

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL

UNA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS Y SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES

AUTORES

ANDRÉS OLIVERA (1)
STELLA CRISTOBAL (1)
CARLOS SAIZAR (2)

(1) DEPARTAMENTO DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO EN
GESTIÓN, LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY, LATU
(2) GERENCIA DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO E INNOVACIÓN, LATU

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) clásico es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para poder así determinar su impacto, llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental y realizar declaraciones ambientales. Esta metodología para evaluación de los impactos ambientales se integra con facilidad a la de evaluación de los impactos socioeconómicos, con la

que comparte elementos, lo que favorece y aporta datos comparativos para la toma de decisiones frente a nuevos proyectos o acciones de mejora. De esta forma, integrando las dimensiones económica y social, el ACV se aproxima a lo que se ha denominado la Evaluación de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida.

Como herramienta se basa en un enfoque sistémico, bajo el concepto de que la totalidad de las propiedades de un sistema no pueden ser analizadas considerando sus componentes en forma individual, sino que es necesario el estudio integrado de todos los elementos del ciclo o sistema.

El ACV abarca el ciclo completo del producto, proceso o actividad: extracción y procesamiento de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

Este análisis se orienta a incrementar la eficacia mediante la evaluación de:

- La diferencia existente entre dos procesos diferentes de fabricación del mismo producto, en términos de utilización de recursos y emisiones.
- La diferencia existente entre un producto de determinado material respecto a otras alternativas, en términos de utilización de recursos y emisiones.
- La cuantificación de las contribuciones relativas de las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto o servicio a las emisiones totales a la atmósfera.
- La diferencia existente entre el posible impacto ambiental de un producto nuevo y otros productos ya existentes en el mercado.

El ACV no es una evaluación de riesgo. Es una herramienta que permite aumentar la eficacia e introducir mejoras mediante la identificación y cuantificación de las emisiones y el impacto real de las emisiones en función de cuándo, dónde y cómo se transfieren al ambiente.

Sobre la metodología y la toma de decisiones

Para llevar adelante un ACV se identifican la totalidad de las entradas y salidas del sistema en estudio.

Se consideran como entradas o *inputs* el uso de recursos y materias primas, los componentes y los productos terminados, el transporte y la energía que se utilizan en cada proceso o fase del sistema.

Como salidas u *outputs* se incluyen las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo, los residuos y los subproductos afectados en cada proceso o fase del sistema.

El inventario es la plataforma donde se recopilan las entradas y salidas para el análisis. Se lo denomina Inventario de Ciclo de Vida (ICV) y es la fase correspondiente a la recopilación y la cuantificación de las entradas y salidas de un sistema durante su ciclo de vida.

Para estudiar el ciclo de vida de un producto o servicio se tienen en cuenta todas las entradas y salidas de los procesos que tienen lugar en su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el reciclado o disposición final. Las etapas intermedias del proceso y acciones como el transporte y almacenaje, siempre que cuenten con relevancia dentro del ciclo de vida en cuanto a su impacto, también se incluyen en el análisis. Cuando el ACV tiene este alcance se lo denomina “de la cuna a la tumba”. En cambio, si el alcance del sistema en estudio abarca solamente las entradas y salidas, desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se lanza en el mercado, se conoce como “de la cuna a la puerta”. Finalmente, si las entradas y salidas se limitan a las inherentes al proceso de fabricación, se denomina “de la puerta a la puerta”.

Según la norma ISO 14040 (AENOR, 2006), el estudio de ACV se compone de cuatro fases:

- a) Definición del objetivo y el alcance. Establecimiento de los objetivos y cometidos del estudio, su alcance de acuerdo a los límites fijados para el sistema, la unidad funcional y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad exigida a los datos, y los parámetros tecnológicos y de evaluación.
- b) Análisis del inventario. Fase en la que se recopilan los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema en estudio. Los datos se refieren a la unidad funcional definida en la fase anterior.
- c) Evaluación del impacto del ciclo de vida. Al inventario de entradas y salidas se le incorporan los indicadores correspondientes a los potenciales impactos hacia el medio ambiente, la salud humana y la disponibilidad de recursos naturales.
- d) Interpretación. Los resultados del ICV y la Evaluación de Impactos se interpretan en función del objetivo y alcance establecidos. Luego de realizar el análisis de los resultados, considerando su integridad, sensibilidad y coherencia, se plasman las conclusiones, limitaciones y recomendaciones que surgen del estudio.

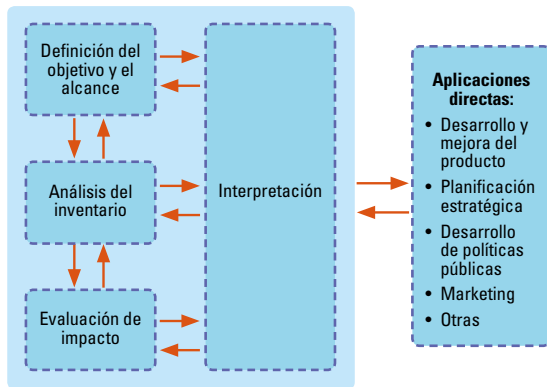


Figura 1. Etapas de un ACV. Fuente: Norma ISO 14040.

El alcance de un ACV varía según la metodología que se utilice, el objetivo y los límites establecidos para el sistema en estudio. Realizando un análisis de la totalidad del ciclo de vida, de la cuna a la tumba, es posible asegurar que las cargas imputadas en una fase del ciclo de vida no se traspasen a otras fases. A modo de ejemplo, si se tercerizan etapas de un proceso mediante la contratación de un proveedor externo, eso no exime de contabilizar las cargas ambientales asociadas a esas etapas o subprocesos. Esto responde a la visión integral del ACV.

La fase correspondiente a la Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida tiene por objetivo conocer y evaluar la magnitud y la significancia de los impactos ambientales potenciales de un sistema. Para ello se emplea un método de evaluación para transformar los datos recabados en el Inventario de Ciclo de Vida en resultados de carácter ambiental. Aquí se caracteriza el resultado final del ACV, el cual puede diferir según la metodología empleada;

hasta la fecha no se ha acordado un modelo único de evaluación a nivel internacional.

La norma ISO 14040 establece una serie de etapas obligatorias y otras de carácter optativo (Figura 3).

Para comenzar un ACV el primer paso es la selección de las categorías de impacto ambiental que se consideran en el estudio. Estas categorías corresponden a los impactos ambientales relevantes, que son cuantificados en la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida del producto o servicio en estudio.

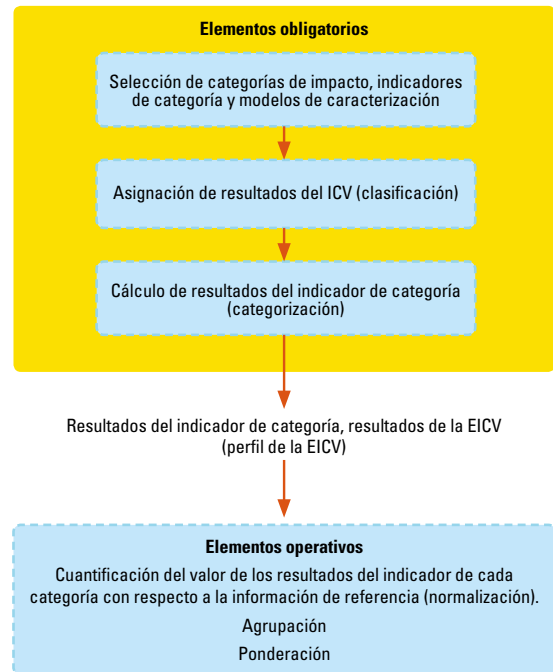


Figura 3. Elementos de la fase Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. Fuente: Norma ISO 14040.

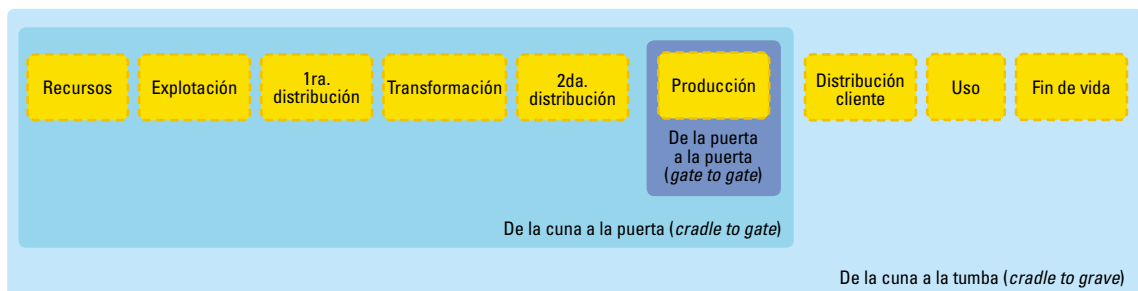


Figura 2. Diferentes alcances del ACV.

Categorías de impacto ambiental		Indicadores de la categoría de impacto
Cambio climático	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.	Kilogramo equivalente de CO ₂ .
Agotamiento de la capa de ozono	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kilogramo equivalente de CFC-11.
Eutrofización terrestre	Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutriente, donde aumenta la biomasa y hay empobrecimiento de la diversidad.	Mol equivalente de N.
Eutrofización acuática		Agua dulce: kilogramo equivalente de P. Agua de mar: kilogramo equivalente de N.
Acidificación	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia del aporte de ácidos.	Mol equivalente de H ⁺ .
Agotamiento de los recursos - agua	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	m ³ de consumo de agua en relación con la escasez de agua a nivel local.
Agotamiento de los recursos - minerales, fósiles		Kilogramo equivalente de Sb.
Formación fotoquímica de ozono	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad).	Kilogramo equivalente de COVNM.
Ecotoxicidad para ecosistemas de agua dulce	Efectos considerables sobre los compuestos que existen de manera natural en el medio natural por la presencia de compuestos xenobióticos como los bifenilos policlorinados (PCB) y ciertos insecticidas.	CTUe (Unidad tóxica comparativa para los ecosistemas).
Toxicidad humana (cancerígenos)	Nivel de riesgo por exposición a tóxicos ambientales cancerígenos.	CTUe (Unidad tóxica comparativa para las personas).
Toxicidad humana (no cancerígenos)	Nivel de riesgo por exposición a tóxicos ambientales no-cancerígenos.	CTUe (Unidad tóxica comparativa para las personas).
Partículas / sustancias inorgánicas con efectos respiratorios	Partículas delgadas, sólidas, divididas o suspendidas en el aire. Pueden originarse de la pulverización de metales o minerales tales como roca o suelos. Ejemplos de polvos inorgánicos son la sílice, asbestos y carbón.	Kilogramo equivalente de PM _{2,5} .
Radiación ionizante (efectos sobre la salud humana)	Tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante.	Kilogramo equivalente de U235 (en el aire).
Transformación del suelo	Alteración de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo por el uso que se hace.	Kilogramo (déficit).

Tabla 1. Categorías de impacto ambiental. Fuente: Unión Europea, 2013.

Luego de que a las sustancias del inventario se le han asignado en la clasificación una o más categorías de impacto ambiental se comparan sus valores respecto a la sustancia de referencia de esa categoría. Para esto se utilizan los factores de caracterización de cada sustancia, que representan su contribución a una determinada categoría de impacto en relación a la sustancia de referencia de esa categoría. Cada sustancia seleccionada se multiplica por su correspondiente factor de caracterización, logrando de este modo llegar a valores con unidades equivalentes y así cuantificar la contribución a cada categoría de impacto.

Factores de caracterización para la categoría de calentamiento global		
Sustancia		Factor de caracterización Kg eq. CO ₂ (IPCC, 2007)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	298
Hidrofluorocarbonos	CFCs	124 – 14.800
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	22.800

Tabla 2. Elementos de la fase Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. Fuente: IPCC, 2007.

Se denomina normalización a la conversión de los resultados de la caracterización a unidades globales neutras. Se realiza un cociente de cada resultado por un factor de normalización, representando los últimos al nivel de contribución de cada categoría de impacto sobre el medio ambiente.

La clasificación de las categorías de impacto dentro de grupos con categorías de impacto con efectos similares se conoce como agrupación.

La ponderación es la conversión de los resultados de los valores caracterizados a una unidad común que permita sumarlos, multiplicándolos por su factor de ponderación. Finalmente, se suma la totalidad de resultados para lograr una única puntuación total del impacto ambiental del sistema en estudio.

Según la UNEP (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente; UNEP-SETAC, 2009), “bajo el concepto de Desarrollo Sostenible se expresan las preocupaciones sobre el estado y la sostenibilidad de las dimensiones ambientales, económicas y sociales

del mundo de hoy y del mañana. También se refiere a la responsabilidad social de las organizaciones y al objetivo de mejorar el desempeño social y ambiental a la par de una rentabilidad económica sostenida – todo desde la perspectiva de contribuir sensiblemente a un mayor bienestar del ser humano.”

La norma ISO 14040 (AENOR, 2006) no tiene dentro de su alcance el estudio del impacto económico y social, por lo que es necesario combinarla con otras herramientas para profundizar ese análisis. Si bien los ciclos de vida ambiental de productos se construyen desde los flujos de materiales y de energía, también pueden partir de los impactos (reales o potenciales) de la producción y consumo en los trabajadores, las comunidades locales, los consumidores, la sociedad y todos los actores de la cadena de valor. A estos estudios también se les puede incorporar la evaluación de los impactos económicos mediante metodologías específicas y complementarias al ACV tradicional.

Las líneas directrices de UNEP para un ACV social ofrecen la base necesaria para el desarrollo de bases de datos y el diseño de programas informáticos de soporte, además de la estructura en la cual un grupo más amplio de partes interesadas e involucradas puede participar. Estas líneas se basan en las normas ISO 14040 y 14044 (AENOR, 2006) y se adaptan para la integración de cuestiones sociales y socioeconómicas. Para esto se estructura una doble clasificación de los impactos sociales: por categorías de partes interesadas e involucradas y por categorías de impacto. Como complemento se trabaja con una serie de subcategorías utilizadas en un ACV social referidas a cuestiones sociales y socioeconómicas de mayor interés. Los impactos sociales son consecuencia de las presiones positivas o negativas sobre el bienestar de los interesados.

Los Análisis de Ciclo de Vida sociales y socioeconómicos son complementarios a los ambientales. Para lograr resultados consistentes es fundamental mantener la coherencia entre las normas utilizadas para los estudios; de hecho, con normas similares se puede llegar a resultados diferentes. En general, se recomienda recabar los datos propios del lugar en cuanto a temas socioeconómicos, ya que las bases de datos para los impactos sociales y socioeconómicos son de tipo generalista.

La herramienta del cálculo del coste del ciclo de vida, LCC por su sigla en inglés, se centra en los costos directos y los beneficios de las actividades económicas, como los costos para la prevención de la contaminación, los costos de las materias primas, los impuestos, los intereses sobre el capital, entre otros. También aborda

GRUPOS DE INTERÉS	CATEGORÍAS DE IMPACTOS	SUBCATEGORÍAS DE IMPACTOS
Trabajadores	Derechos humanos Condiciones de trabajo Salud y seguridad Patrimonio cultural Gobernanza Impactos socioeconómicos	Libertad de asociación y negociación colectiva. Trabajo infantil. Salario digno. Horas trabajadas. Trabajo forzado. Igualdad de oportunidades – discriminación. Salud y seguridad. Seguridad social y beneficios sociales.
Consumidores		Salud y seguridad. Mecanismos de retroalimentación. Privacidad del consumidor. Transparencia. Responsabilidad al final de vida del producto.
Comunidad local		Acceso a recursos materiales. Acceso a recursos inmateriales. Migración y deslocalización. Patrimonio cultural. Salud y seguridad en las condiciones de vida. Respeto a los derechos indígenas. Participación de la comunidad. Empleo local. Condiciones de vida seguras.
Sociedad		Compromiso público con la sostenibilidad. Contribución al desarrollo económico. Prevención y mitigación de conflictos armados. Desarrollo tecnológico. Corrupción.
Actores de la cadena de valor (incluyendo a los consumidores)		Competencia justa. Promoción de la responsabilidad social. Relacionamiento con los proveedores. Respeto a los derechos de la propiedad intelectual.

Tabla 3. Categorías y subcategorías de impacto de un ACV social. Fuente: UNEP-SETAC, 2009.

externalidades como los impactos sobre el bienestar humano debido a los impactos sociales, la biodiversidad, o la reducción en el rendimiento de los cultivos por la contaminación. Por lo tanto, el cálculo del coste de ciclo de vida es una recopilación y evaluación de todos los costos relacionados con un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la producción, al uso, el mantenimiento y la eliminación. Su aplicación es factible para la industria o para bienes de inversión como el transporte, la maquinaria en general y la construcción.

Como técnica, el Análisis de Ciclo de Vida social ayuda a las partes interesadas e involucradas a participar de manera eficaz y eficiente en los procesos de mejora de las condiciones sociales y socioeconómicas.

Aplicaciones prácticas

La Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente estima que el 80% de los impactos ambientales de los productos se determinan durante su fase de diseño. Respondiendo al auge del ecodiseño, el ACV ha incorporado nuevos parámetros para la evaluación del impacto ambiental.

El método de ACV detallado en la ISO 14044:2006 (AENOR, 2006) es aplicable a todos los productos en general, entre ellos los servicios, la industria, los proyectos y los procesos.

La norma ISO 14040 detalla en forma general las siguientes aplicaciones:

- Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida.
- Aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales (por ejemplo, para la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño y rediseño de productos o procesos).
- Selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo las técnicas de medición.
- Marketing (por ejemplo, la implementación de un esquema de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental o una declaración ambiental de producto).

Como complemento de las normas ISO hay una serie de metodologías para el ACV con amplia aceptación. Una de ellas es la definida en la norma PAS 2050:2008 (BSI, 2008), con algunas variantes menores frente a la ISO, pero de similares resultados.

Las metodologías Ec99, Recipe e Impact 2002+ alcanzan las cinco fases de la Evaluación del Impacto Ciclo de Vida: clasificación, caracterización, normalización, agrupación y ponderación. A su vez, abarcan un amplio espectro de las diferentes categorías de impacto ambiental. La de IPCC, por su parte, se focaliza en el cambio climático y considera las fases de clasificación y caracterización.

Para realizar el ACV de un producto o servicio se pueden utilizar numerosas alternativas de software. Las opciones más completas generalmente tienen un costo

de compra de la licencia y cuentan con bases de datos asociadas. También se puede acceder a ellas mediante opciones de licencia limitada.

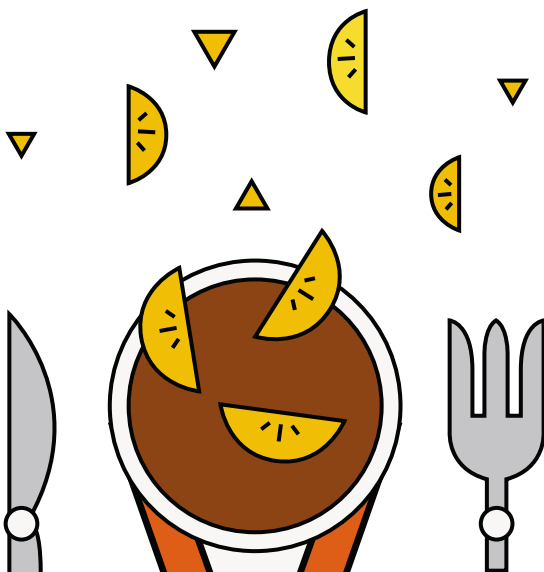
Dentro de estos programas de enfoque genérico los de mayor difusión son SimaPro, GaBi y Umberto. Todos tienen bases de datos asociadas, permiten la realización de ACV y LCC así como la interface con otros programas, la modificación de parámetros y la exportación de datos.

Conclusiones

La evaluación con un enfoque de ciclo de vida de la dimensión ambiental de un producto o proceso cuenta ya con una metodología bien establecida. Si bien se han realizado avances significativos en los últimos años, para la aplicación del enfoque de ciclo de vida aplicado a las dimensiones económica y social aún se requieren métodos e indicadores más consistentes y robustos. El desarrollo de una herramienta de Evaluación de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida que contemple las tres dimensiones clásicas (ambiental, económica y social) enfrenta hoy en día grandes desafíos, uno de ellos es la presentación integrada de los resultados de forma fácilmente comprensible para todas las partes interesadas.

Los análisis de ciclo de vida son muy intensivos en datos y las limitaciones que existen en nuestro medio en cuanto a disponibilidad y accesibilidad de información local confiable, algo que también se traduce en mayores costos, determina una barrera adicional a la aplicación de esta herramienta. Aunque es posible recurrir a bases de datos internacionales, usualmente no reflejan las diferentes realidades locales de los países en desarrollo, lo que obliga a incurrir en estimaciones que pueden aumentar la incertidumbre de los resultados de los estudios. Al respecto vale destacar que la metodología de ACV incluye como elemento esencial la transparencia y trazabilidad de las fuentes de información, así como la declaración de la incertidumbre de los datos y resultados.

Más allá de estas limitaciones, el enfoque de ciclo de vida tiene una aplicación cada vez mayor en las decisiones de organismos gubernamentales y empresas privadas de países desarrollados. Su empleo por parte de las empresas no se basa exclusivamente en su visión de la responsabilidad corporativa en términos de sostenibilidad, sino también en cuestiones de mercado. El ejemplo más visible tal vez sea la creciente demanda en mercados internacionales de información sobre las cantidades de CO₂ emitidos durante el ciclo de vida de un producto, así como de un esquema de etiquetado ambiental que lo contemple.



Referencias

Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006. UNE-EN ISO 14040: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006. UNE-EN ISO 14044: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*. Madrid: AENOR.

British Standard Institution, 2011. PAS 2050. *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Londres: BSI.

British Standard Institution, 2013. PAS 2070. *Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city*. Londres: BSI.

Finkbeiner, M., Schau, E. M., Lehmann, A. y Traverso, M., 2010. Towards life cycle sustainability assessment. En: *Sustainability*, 2, pp.3309-3322.

Guinée, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., Rydberg, T., 2011. Life cycle assessment: past, present, and future. En: *Environ. Sci. Technol.*, 45, pp.90-96.

UNEP-SETAC, 2009. *Guidelines for social life cycle assessment of products* [En línea]. [s.l.]: UNEP. [Consulta: marzo de 2016] Disponible en: http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/dtix1164x-pa-guidelines_slca.pdf

UNEP-SETAC, 2013. *The methodological sheets for sub-categories in social life cycle assessment (S-LCA)*. [s.l.]: UNEP

Unión Europea. Recomendación (2013/179/UE), de 9 de abril de 2013. *Diario Oficial*, 4 de mayo de 2013.

Villanueva, A., Kristensen, K. y Hedal, N., 2006. *A quick guide to LCA and CBA in waste management*. Copenhagen: Danish Topic Centre on Waste and Resources. WBCSD y WRI, [s.d.]. *Greenhouse gas protocol: GHG corporate accounting and reporting standard*. Washington: WBCSD; WRI.

Enlaces recomendados

The Intergovernmental Panel on Climate Change
www.ipcc.ch

International Organization for Standardization
www.iso.org

British Standards Institution – www.bsigroup.com

Carbon Trust – www.carbontrust.com

Greenhouse Gas Protocol – www.ghgprotocol.org

SimaPro – www.pre.nl/pre/default.htm

GaBi – www.gabi-software.com

Umberto – www.umberto.de/en

Ecoinvent Centre - www.ecoinvent.org

EC99 – www.pre.nl/eco-indicator99/default.htm

ReCiPe – www.lcia-recipe.net

Organización Mundial de la Salud – www.who.int

