



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Herramientas simplificadas para el cálculo de la huella de carbono

Autor: Gabriela Benveniste

Institución: Escuela Superior de Comercio Internacional

e-mail: alba.bala@esci.es

Otros Autores: Marco Raugei (ESCI-UPF); Alba Bala Gala (ESCI-UPF); Cristina Gazulla (ESCI-UPF); Pere Fullana-i-Palmer (ESCI-UPF)

RESUMEN

El análisis del ciclo de vida (ACV) es un instrumento para investigar el comportamiento ambiental de un producto o servicio. El análisis de la Huella de Carbono (Carbon Footprint, CF) se puede considerar como una parte del ACV limitada a una sola categoría de impacto (es decir, el potencial de calentamiento global (PCG)). Sin embargo, la inherente complejidad de un análisis total de ACV o CF a menudo es un impedimento para su aplicación generalizada en la industria y en el ámbito político. Para estos sectores, el presente estudio aboga por la adopción de enfoques simplificados, diseñados a medida, en los que se reducen los requisitos de inventario y el alcance de la evaluación del impacto. En este estudio se proporcionan dos ejemplos, uno sobre la evaluación del PCG en el desarrollo de nuevas normas de productos, y otro, sobre los ahorros en el PCG que se pueden alcanzar mediante el uso de materiales reciclados. Los modelos empleados están estructurados de tal forma que no requieren el uso de un software específico de ACV, sino que se basan en algoritmos simples, complementados con tablas de datos para los procesos asociados, que están extraídas de bases de datos reconocidas. Los resultados de los dos ejemplos muestran la validez de la aplicación, obteniéndose unos resultados, para el primer caso, que varían menos de un 10% respecto de un ACV completo llevado a cabo en paralelo para la validación. En la medida de lo posible, dadas las limitaciones existentes, las herramientas simplificadas como las que se presentan en este estudio no deben perder su rigor científico y deben tener en cuenta todas las fases del ciclo de vida del producto. Su objetivo y ámbito de aplicación reducido limitan la extensión y completitud de la información que pueden producir, pero esto puede ser mitigado a través de una selección específica para cada caso de los inventarios simplificados y la/s categoría/s de impacto a considerar. Los dos ejemplos de aplicación presentados aportan pruebas sólidas de que los enfoques simplificados como éstos pueden facilitar el camino para la introducción del enfoque de ciclo de vida y el ACV en el día a día de las industrias y de los responsables políticos, al tiempo que pueden producir resultados científicos sólidos y robustos.

Palabras Clave: Carbon footprint; huella de carbono; análisis de ciclo de vida

1. Antecedentes

Según la Sociedad de Toxicología y Química Ambientales (SETAC) (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) representa una manera de analizar las cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de un producto o servicio, “desde la cuna hasta la tumba”. El ACV es una herramienta muy útil que permite estimar los impactos ambientales producidos a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida de un producto o servicio, incluyendo a menudo aquellos impactos que no son considerados en los análisis más tradicionales (por ejemplo, la extracción de materias primas, el transporte de los materiales, el vertido del producto residual, etc.). Mediante la consideración de los impactos generados a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio, el ACV ofrece una visión general de las características ambientales de estos, así como información más detallada sobre las transferencias reales de impactos ambientales en la selección de productos.

El Análisis del ciclo de vida (ACV) no es perfecto. Por ejemplo, en el inventario del ciclo de vida (ICV), contrariamente a lo que este término parece implicar, nunca es posible incluir realmente todas y cada una de las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto o servicio, y la selección de lo que será incluido y lo que no, inevitablemente implica un cierto grado de subjetividad y falta de exhaustividad (Ayres 1995).

Sin embargo, a pesar de una larga lista de persistentes deficiencias, el ACV es uno de los instrumentos más potentes disponibles hasta la fecha para investigar el impacto ambiental de una tecnología, un producto o un servicio en las distintas etapas de su vida útil, “desde la cuna hasta la tumba”. Desde sus inicios en la década de 1990 (Consoli et al. 1993; Lindfors et al. 1995), un sinnúmero de ACVs han encontrado su camino a revistas científicas de alto nivel, y la metodología también ha ganado más y más aceptación en el sector privado, donde se ha ido estableciéndose como el estándar de facto para estudios ambientales completos. Recientemente, la editorial *Environmental Science and Technology* reafirmó el papel central del ACV como marco recomendable para todos los estudios ambientales (Schnoor 2009).

En particular, la creciente preocupación pública sobre el tema del cambio climático, ha provocado una nueva ola de interés generalizado en muchos sectores industriales por la evaluación del potencial de calentamiento global (PCG) de los productos, y las posibles medidas de compensación asociadas. En la misma línea, el *UK Carbon Trust* también introdujo recientemente el concepto de huella de carbono (HC), definido como “El conjunto total de las emisiones de gases de efecto invernadero causadas directa e indirectamente por un individuo, evento, organización, o producto, expresada en CO₂eq.” (Carbon Trust 2007). Se puede reconocer de forma rápida que la huella de carbono está basada de manera inherente en el pensamiento de ciclo de vida y, de hecho, la actual norma sobre huella de carbono PAS2050 (BSI 2008; Sinden 2009) toma prestados la mayoría de sus conceptos y directrices de las correspondientes serie de normas ISO 14040. De hecho, en opinión de los autores, un análisis de la HC bien hecho puede

considerarse esencialmente como un subconjunto de un ACV completo, con su alcance limitado a una categoría de impacto única, es decir, PCG. Por lo tanto, en este trabajo, se ha optado por atenerse a la nomenclatura de la norma de ACV y el uso de las siglas PCG (para todos los efectos, esto último podría ser sustituido por "huella de carbono", sin afectar a ninguno de los resultados o a la discusión).

En cualquier caso, el ACV (y el análisis de la HC estructurado de manera similar) son por su propia naturaleza muy costosos en tiempo de llevar a cabo, e invariablemente requieren una cantidad considerable de información de procesos específicos que puede ser, a lo sumo, parcialmente reemplazada por estimaciones promedio. Como resultado, estos enfoques integrales pueden llegar a ser descartadas como impracticables en muchos casos, ya sea por falta de tiempo o presupuesto, o por ambas. Por otra parte, en la sociedad moderna, las decisiones que pueden tener grandes implicaciones ambientales (por ejemplo, el desarrollo de una nueva legislación o normas de producto, estrategias de eco-diseño para el desarrollo de productos, la elección de las opciones de gestión de residuos,...) a menudo tienen que hacerse bajo la presión de los actores políticos o económicos, que no están en condiciones de permitirse el lujo de esperar a los resultados claros e indiscutibles de un ACV completo (Ekvall et al. 2007). La consecuencia más probable puede llegar a ser, y en muchos casos ha sido, el abandono casi total de todos los parámetros ambientales en el proceso de toma de decisiones.

Las herramientas simplificadas enfocadas en el ciclo de vida, con objetivos adecuados y ámbito de aplicación reducido, y con normas de gestión de calidad de los datos más relajadas, pueden salir al rescate en una variedad de situaciones concretas, donde tener unos resultados no tan perfectos puede considerarse mejor que no tener ningún resultado en absoluto. En este trabajo, se desarrollan dos herramientas simplificadas para la evaluación de PCG, diseñadas a medida de dos aplicaciones específicas respectivamente, una en el marco del desarrollo de una nueva norma de producto para las bolsas de plástico, y otra, en el del desarrollo de directrices para la contratación pública verde.

Los autores no quieren defender la conveniencia de aplicar siempre y de forma indiscriminada una herramienta simplificada en lugar de un ACV más completo (tanto en términos de la amplitud del inventario como de la inclusión de otras categorías de impacto a parte del PCG). Por el contrario su objetivo es ilustrar cómo los modelos simplificados adaptados de forma individual, a veces pueden ser muy útiles en la prestación de una medida cuantitativa y confiable del impacto ambiental, que quizás sea lo que se requiere para la toma de decisiones políticas y económicas urgentes. En estos casos, "lo suficientemente bueno", de hecho, puede ser lo mejor.

2. Primera aplicación: inclusión de requisitos ambientales en nuevas normas de producto

2.1. Objetivo y alcance

Los autores han seleccionado un caso de estudio sobre el desarrollo de un nuevo estándar para bolsas reutilizables de plástico (AENOR 2009), desarrollado por el Organismo de certificación española, AENOR, como base para el debate. Esta primera aplicación tiene un doble objetivo. En primer lugar, se propone establecer límites cuantitativos para la emisión de gases de efecto invernadero para las bolsas de polietileno (PE), utilizando un modelo simplificado centrado sólo en el indicador de PCG, y usando datos de fondo estándar. En segundo lugar, también tiene como objetivo evaluar la conveniencia del uso de un modelo simplificado para establecer este límite, comparando los resultados obtenidos en términos de PCG con los de varios ACVs completos, que se realizaron en paralelo siguiendo el procedimiento estándar basándose en un amplio inventario del ciclo de vida. De esta manera se analizaron cuatro casos de estudio: uno sobre bolsas de polietileno de alta densidad (PEAD) 100% virgen, otro sobre bolsas de PEAD 15% reciclado, otro sobre bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) 100% virgen, y otro sobre bolsas de PEBD 15% reciclado.

2.2. Método

El primer paso en la definición del algoritmo fue identificar los procesos clave a lo largo del ciclo de vida de bolsas de PE que más contribuyen al PCG, por medio del conjunto de ACVs completos de los cuatro tipos diferentes de bolsas de plástico descritos anteriormente, siguiendo las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006 y utilizando el software GaBi 4.3 y bases de datos estándar de la industria (PE International 2007; Ecoinvent 2008). Los resultados que dan estos ACVs completos son sobre una serie de categorías de impacto (se utilizó el método de evaluación del inventario del ciclo de vida CML 2001); sin embargo, a efectos de este trabajo sólo se ha considerado el PCG.

Los resultados de estos estudios revelan las siguientes etapas como las más importantes en términos de PCG para las bolsas de PE: producción de materias primas, producción de bolsas y distribución del lugar de producción hasta los establecimientos al por menor. Dependiendo del caso de estudio, estas tres etapas de forma colectiva representan aproximadamente entre 85-90% del PCG asociado al ciclo de vida completo de las bolsas (incluida la producción y el transporte de los productos químicos, así como del fin de vida, eliminación y tratamiento de residuos). En consecuencia, se desarrolló un algoritmo simplificado de PCG incluidos todos los parámetros pertinentes para estos cuatro procesos clave. Es evidente que estos mismos porcentajes (85-90%) también representan el máximo teórico que se puede esperar de que los resultados de la herramienta simplificada repliquen los de los ACVs completo.

El algoritmo es el siguiente:

$$PCG_{TOT} = PCG_{PE} + PCG_{Elec} + PCG_{tr1} + PCG_{tr2}$$

donde:

$$PCG_{PE} = (f_{PE_{vir}} \cdot CO_2 - eq_{PE_{vir}}) + (f_{PE_{rec}} \cdot CO_2 - eq_{PE_{rec}})$$

$$PCG_{Elec} = (QE \cdot 3,6 \cdot CO_2 - eq_{Elec})$$

$$PCG_{tr1} = \left(\frac{1}{1.000} \cdot dist_1 \cdot CO_2 - eq_{tr1} \right)$$

$$PCG_{tr2} = \left(\frac{1}{1.000} \cdot dist_2 \cdot CO_2 - eq_{tr2} \right)$$

$f_{PE_{vir}}$ = fracción de PE virgen en relación con el peso total de la bolsa

$f_{PE_{rec}}$ = fracción de PE reciclado en relación con el peso total de la bolsa

$CO_2 - eq_{PE_{vir}}$ = valor del PCG para el PE virgen [kg(CO₂-eq)/kg]

$CO_2 - eq_{PE_{rec}}$ = valor del PCG para el PE reciclado [kg(CO₂-eq)/kg]¹

QE = consumo eléctrico por kilogramo de bolsas [kWh/kg bolsas]

$CO_2 - eq_{Elec}$ = valor del PCG para la producción eléctrica en función del mix eléctrico empleado [kg(CO₂-eq)/MJ]

$dist_1$ = distancia entre el lugar de producción del PE y el lugar de producción de las bolsas [km]

$dist_2$ = distancia entre la fábrica de la bolsa y el lugar donde la bolsa será utilizada [km]

$CO_2 - eq_{tr1}$ = valor del PCG para el transporte de PE en función del medio de transporte [kg(CO₂-eq)/tkm]

$CO_2 - eq_{tr2}$ = valor del PCG para el transporte de bolsas en función del medio de transporte [kg(CO₂-eq)/tkm]

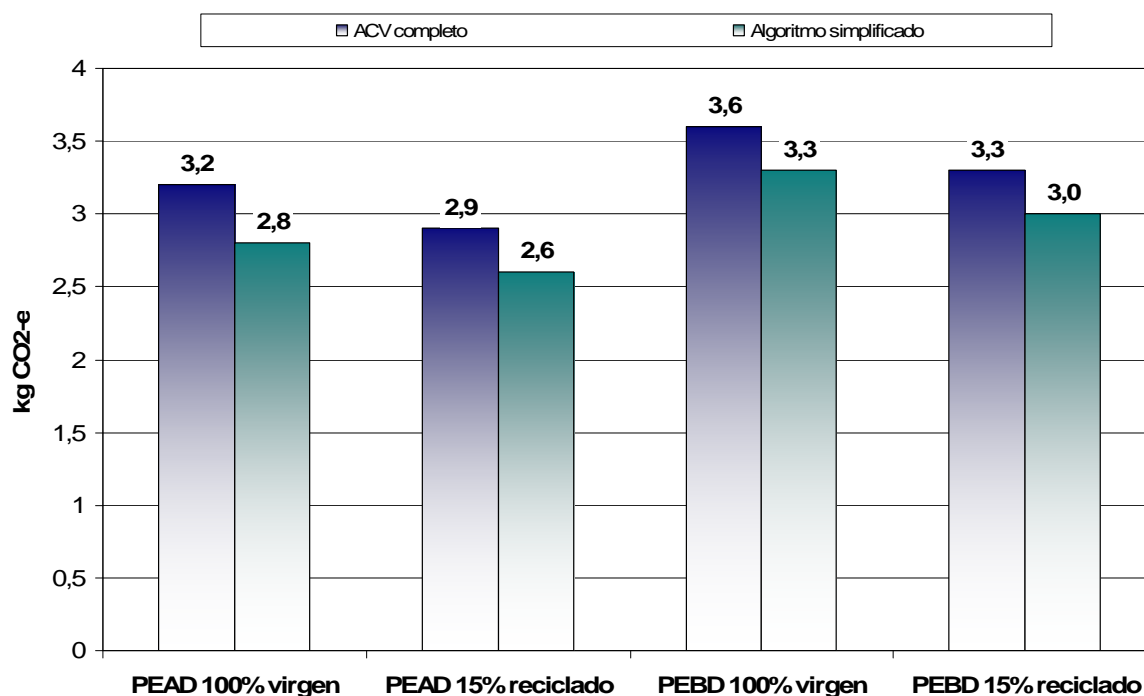
¹ En este estudio se han considerado sistemas de reciclado abierto (*open loop*). Por tanto, no se han considerado créditos ambientales ni asignación de cargas. Sólo se ha considerado la recogida y el tratamiento físico del residuo de PE para generar nuevos pellets.

Con el fin de comprobar el grado de exactitud del algoritmo, éste se puso a prueba mediante la comparación de sus resultados, con los obtenidos a través de ACVs completos para los cuatro casos de estudio mencionados arriba, es decir, (1) bolsas PEAD 100% virgen, (2) bolsas PEAD 15% reciclado, (3) bolsas de PEBD 100% virgen y (4) bolsas de PEBD 15% reciclado.

2.3. Resultados

En la Figura 1, se muestra una comparación entre los resultados del PCG del ACV completo y los del algoritmo simplificado para los cuatro casos de estudio analizados. Como puede verse, el algoritmo simplificado tiende a subestimar el PCG total de los sistemas bajo estudio entre un 10 y un 12 por ciento.

FIGURA 1 Comparación del PCG entre el ACV completo y el algoritmo simplificado, para 1 kg de cada tipo de bolsa.



Estas diferencias se deben principalmente al hecho de que el ACV completo también incluye procesos adicionales secundarios, tales como la producción de pinturas y pigmentos, el embalaje primario y secundario (bolsas de cartón y pallets), el tratamiento de los residuos producidos en los lugares de fabricación (para las bolsas de PEBD), o el reciclaje interno de residuos producidos en fábrica (para las bolsas de PEAD). Este nivel moderado de discrepancia está en línea con las expectativas, y de hecho, puede considerarse un resultado muy alentador.

3. Segunda aplicación: evaluación del ahorro en la huella de carbono mediante el uso de materiales reciclados

3.1. Objetivo y alcance

Este segundo ejemplo de aplicación se centra en estimar la reducción del PCG derivada de la utilización de materiales reciclados en una gama de productos seleccionados. Estos últimos fueron elegidos entre los de una lista facilitada por la *Agència de Residus de Catalunya* (ARC) para compras públicas y privadas. Con el fin de evaluar el potencial de ahorro de PCG, y teniendo en cuenta las sugerencias de la *European Platform on Life Cycle Assessment* del *European Commission Joint Research Centre* (EPLCA 2009), se llevó a cabo un análisis de alcance reducido de una selección de los ítems más representativos de la lista de ARC, que están compuestos por materiales comunes, como el PE, polipropileno, PET, PVC, acero, aluminio, papel, cartón y grava.

Los objetivos generales de esta aplicación se pueden resumir de la siguiente manera:

- Establecer y probar una herramienta sencilla y de fácil utilización para el cálculo del potencial de ahorro de PCG asociado a la utilización de materiales reciclados en productos comunes.
- Proporcionar una herramienta de comunicación, a través de la cual se promuevan los productos hechos de materiales reciclados y por consiguiente empuje a los productores a hacer un mayor uso de materiales secundarios.

3.2. Método

El análisis se ha llevado a cabo dentro del marco de la metodología de ACV, tal como se define en las normas ISO (ISO 2006a, b).

Se han tenido en cuenta los ciclos de vida completos de los productos, incluyendo el suministro de materias primas, energía, así como las etapas de final de vida.

Se ha definido el escenario 1 como el ciclo de vida de un producto completamente fabricado con materiales 100% virgen y el escenario 2 como el del ciclo de vida del mismo producto, pero hecho (parcialmente) de materiales reciclados. Dado que el objetivo final del análisis es la evaluación del potencial de ahorro de PCG producido por la sustitución de materiales vírgenes por materiales secundarios en cada producto, la unidad funcional se define como el producto mismo, y el análisis se realizó sobre el "producto virtual", lo que representa la diferencia entre los dos escenarios antes mencionados. Por lo tanto, todas las fases del ciclo de vida de los productos que quedan

sin cambios en los dos escenarios (es decir, la fabricación del producto, fase de utilización y desmantelamiento) pueden ser descartadas.

Se debe tener en cuenta que en algunos casos, la fase de fabricación del producto puede variar realmente en función de si se utilizan materiales vírgenes o reciclados (por ejemplo, en algunos procesos de extrusión de plástico la cantidad de materia prima y la temperatura de fusión dependen directamente de las propiedades del material). Un producto fabricado con materiales reciclados también puede ser comparativamente menos duradero. Por último, no se consideran las posibles diferencias en el reciclaje postconsumo de los residuos de los productos. Por lo tanto, la simplificación adoptada aquí se aplica estrictamente sólo a los productos para los que no existen diferencias relevantes entre los dos escenarios en las etapas de fabricación, utilización y fin de vida.

Los datos primarios se obtuvieron de la información recogida de cada productor, mientras que los datos sobre los procesos de fondo se tomaron de bases de datos estándar (PE Internacional de 2007; Ecoinvent 2008).

Todos los productores de los artículos seleccionados para este caso de estudio se encuentran en la misma región geográfica (Cataluña, España), y todos los materiales secundarios se producen a partir de residuos recogidos localmente.

El modelo es altamente dependiente del mix energético asociado a cada proceso. Como regla general, ya que los productos se refieren a un escenario regional específico, se ha considerado que la electricidad consumida en el proceso de reciclaje es el mix de la red local, cuando el productor especificó una ubicación distinta del proceso de reciclado, en su lugar se utilizó la correspondientemente combinación energética adecuada. En la fase de la Evaluación del Inventario del ciclo de Vida (EICV), aplicando el mismo concepto del 'producto virtual', se puede calcular el ahorro del PCG de la siguiente manera:

$$PCG_{ahorros} = PCG_{escenario1} - PCG_{escenario2}$$

Cada producto puede estar compuesto de n materiales diferentes. Para cada uno de ellos se aplican las siguientes ecuaciones:

$$PCG_{i,primario} = PCG_{i,prod} + PCG_{i,tr1}$$

$$PCG_{i,secundario} = PCG_{i,reco} + PCG_{i,reci} + PCG_{i,tr2}$$



Donde,

$PCG_{i,primario}$	= PCG para la cantidad de material i requerida para la fabricación, asumiendo un 100% de material virgen
$PCG_{i,prod}$	= PCG para la producción de la cantidad de material i requerida, asumiendo un 100% de material virgen.
$PCG_{i,tr1}$	= PCG para el transporte de la cantidad de material i requerida, desde su lugar de producción.
$PCG_{i,secundario}$	= PCG para la cantidad de material i requerida para la fabricación, asumiendo un 100% de material secundario
$PCG_{i,reco}$	= PCG para la recogida de los residuos equivalentes a la cantidad de material i requerida, para la fabricación del producto
$PCG_{i,reci}$	= PCG para el reciclaje de la cantidad de material i requerida
$PCG_{i,tr2}$	= PCG para el transporte de la cantidad de material secundario i requerida, desde la instalación de reciclaje

Para la totalidad del producto, tenemos:

$$PCG_{escenario1} = \sum (PCG_{i,primario}) + PCG_{fab} + PCG_{uso} + PCG_{fdv}$$

e indicando con k_i la fracción en peso del material reciclado i en el escenario 2, tenemos:

$$PCG_{escenario2} = \sum [(1 - k_i) \times PCG_{i,primario} + k_i \times PCG_{i,sec}] + PCG_{fab} + PCG_{uso} + PCG_{fdv}$$

Lo cual nos lleva a:

$$PCG_{ahorro} = \sum k_i \times (PCG_{i,primario} - PCG_{i,sec})$$

3.3. Resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados para un pequeño subconjunto de los productos analizados. Se ha encontrado un ahorro positivo del PCG comparando el uso de materiales parcialmente reciclados (escenario 2) con los materiales 100% primarios (escenario 1). Esto se aplica igualmente a productos muy simples de un solo componente (por ejemplo papel de impresora), así como a productos más complejos, que se componen de diferentes materiales, de los cuales sólo una fracción son reciclados (por ejemplo, sillas de oficina).

TABLA 1 Ahorros en el PCG para los productos seleccionados, fabricados en parte con materiales reciclados

Producto	material Reciclado	Peso total del producto	Peso de los materiales reciclados	Ahorros PCG	Ahorros PCG por kg de material reciclado
		kg	kg	kg(CO2-eq)	kg(CO2-eq)/kg
Silla de oficina	Al, acero, zinc	15	2.6	14	5.4
balosas	plástico mix	2.3	2.3	7.6	3.3
Papel impresión (500 hojas)	papel	2.5	2.5	5.7	2.3
bandeja escritorio	Cartón	0.23	0.23	0.49	2.1

4. Conclusiones

Los dos ejemplos de aplicación que se presentan aquí aportan pruebas sólidas de que los enfoques simplificados como éstos pueden facilitar la introducción del pensamiento de ciclo de vida y el ACV en el día a día de las industrias y los responsables políticos, al mismo tiempo que producen resultados científicos sólidos y robustos.

Incluso herramientas con un ámbito de aplicación reducido, de una única categoría de impacto de ACV, como las presentadas aquí pueden ser muy útiles para aplicaciones rápidas, rutinarias y para su uso por profesionales inexpertos, que tengan un acceso limitado a software y bases de datos de ACV. En particular, la opinión de los autores es que son extremadamente útiles en el proceso de incluir criterios ambientales

seleccionados (tales como PCG) en las normativas de producto, a fin de evitar la adopción de medidas basadas en elecciones arbitrarias que pueden dejar de considerar adecuadamente la mayoría de las etapas críticas para el medio ambiente o aspectos de su ciclo de vida.

Concretamente el primer caso de estudio ha demostrado que la simplificación bien conducida puede ser esencial en la aplicación de principios de ACV en el contexto de las normas de productos. De hecho, el consorcio español de productores de bolsas de plástico (CICLOPLAST), ha considerado que incluso el algoritmo simplificado propuesto, era demasiado complicado y poco práctico para su aplicación por lo que decidió que se simplificara aún más, dando lugar a una fórmula única para las emisiones de CO₂ con una explicación adicional en un anexo. Es evidente que la posibilidad de exigir un auténtico ACV, que requiere un ICV completo y abordar varias categorías de impacto, habría sido descartado aún más rápidamente. Es una cuestión importante, ya que en opinión de los autores, hay multitud de problemas ambientales inminentes que no pueden seguir dejándose en el olvido a la hora de tomar decisiones políticas importantes.

En cuanto al segundo caso de estudio, se puede afirmar que un análisis simplificado como el que se presenta aquí, a pesar de tener un alcance reducido (es decir, sólo se considera una categoría de impacto, y sólo se mide la reducción absoluta del impacto), no pierde su rigor científico. De hecho, en principio, se tienen en cuenta todas las fases del ciclo de vida completo de los productos y sólo aquellas que son idénticas en los dos escenarios son descartadas en el cálculo.

Su limitación reside en el hecho de que este método simplificado sólo se puede aplicar a los casos en que el único objetivo es la medición del ahorro del PCG en términos *absolutos*, ya que no se genera información sobre el ahorro del PCG *relativo*, ni por supuesto sobre el rendimiento ambiental global del producto, desde el punto de vista de otras categorías de impacto. Este último punto es especialmente importante, ya que en opinión de los autores, las decisiones políticas en cuanto a compra verde destinadas a mejorar los bienes y servicios sólo deben tomarse sobre la base de la evaluación conjunta de un número de tipos de impacto, como por ejemplo, la lluvia ácida, el smog fotoquímico de verano, la eutrofización, los efectos cancerígenos y el uso de la territorio. De hecho, la norma ISO 14044:2006 marca explícitamente que no se utilice una sola categoría de impacto en las comparaciones públicas. Sin embargo, se pueden abordar otras categorías de impacto adicionales, de una manera similar, simplificada en muchos casos, por medio de herramientas específicas para cada caso desarrolladas de forma adecuada por expertos de ACV.

5. Recomendaciones y perspectivas

Partiendo de las premisas de los primeros ejemplos de aplicación presentados aquí, se pueden desarrollar más herramientas simplificadas hechas a medida para los fines

específicos de varios casos de estudios adicionales, lo que efectivamente eludiría el problema a menudo destacado, de la falta de recursos disponibles para aplicar un ACV completo. Por supuesto, en muchos casos, se aconseja no limitar el alcance de todos los métodos simplificados únicamente a la categoría de impacto de PCG. En cambio, la mayoría de los indicadores relevantes que se incluyan en el modelo deben ser seleccionados sobre una base específica para cada caso, y deben desarrollarse herramientas simplificadas adecuadas para su evaluación. De esta manera, la simplificación no se hará a expensas de la solidez o la relevancia científica, y continuará eliminando obstáculos innecesarios a la tan precisada aplicación generalizada del enfoque de ciclo de vida fuera de los ámbitos académicos y de investigación.

Agradecimientos Los autores desean agradecer a CICLOPLAST (<http://www.cicloplast.com>) por proporcionar la financiación y los datos para los casos de estudio de las bolsas de plástico y a la *Agència de Residus de Catalunya* (www.arc-cat.net) por la provisión de fondos y la colaboración de expertos en el segundo caso de estudio.

Referencias

- AENOR (2009) PNE 53942. Plásticos. Bolsas reutilizables de polietileno (PE) para el transporte de productos distribuidos al por menor. Requisitos particulares y métodos de ensayo.
- Ayres RU (1995) Life cycle analysis: a critique. *Res Cons Rec*14:199–223
- BSI (2008) PAS 2050:2008—specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Available via <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050/>
- Carbon Trust (2007) Carbon footprinting—an introduction for organizations. Available at <http://www.carbontrust.com/publications/CTV033.pdf>
- Consoli F, Allen D, Boustead I, de Oude N, Fava J, Franklin R, Jensen AA, Parrish R, Perriman R, Postlethwaite D, Quay B, Séguin J, Vigon B (eds.) (1993) Guidelines for life-cycle assessment: a “code of practice”. Report of the workshop organised by SETAC in Portugal
- Ecoinvent (2008) Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Available at <http://www.ecoinvent.ch>
- Ekvall T, Assefa G, Björklund A, Eriksoon O, Finnveden G (2007) What life-cycle assessment does and does not to do in assessments of waste management. *Waste Manag* 27:989–996
- EPLCA (2009). Carbon footprint—what it is and how to measure it. European Commission Joint Research Centre. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/eplca>

ISO (2006a) International Organization for Standardization, ISO 14040:2006 - Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework.
<http://www.iso.org/iso/home.htm>

ISO (2006b) International Organization for Standardization, ISO 14044:2006 - Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines.
<http://www.iso.org/iso/home.htm>

Lindfors L-G, Christiansen K, Hoffmann L, Virtanen Y, Juntilla V, Hanssen OJ, Rønning A, Ekvall T, Finnveden G (1995) Nordic guidelines on life-cycle assessment. Nordic Council of Ministers, Nord 20. Copenhagen

Schnoor JL (2009) LCA and environmental intelligence? EST 1(43):2997

Sinden G (2009) The contribution of PAS 2050 to the evolution of international greenhouse gas emission standards. Int J LCA 14(3):195–203