para la mayoría de los estudios de ACV se seleccionarán categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización existentes. En algún caso sin embargo, puede considerarse necesario definir categorías nuevas, en cuyo caso es necesario justificarlo, así como documentar su metodología de cálculo.

Para cada categoría de impacto los componentes necesarios para un EICV incluyen:

- La identificación de los puntos finales de categoría, definiendo como puntos finales, los atributos o aspectos del entorno natural, la salud humana o los recursos, que identifican un asunto ambiental de interés.
- La definición del indicador de categoría para cada punto final de categoría dado. Se denomina indicador de categoría la representación cuantificable de una categoría de impacto.
- La identificación de los resultados de ICV adecuados que se pueden asignar a la categoría de impacto, teniendo en cuenta el indicador de categoría elegido y los puntos de categoría final identificados.
- La identificación del modelo de caracterización y los factores de caracterización.

El indicador de categoría puede elegirse en cualquier punto a lo largo del mecanismo ambiental entre los resultados del ICV y los puntos finales de categoría.

La importancia ambiental comprende una evaluación cualitativa del grado de vinculación entre el resultado del indicador de categoría y los puntos finales de categoría; por ejemplo vinculación alta, moderada o baja.

La siguiente tabla recoge algunos ejemplos de categorías de impacto, para las que se especifican los puntos finales y el indicador de categoría.

Tabla 2. Ejemplos de categorías de impacto, identificando puntos finales e indicadores de categoría.

CATEGORÍA	PUNTOS FINALES	INDICADOR
Cambio climático	CO ₂ ; N ₂ O; CH ₄	t CO ₂ eq
Acidificación	NO ₂ ; NO _x ; SO ₂	t SO ₂ eq
Toxicidad en aire	PM ₁₀ ; NO _x ; NO ₂ ; SO ₂ ; Hg; Cd; Pb; As; Cr; Cu; Ni; Se; Zn; Dioxinas y furanos; HCB	t 1,4 diclorobenceno eq

CATEGORÍA	PUNTOS FINALES	INDICADOR
Toxicidad por smog fotoquímico	CO; CH ₄ ; SO ₂	t C ₂ H ₄

Fuente: Elaboración propia.

Se deben tener en cuenta además las siguientes recomendaciones:

- Las categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización deberían estar aceptados internacionalmente.
- Las categorías de impacto deberían representar la suma de los impactos de las entradas y salidas del sistema de producto para las categorías finales, a través de los indicadores de categoría.
- Se deberían minimizar los juicios de valor y las suposiciones.
- Se debería evitar la doble contabilización a menos que lo requiera la definición del objetivo y el alcance (ej. evaluación de toxicidad y carcinogenicidad del plomo; contribución del SO₂ a las categorías de acidificación y smog fotoquímico).

La importancia ambiental del indicador de categoría o del modelo de caracterización, deberían estar claramente definidos, considerando:

- Área y escala del impacto.
- Duración del impacto, tiempo de residencia, persistencia, oportunidad, etc.
- La reversibilidad del mecanismo ambiental.

4.3.2. Clasificación

La fase de clasificación consiste en el agrupamiento de las cargas ambientales debidas al consumo de recursos y a la generación de emisiones y residuos, en función de los potenciales efectos ambientales que produce cada una de ellas.

Determinados resultados del ICV se asignan únicamente a una categoría de impacto, mientras que otros, contribuyen a más de una categoría. Por ejemplo, el SO₂ contribuye tanto a la categoría de acidificación como al smog fotoquímico.

4.3.3. Caracterización

La caracterización es el cálculo de la contribución potencial de cada compuesto detectado en el análisis de inventario a un efecto ambiental.

Por ejemplo, cuando se considera el efecto de la acidificación, habría que considerar las cargas ambientales debidas a las emisiones que contribuyen al mismo, esto es, entre otras, las emisiones de NO₂, NO_x y SO₂. Debido a que para valorar el efecto global de la acidificación es necesario tener todas las emisiones en unidades idénticas, se toma una como referencia y se expresa el resto en función de ella. En el caso de la acidificación, se toma como referencia el SO₂, y se expresa el resto como equivalentes de SO₂.

Así, para medir la contribución en acidificación, se recurre al factor de caracterización denominado potencial de acidificación (AP), que se define como la capacidad de una unidad de masa contaminante de emitir H⁺ para absorber radiación infrarroja en relación con la capacidad del SO₂.

La contribución parcial de cada sustancia a este efecto se calcula como el producto de su potencial de acidificación por la masa de esa sustancia que es emitida al aire.

$$\text{Contribución total a acidificación} = \sum(\text{AP}_i \cdot m_i)$$

donde:

AP_i : Potencial de acidificación de la sustancia i

m_i : Masa de sustancia i emitida al aire

Las unidades vienen expresadas en Kg de SO₂ equivalentes.

Tabla 3. Ejemplos de categorías de impacto, identificando puntos finales e indicadores de categoría.

SUSTANCIA	AP (tSO ₂ eq)
NO ₂	0,5
NO _x	0,5
SO ₂	1,2

Fuente: CML 2016. Factores establecidos por Huijbregts, 1999; average Europe total, A&B.

4.3.4. Elementos opcionales de la EICV

4.3.4.1. Normalización

Es el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría con respecto a cierta información de referencia. Su propósito es entender mejor la magnitud relativa para cada resultado del indicador del sistema del producto estudiado. Es útil para:

- Verificar si existen incoherencias.
- Informar sobre la importancia relativa de los resultados del indicador.

Transforma el resultado de un indicador dividiéndolo por un valor de referencia seleccionado, por ejemplo:

- En el caso de los impactos “acidificación” o “toxicidad en aire”, para la definición del factor de normalización, se puede inventariar las emisiones de todos los compuestos que contribuyen a cada categoría, tanto en el país en el que se desarrolla la etapa del ciclo de vida, como en los países del entorno, procediendo a continuación a caracterizarlas para obtener la contribución regional a cada impacto.
- Para la categoría “consumo de recursos abióticos”, se puede considerar un impacto de carácter global, y el factor de caracterización se definiría como las reservas mundiales probadas de dicho recurso.

La selección del sistema de referencia debe ser coherente en la escala espacial y temporal.

La normalización de los resultados de cada categoría de impacto puede modificar las conclusiones del ACV.

4.3.4.2. Agrupación

La agrupación es la asignación de las categorías de impacto en uno o más conjuntos según lo definido en el objetivo y alcance. Para agrupar, hay dos procedimientos posibles:

- Organizar las categorías de impacto en una base nominal (por ejemplo mediante características como entradas y salidas o escalas espaciales globales, regionales y locales).
- Clasificar las categorías de impacto según una jerarquía (por ejemplo prioridad alta, media o baja).

La clasificación se basa en juicios de valor. Diferentes personas, organizaciones y sociedades pueden tener distintas preferencias.

4.3.4.3. Ponderación

La ponderación es el proceso de conversión de los resultados de indicadores de diferentes categorías de impacto, mediante factores numéricos basados en juicios de valor. Puede incluir la suma de indicadores de resultados ponderados.

Es un elemento opcional con dos posibles procedimientos:

- Convertir los resultados del indicador con los factores de ponderación seleccionados, o
- Sumar los resultados de indicador convertidos o normalizados, a través de las categorías de impacto.

Los pasos de la ponderación se basan en juicios de valor y no tienen una base científica. Diferentes personas, organizaciones y sociedades pueden tener distintas preferencias.

4.3.4.4. Análisis adicional de la calidad de los datos de la EICV

Se realiza para comprender mejor la importancia, incertidumbre y sensibilidad de los resultados de la EICV:

- Ayuda a distinguir si existen diferencias significativas.
- Permite identificar resultados del ICV despreciables.

Técnicas específicas utilizadas:

- **Análisis de gravedad** (por ej. análisis de Pareto) es un procedimiento estadístico que identifica aquellos datos que contribuyen mayoritariamente al resultado del indicador.
- **Análisis de incertidumbre:** es un procedimiento para determinar la manera en que las incertidumbres en los datos y las suposiciones evolucionan en los cálculos, y de qué modo afectan a la confiabilidad de los resultados de la EICV.
- **Análisis de sensibilidad:** es un procedimiento para determinar la manera en la que los cambios de datos de la EICV puede llevar a una actualización de la fase de ICV.

4.4. Interpretación del ACV

La Interpretación es la combinación de los resultados del análisis de inventario (ICV) y de la evaluación de impacto (EICV), en la cual se proporcionan resultados coherentes con el objetivo y el alcance definidos. A veces, puede implicar un proceso iterativo de revisión y actualización del alcance, así como de la naturaleza y la calidad de los datos recopilados para que sean coherentes con el objetivo y el alcance.

El análisis puede incluir medidas cualitativas y cuantitativas de mejoras, como cambios en el producto, en el proceso, en el diseño, sustitución de materias primas, gestión de residuos, etc. De igual forma, puede ir asociada con las herramientas de prevención de la contaminación industrial, tales como minimización de residuos, o rediseño de productos.

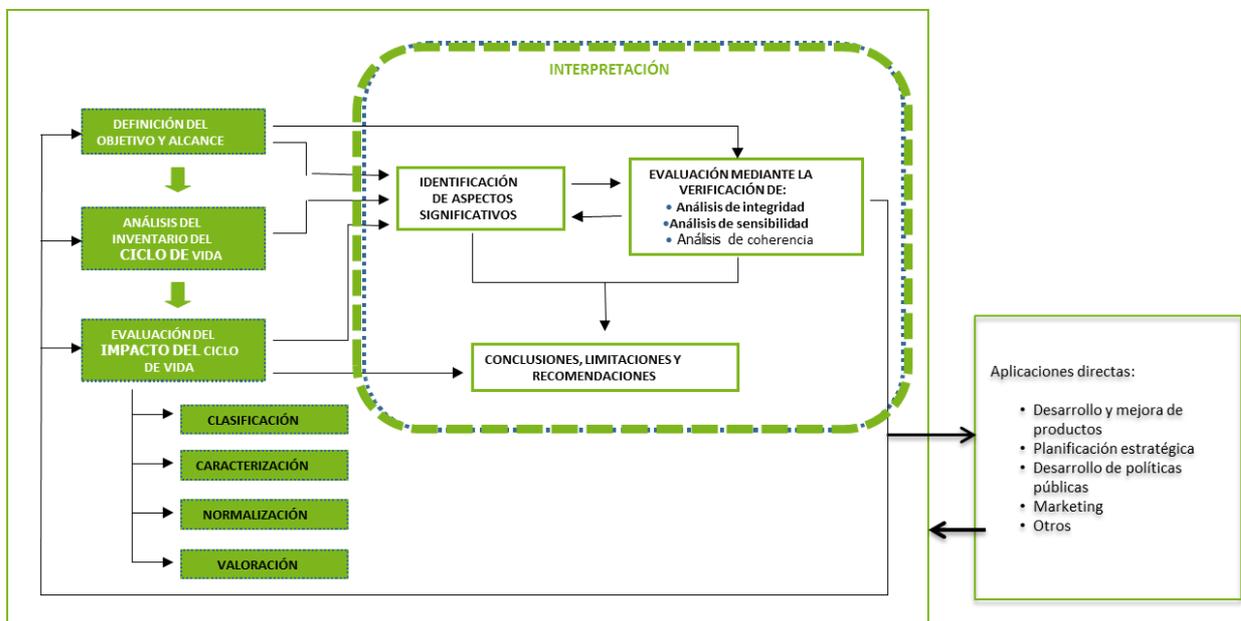
La fase de interpretación de un ACV comprende los siguientes elementos:

- Identificación de aspectos significativos.
- Evaluación: verificación de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia.
- Conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

La interpretación debe considerar también:

- La adecuación de las definiciones, de las funciones del sistema, la unidad funcional y los límites del sistema.
- Las limitaciones identificadas por la evaluación de calidad de los datos y el análisis de sensibilidad.

Gráfico 4. Relación entre los elementos en la fase de interpretación y con otras fases del ACV.



Fuente: UNE-EN ISO 14044:2006. Marco de referencia del análisis de ciclo de vida.

4.4.1. Identificación de aspectos significativos

El objetivo es identificar las implicaciones de los métodos utilizados, suposiciones hechas, etc., en las fases previas, tales como reglas de asignación, decisiones sobre los cortes, selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.

Algunos ejemplos de aspectos significativos son:

- Datos de inventario tales como energía, emisiones, vertidos o residuos,
- Categorías de impacto tales como uso de recursos o cambio climático,
- Contribuciones significativas de las etapas de ciclo de vida a los resultados de ICV o EICV tales como procesos unitarios individuales o grupos de procesos como transporte y producción de energía.

Para la determinación de los aspectos representativos se pueden emplear los siguientes métodos:

- **Análisis de contribución**, mediante el cual se examina la contribución de las etapas del ciclo de vida al resultado total, expresando la contribución mediante un porcentaje total.

Los resultados se pueden clasificar y priorizar como:

A	Contribución > 50%	Influencia significativa
B	25% < contribución < 50%	Influencia relevante
C	10% < contribución < 25%	Influencia bastante importante
D	2,5% < contribución < 10%	Influencia menor
E	Contribución > 2,5%	Influencia despreciable

- **Análisis de la influencia**, en el cual se examina la posibilidad de influir en los aspectos ambientales. El grado de influencia se expresa mediante las siguientes letras:

A: control significativo, grandes mejoras posibles.

B: control escaso, algunas mejoras posibles.

C: sin control.

El grado de control se puede interpretar como la capacidad que tiene la compañía de modificar los procesos actuales, para disminuir la contribución.

- **Evaluación de las anomalías**, mediante la cual se observan con base a experiencias previas, desviaciones inesperadas o inusuales de resultados esperados o normales. Esto permite una verificación de los datos y sirve de guía para la evaluación de la mejora. Las anomalías y resultados inesperados se marcan mediante los siguientes símbolos:
 - Resultado inesperado, es decir, contribución demasiado alta o demasiado baja.
 - Anomalía (puede representar errores en los cálculos o en la transferencia de datos).
 - # Sin comentarios.

4.4.2. Evaluación: verificación de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia.

Los objetivos de la evaluación son generar y fortalecer la confianza y la fiabilidad en los resultados del estudio, incluyendo los aspectos significativos identificados en el primer elemento de la interpretación.

Se puede determinar la confianza en los resultados del ACV, en cuanto a fiabilidad y estabilidad, utilizando los siguientes métodos:

- **Verificación del análisis de integridad**, mediante el cual se constata si la información de las fases del análisis del ciclo de vida es suficientemente completa para llegar a conclusiones, de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance.
- **Verificación del análisis de coherencia** (entre diferentes opciones), mediante el cual se verifica que las suposiciones, los métodos y los datos se aplican de forma coherente en todo el estudio y están de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance. Las incoherencias son por ejemplo:
 - Diferencias en las fuentes de datos (datos directos / bibliografía).
 - Diferencias en la exactitud de los datos.
 - Diferencias en la cobertura tecnológica.
 - Diferencias en la antigüedad de los datos.
 - Diferencias en la cobertura geográfica.

- **Verificación del análisis de sensibilidad**, mediante el cual se trata de determinar la influencia de las variaciones en las suposiciones, métodos y datos en los resultados. Para ello, se realiza una comparación de los resultados obtenidos utilizando ciertas suposiciones, métodos o datos, con los resultados obtenidos utilizando suposiciones, métodos o datos alternativos. A modo de ejemplo, se puede considerar que existen variaciones significativas cuando las diferencias en los cálculos son superiores al 10%.

4.4.3. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones

El objetivo de esta parte del ciclo de vida es llegar a conclusiones, identificar limitaciones y realizar recomendaciones para el público previsto por el ACV.

5. Revisión crítica

El concepto de revisión crítica ha sido incorporado como requerimiento en la norma UNE-EN ISO 14040 enfocada, sobre todo, a ACV donde se llevan a cabo aseveraciones comparativas.

La misión del proceso de revisión crítica es asegurar que:

- Los métodos utilizados en el ACV son coherentes con ISO 14040
- Los métodos usados en el ACV son técnica y científicamente válidos
- Los datos utilizados son apropiados y razonables con el objetivo del estudio
- Las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objetivo del estudio
- El informe del estudio es transparente y coherente

En los objetivos del estudio debe definirse si la revisión crítica va a ser llevada a cabo, así como el motivo de su realización, aspectos que cubrirá y con qué detalle y personas involucradas en el proceso.

Hay que distinguir tres tipos de revisión crítica:

- Revisión por expertos internos. La revisión crítica la lleva a cabo un experto interno independiente del estudio del ACV, familiarizado con los requisitos de la norma ISO 14040 y con experiencia científica y técnica. El informe de revisión puede ser preparado por la persona que realiza el ACV y revisada por el experto interno o puede ser preparado en su totalidad por el experto interno. El informe debe incluirse en el informe del estudio de ACV.
- Revisión por experto externo. Es llevada a cabo por un experto externo independiente del estudio de ACV. El experto debe estar familiarizado con la norma ISO 14040 y tener experiencia científica y técnica. El informe de revisión puede ser preparado por la persona que realiza el ACV y revisada por el experto externo o puede ser preparado en su totalidad por el experto externo. El informe de revisión, los comentarios y cualquier respuesta hecha a las recomendaciones hechas por el revisor deben incluirse en el informe del estudio de ACV.
- Revisión por partes interesadas. En este caso, el cliente que encarga el estudio selecciona un experto externo independiente para presidir el grupo revisor. De acuerdo al objetivo, alcance y presupuesto disponible para la revisión, el experto externo selecciona a otros revisores independientes cualificados. El informe de revisión, el informe del grupo revisor, los comentarios de los expertos y cualquier respuesta a las recomendaciones hechas por el revisor o por el grupo deben incluirse en el estudio de ACV.

6. Documentos de interés

- Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 - Models and data of the default method. CPM report 1999:5. Chalmers University of Technology, Environmental Systems Analysis.
- Ecoinvent. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Data v1.1 (2004).
- Federal Office for the Environment, Swiss Confederation. The Ecological Scarcity Methods, Eco-factors 2006. A Method for Impact Assessment in LCA. 2009.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Jolliet et al. A user guide for the Life Cycle Impact Assessment Methodology. IMPACT 2002+ (2003c).
- Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science-Leiden University (CML). Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. Final Report, May 2001.
- National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. May 2006. EPA/600/R-06/060.
- PRé Consultants B.V. The Ecoindicator 99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. Nr 99/36a. 22 June 2000.
- Wenzel, H; Alting, L. Danish Experience with the EDIP Tool for Environmental Design of Industrial Products. Institute for Product Development, Technical University of Denmark. o-7695-0007-2/99 \$10.00 0 1999 IEEE.