



6º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

---

**6CFE01-558**

---

Montes: Servicios y desarrollo rural  
10-14 junio 2013  
Vitoria-Gasteiz



---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013  
ISBN: 978-84-937964-9-5  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Análisis del ciclo de vida de la ventana de madera

LLORENTE DÍAZ, I.<sup>1</sup>, VIGNOTE PEÑA, S.<sup>2</sup>, MARTINEZ ROJAS, I.<sup>3</sup> y MORO COCO, O.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Directora Técnica Federación Española Industrias de la Madera

<sup>2</sup> Catedrático Departamento Aprovechamientos Forestales en la Escuela de Ingenieros de Montes

<sup>3</sup> Profesor ad honorem UPM

<sup>4</sup> Gerente de la Federación Española de Industrias de la Madera

### Resumen

Al menos el 60% del cambio climático puede atribuirse a las emisiones de CO<sub>2</sub> consecuencia de actividades humanas y existen dos maneras de reducir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera: reduciendo “las fuentes de carbono” y/o aumentando “los sumideros de carbono”. Y la madera tiene la capacidad única de hacer ambas cosas. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que sirve para identificar oportunidades de mejora en el desempeño ambiental de determinados productos en las diferentes etapas de su vida y nos aporta información referente al consumo energético, de combustibles fósiles y sobre todo de emisiones de CO<sub>2</sub>. El objetivo de trabajo es estudiar el consumo energético, de combustibles fósiles y de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la vida de una ventana de madera; desde la extracción de la materia prima hasta su llegada a vertedero o reciclaje, mediante el análisis de ACV. Los resultados muestran que una ventana de madera absorbe 102,74 kg de CO<sub>2</sub>. El proceso donde se produce la mayor cantidad de emisiones es en el uso y mantenimiento de la ventana con un 73,8% (incluyendo el consumo energético del hogar dónde se instala) y los mayores impactos se producen en la fase de vertedero.

### Palabras clave

CO<sub>2</sub>, gases efecto invernadero, medio ambiente, emisiones, impacto, producto maderero.

### 1. Introducción

El *efecto invernadero* se refiere a la forma en que es atrapada la radiación infrarroja de la Tierra, calentando así la atmósfera. La radiación solar alcanza la Tierra a través de la atmósfera y calienta su superficie. La energía almacenada es enviada de vuelta al espacio como radiación infrarroja. Sin embargo, al ser menos potente que la radiación entrante, es cada vez menos capaz de cruzar la barrera de ciertos gases atmosféricos específicos conocidos como los gases de efecto invernadero (CEI-Bois, 2009).

Es importante no confundir el efecto invernadero natural, sin el que la temperatura media de la Tierra caería de 15°C a -18°C, con la contribución del ser humano que intensifica el efecto, sobre todo a través de emisiones de CO<sub>2</sub> que tienen un crecimiento cada vez más rápido (CEI-Bois, 2009).

Según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2000), desde que se tienen registros el siglo XX, la década de los 90 y el año 1998 han sido los más cálidos. Los primeros efectos ya han sido claramente documentados y apuntan a cambios mucho más extensos y destructivos en el futuro (Arctic Climate Impact Assessment, 2005).

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de los gases que causan el calentamiento global en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990 (Organización de las Naciones Unidas, 1998).

Hay dos maneras de reducir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera: reduciendo “las fuentes de carbono” y/o aumentando “los sumideros de carbono” Y la madera tiene la capacidad única de hacer ambas cosas. (CEI-Bois, 2009).

Cada año, la humanidad contribuye con 7.900 millones de toneladas de carbono a la atmósfera, de las cuales los sumideros de carbono absorben 4.600 millones de toneladas, lo que resulta en un incremento neto anual de 3.300 millones de toneladas. Este desequilibrio es tan agudo que no será suficiente simplemente reducir las fuentes de carbono, tal y como exige el Protocolo de Kioto, sino que también deberán aumentar los sumideros de carbono, y una de las formas más sencillas de hacerlo es mediante el uso de la madera (IPCC, 2000).

Los bosques gestionados son sumideros de carbono más eficientes que los bosques que se dejan en un estado natural. Los árboles más jóvenes, con un crecimiento vigoroso, absorben más CO<sub>2</sub> que los árboles maduros, los cuales finalmente se mueren y se pudren, devolviendo su almacenamiento de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, mientras que la mayor parte del CO<sub>2</sub> de los árboles cortados en un bosque gestionado sigue almacenado a lo largo de la vida útil del producto de madera resultante (CEI-Bois, 2009).

Debido a este contexto, en los últimos tiempos ha habido una creciente conciencia respecto a la importancia de proteger el medio ambiente y los posibles impactos derivados de los productos. El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta que sirve para identificar oportunidades de mejora en el desempeño ambiental de determinados productos en las diferentes etapas de su vida.

El ACV como herramienta nos aporta toda la información referente al consumo energético, de combustibles fósiles, generación de residuos y sobre todo de emisiones de CO<sub>2</sub>, que en el caso estudiado se genera en la vida de una ventana de madera; desde la extracción de la materia prima hasta su llegada a vertedero o reciclaje.

Existen dos estudios previos en España sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de una ventana de madera:

- *Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción, uso y disposición final de ventanas de PVC, aluminio y madera* (Baldasano et al., 2005). En el que se realiza una aseveración comparativa sin utilizar ninguna norma, entre tres materiales empleados para fabricar marcos de ventana (1.2.3) mediante la estimación de consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- *Madera y Cambio climático; Análisis del ciclo de vida de la madera como material alternativo* (Gobierno Vasco, 2009).

Este estudio se basa en las normas UNE-EN ISO 14044 (2006) Y UNE-EN ISO 14040 (2006) para comparar las emisiones en los procesos de fabricación de una ventana utilizando madera, aluminio o pvc.

## 2. Objetivos

Analizar en todos los procesos que forman el ciclo de vida de la ventana de madera “modelo”, todas las entradas y salidas tanto de materiales como de energía, desde el proceso de extracción de materia prima, hasta su llegada a vertedero o reciclaje para formar parte de un nuevo producto, con el fin de obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en todo el ciclo. Y a su vez, analizar el efecto ambiental del producto en cada uno de sus procesos de fabricación y a lo largo de toda su vida, a través de la evaluación de impacto ambiental de la unidad funcional (ventana modelo).

## 3. Metodología

### 3.1. Análisis de ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida analiza de forma científica, objetiva, metódica y sistemática, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (en este caso la ventana de madera), como herramienta de gestión medioambiental.

La norma UNE-EN ISO 14040 (2006), define el Análisis del 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.
- 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.

El ACV de un producto o proceso consta de cuatro etapas interrelacionadas de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14040 (2006):

#### 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 (en adelante ICV).

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 y que sirven de modelo para el ciclo de vida de un producto.

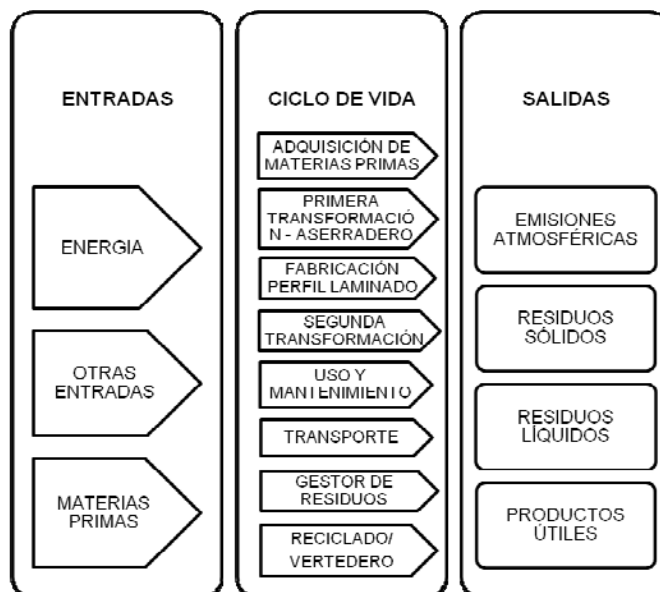


Figura1: Desarrollo del Análisis del ciclo de vida de la ventana de madera objeto de estudio.

### Etapa 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (en adelante EICV).

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.

### Etapa 4. Interpretación del Ciclo de Vida.

Con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones, se aplica un procedimiento de evaluación de los resultados del ACV.

### 3.2. Ventana objeto de estudio

Para la elección de la ventana modelo se realizó una estadística con datos de ventas de 2009 entre algunos fabricantes y se seleccionó una de las más vendidas. La ventana objeto de estudio tiene unas dimensiones de 1,2 m de ancho y 1,2 m de alto y un perfil laminado de pino silvestre de 68 mm de espesor. Los cristales son dos vidrios de 4mm de espesor cada uno con una cámara de aire intermedia de 12 mm. Los perfiles de la ventana pesan 20,33 Kg y el vidrio pesa 27,17 Kg. La ventana tiene de herrajes cuatro pernos, una maneta y una falleba que pesan en conjunto 1.5 Kg. Todos los datos necesarios han sido cedidos por la Asociación Española de Fabricantes de Ventanas de Madera; ASOMA.



Figura 2: Imagen de la Unidad funcional (Elaboración propia).

A partir de las mediciones realizadas obtenemos la superficie de perfil de la hoja y del cerco:

Hoja: superficie de perfil =  $3.383 \text{ mm}^2$

Cerco: superficie de perfil =  $4.077 \text{ mm}^2$



Figura 3: Imagen del perfil de la ventana (Elaboración propia).

La ventana de madera laminada objeto del estudio tiene un volumen total de madera igual a  $0,04 \text{ m}^3$ .

### 3.3. Alcance del estudio

El Sistema del producto representa el conjunto de procesos unitarios con sus flujos elementales y flujos de producto, y va a servir de modelo para el ciclo de vida de la ventana de madera en este caso. (Figura 4).

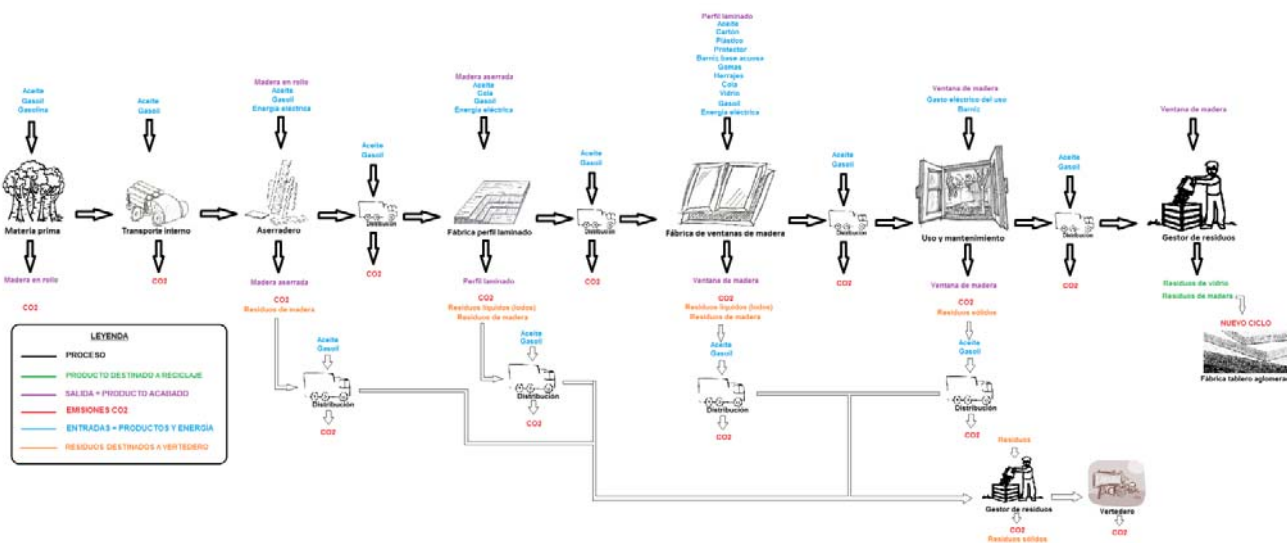


Figura 4: Sistema del producto de la ventana

La norma UNE-EN ISO 14044 (2006) define:

- Proceso unitario: Elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican los datos de entrada y salida. En nuestro caso sería la extracción de la materia prima, el aserradero, la fábrica de perfil laminado, la fábrica de ventanas, el uso y mantenimiento de la ventana, el gestor de residuos y los transportes.
- Entrada: Flujo de producto, de materia o de energía que entra en un proceso unitario.
- Salida: Flujo de producto, materia o de energía que sale de un proceso unitario.
- Flujo de producto: Productos que entran o salen de un sistema del producto hacia otro.

### 3.4. Límites del sistema geográficos y temporales

Límites geográficos: El estudio se sitúa en la Península Ibérica (España), pero el ámbito geográfico de estudio no se circunscribe a estos límites. En la medida en que la materia prima proceda de otras regiones o países, el estudio se extenderá hasta dichos puntos.

Límites temporales: El año base del estudio es el 2009, en estudios posteriores todos los datos pueden variar debido a las modificaciones que puedan surgir con el tiempo en el sistema de producto y dentro de las propias fábricas y procesos.

### 3.5. Limitaciones técnicas y etapas excluidas del análisis:

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV.

- No se ha excluido ninguna etapa del análisis, aunque no modifiquen significativamente las conclusiones globales del estudio.
- Los límites del sistema los establece el sistema de producto representado (figura 4). No se consideran las entradas o salidas que se salen del nivel de detalle del ACV.
- Las emisiones de la cola utilizada en la fábrica de ventanas se omite del estudio puesto que es un valor muy pequeño y aleatorio. El operario aplica una pequeña cantidad con un pincel en las cuatro esquinas del marco y del cerco.
- Las emisiones que producen la gestión de los residuos de los herrajes, el vidrio, las gomas, el cartón y el plástico están incluidos en el dato inicial, puesto que la fuente nos aporta las emisiones del ACV de cada uno de esos productos “de la cuna a la tumba”. Ha de destacarse que todos los productos mencionados se destinan a vertedero excepto un porcentaje de la madera y el total del vidrio que se recicla. El límite para los productos que se reciclan como son la madera y el vidrio, se establece cuando dicho producto llega a la fábrica donde se recicla y entra en el ciclo de otro producto (ej. tablero).
- Toda la madera se puede reciclar pero según Fedemco, 2010 y Ecoembes, 2009, en el año 2009 se destinó un 60% de la madera utilizada a vertedero y sólo un 40% a reciclaje convirtiéndola en otros productos o utilizándose como biomasa. Para ajustarnos a la realidad, en este estudio se considera que los residuos de madera se destinan a vertedero excepto los residuos que componen la propia ventana después de su fin de vida, que se destinan a reciclaje para iniciar un nuevo ciclo, el del tablero, el cual se sale de los límites de este sistema.
- Los procedimientos de asignación para futuras aseveraciones comparativas deberán incluir todas las entradas y salidas que se producen en cada proceso además de las consideradas en este estudio. Tratando de no omitir etapas, procesos, entradas o salidas aunque no modifique sustancialmente las conclusiones o resultados globales.

### 3.6. Requisitos de calidad de los datos

El periodo de recopilación de datos es de un año (2009) y se han de tomar en consideración las variaciones que ello supone, se ha de tomar en consideración las variaciones que puede suponer el cálculo en años posteriores ya que el año 2009 indica una clara recesión económica. El área geográfica donde se han recopilado es la Península Ibérica (España) con el fin de satisfacer el objetivo del estudio. Los datos son una mezcla de datos medidos, estimados y calculados.



Los datos de volumen de madera a lo largo del sistema varían acorde a los rendimientos en los procesos. Esto quiere decir que el volumen que se transforma en la fábrica de ventanas no es el mismo que el del aserradero, según avanza el sistema de producto el volumen relativo de madera destinado a la ventana va disminuyendo proporcionalmente al rendimiento de las fábricas.

Los datos son representativos de la situación española en el año 2009, fuera de estos límites pueden perder valores cualitativos. Los mismos valores cualitativos se deben a la metodología aplicada de manera uniforme a los componentes del análisis. A su vez la información sobre la metodología y los valores de los datos permitirán a cualquier profesional independiente reproducir los resultados que aparecen en este estudio.

### 3.7. Fuentes de los datos

Siempre se ha procurado recopilar datos en fábricas y en España para que el estudio resulte lo más representativo posible.

Los datos referentes a entradas y salidas son unidades exactas estudiadas y calculadas en las fábricas donde se ha realizado el estudio. Los detalles han sido captados por observación directa de los informes, registros y entrevistas con el personal pertinente de diversas etapas del trabajo. La información se ha recogido en el lugar de trabajo o mediante comunicación telefónica.

Los datos obtenidos de Ecoinvent, 1998-2011 (Centro Suizo de Inventario de Ciclo de Vida) se utilizan en productos auxiliares de la ventana de madera, los cuales en la mayoría de los casos se importan de otros países.

Los datos de conversión de unidades para la obtención de emisiones de CO<sub>2</sub> se han obtenido de fuentes independientes y no estrictamente españolas debido a las limitaciones técnicas.

Se han empleado los siguientes datos para estimar las emisiones de las entradas de energía:

- El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por litro de carburante es de 2,30 Kg de CO<sub>2</sub> por litro de gasolina y 2,66 Kg de CO<sub>2</sub> por litro de gasoil (IDAE, 2009).
- El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por KWh es de 0,38 Kg de CO<sub>2</sub>, este dato varía cada año en función del mix de generación eléctrica utilizado; porcentaje de térmica, ciclo combinado, hidráulica... (IDAE, 2009).

### 3.8. Contenido de CO<sub>2</sub> en el pino silvestre

Gracias a la fotosíntesis, los árboles pueden secuestrar el CO<sub>2</sub> presente en el aire y combinarlo con el agua que consiguen del suelo para producir la materia orgánica; la madera. Este proceso de fotosíntesis también produce oxígeno según CEI-Bois (2009).

Para calcular el contenido de CO<sub>2</sub> en el Pino Silvestre es necesario conocer el porcentaje de carbono de la materia seca. Para *P. sylvestris* L. el contenido de carbono es del 50% (Wood energy, 2006). La composición de la madera es idéntica en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas. Por esta razón se admite que todas las maderas contienen aproximadamente un 50% de



carbono. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2000) recomienda, en el caso de no existir datos específicos, considerar también este porcentaje.

Montero et al. (2003) determina que mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO<sub>2</sub> y el peso del átomo de C que la compone obtenemos la relación que se utilizará para pasar de kg de carbono a kg de CO<sub>2</sub> equivalente:

$$\text{Peso CO}_2 / \text{Peso C} = 44 / 12 = 3,67$$

Como la madera seca contiene un 50% de Carbono, un kilogramo de madera contiene:

$$3,67 \cdot 0,5 = 1,83 \text{ kg de CO}_2$$

Por cada 1Kg de madera, el árbol ha fijado 1,83Kg de CO<sub>2</sub>.

#### 4. Resultados

En la tabla 1 se resumen todas las entradas y salidas de cada proceso unitario obtenidas en la etapa de Inventario del ciclo de vida:

Tabla 1: Entradas y salidas de cada proceso unitario

Proceso	Entrada / Ud. funcional		Salida / Ud. funcional	
	Energía eléctrica (KWh)	Combustibles fósiles (L)	Residuos sólidos (Kg)	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg)
Extracción de materias primas	-	1,98	-	5,07
Primera transformación	4,16	0,21	44,43	2,14
Transformación intermedia	26,94	0,11	16,01	10,68
Segunda transformación	19,60	1,10	19,76	42,75
Uso y mantenimiento	515,11	-	50,27	198,32
Transporte	-	1,40	-	3,60
Gestor residuos	-	0,45	130,47	1,22
Vertedero	12,86	-	82,96	4,95
Total	578,68	5,26	-	268,74

Una ventana de madera emite un total de 268,74 Kg de CO<sub>2</sub>. Ha de tenerse en cuenta que el total de la madera gestionada en el proceso contiene 173,16 Kg de CO<sub>2</sub>, la madera es el único material capaz de almacenar CO<sub>2</sub> en lugar de emitirlo durante su fase de elaboración.

##### 4.1. Análisis de contribución por procesos

El proceso unitario donde se produce mayor consumo de energía eléctrica y por lo tanto emisiones de CO<sub>2</sub> es en la fase de uso y mantenimiento;

Tabla 2: Porcentajes de contribución de emisiones por procesos

Proceso	Entrada / Ud. funcional		Salida / Ud. funcional	
	Energía eléctrica (%)	Combustibles fósiles (%)	Residuos sólidos (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Extracción de materias primas	-	37,80	-	1,89
Primera transformación	0,72	3,91	34,05	0,80
Transformación intermedia	4,66	2,16	12,27	3,97
Segunda transformación	3,39	20,87	15,14	15,91
Uso y mantenimiento	89,01	-	37,71	73,80
Transporte	-	26,67	-	1,34
Gestor residuos	-	8,57	100	0,45
Vertedero	2,22	-	63,59	1,80
<b>TOTAL</b>	100	100	-*	100

Los mayores porcentajes de consumos de combustibles fósiles se genera en el proceso de extracción de materias primas (es la única fuente de energía que se utiliza) y en el proceso de transporte.

Las mayores contribuciones en emisiones de CO<sub>2</sub> se producen en las etapas de uso y en la segunda transformación. El uso de la ventana conlleva un gasto de energía eléctrica derivado del consumo de calefacción y aire acondicionado en el hogar durante los 30 años que está instalada la ventana y que deriva en estas emisiones atmosféricas.

La segunda transformación incluye las emisiones del vidrio, que forma parte del sistema de producto y de las emisiones de otros productos que no van a formar parte de la ventana, el cartón y el plástico. El vidrio emite el 57,6% de las emisiones atmosféricas que se producen en la segunda transformación. Y el plástico y el cartón que se utilizan para embalar la ventana y protegerla en el trayecto hasta la puesta en obra suponen el 8,31% de las emisiones del proceso.

#### 4.2. Análisis de impacto

Los impactos en todos los procesos excepto en el de vertedero son compatibles y positivos. Los mayores impactos ambientales acorde a la etapa 3 de evaluación de impacto de ciclo de vida se producen en el proceso de vertedero. El 90,63% de los residuos son madera, por lo que estas condiciones son mejorables si la madera se recicla para formar parte de otros productos como el tablero aglomerado. Aún yendo a vertedero, la madera es un material biodegradable y no perjudicial para el suelo.

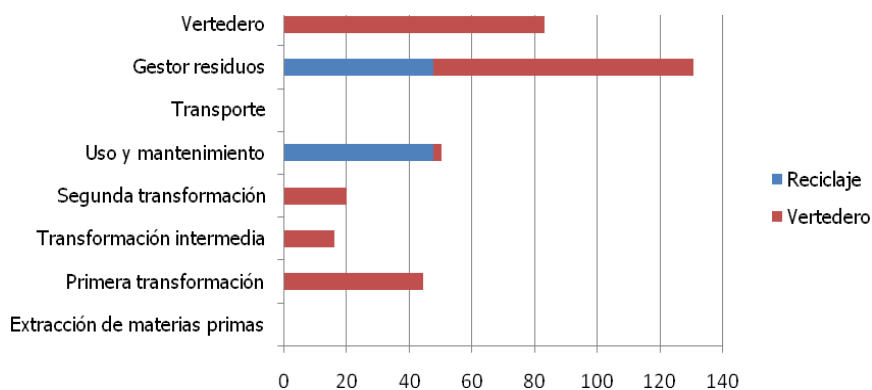


Figura 5: Gestión de residuos por procesos

Los residuos en cada proceso están relacionados con los rendimientos de las fábricas. Una manera de reducir los residuos puede ser aumentando los rendimientos con maquinaria más moderna y estudiando las líneas de flujo para optimizar procesos.

El destino de la madera en cada proceso unitario se ha hecho de manera ideal, el motivo es para acercarnos a las estadísticas del 2009 sobre reciclaje de madera.

## 5. Discusión

A continuación se comparan los resultados obtenidos en el trabajo respecto a los dos trabajos anteriormente realizados para el ACV de una ventana de madera.

El ACV según el Gobierno Vasco (2009) determina que una ventana de madera con dimensiones de 1,65 m por 1,3 m emite en las fases de extracción, primera y segunda transformación, un total de 48,20 kg de CO<sub>2</sub>. En ese trabajo no consideran la fabricación del vidrio y se reducen los límites del sistema omitiendo los procesos de uso y mantenimiento, transporte y disposición final.

Los resultados de este trabajo para las mismas fases del estudio del Gobierno Vasco (2009) serían equivalentes a 36,02 kg de CO<sub>2</sub>. El valor es inferior debido a las menores dimensiones de la ventana. También pueden surgir variaciones debido a que se desconoce el tamaño del perfil y se utilizan datos procedentes de fuentes o documentos no nacionales.

El documento de Baldasano et al (2005) establece que una ventana de madera de dimensiones 1,34 m por 1,34 m con acristalamiento doble emite un total de 886 kg de CO<sub>2</sub>. Los resultados del presente documento establecen que la ventana de madera emite un total de 268,74 kg de CO<sub>2</sub>.

Tabla 3: Comparativa de resultados con estudios anteriores

Proceso	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg)	
	Estudio 2005	Estudio 2009
Extracción y producción	2,50	60,63
Uso y mantenimiento	844,40	198,32
Transporte	0,40	1,34
Vertedero o reciclaje	1,60	1,84
Total	886	268,74

Como se observa prima la diferencia en el proceso de uso y mantenimiento, es debido a que en el estudio de 2005 de la Universidad Politécnica de Cataluña se considera un uso de 50 años para la ventana de madera mientras que, en el estudio actual se establece en 30 años acorde a las indicaciones de fabricante. Además, las emisiones en este punto se calculan a través de las pérdidas de energía por el sistema pared-ventana mientras que en el estudio actual se considera sólo la transmitancia térmica y las pérdidas por la ventana de madera que es el objeto del estudio. El resto de procesos muestra menos emisiones ya que no considera las emisiones del vidrio, ni de combustibles fósiles ni elementos auxiliares.

## 6. Conclusiones

En este estudio se ha calculado el ACV de una ventana de madera de 1,2 m por 1,2 m, con un perfil de 68 mm y un acristalamiento doble (4/12/4). Como resultado absoluto, dicha ventana emite en su ciclo un total de **268,74 Kg de CO<sub>2</sub>**. Si consideramos que el total de la madera gestionada en el proceso contiene 173,16 Kg de CO<sub>2</sub>, y sin contar la fase de uso y mantenimiento que no forma parte del proceso de fabricación y en la cual se emiten 198,32 Kg de CO<sub>2</sub>, las emisiones netas de la ventana de madera serían -102,74 Kg de CO<sub>2</sub>, es decir, el proceso de fabricación de la ventana, gracias al almacén de CO<sub>2</sub> de la madera, supone un **ahorro de 102,74 kg de CO<sub>2</sub>**. Como se ha comentado, la madera actúa como almacén de CO<sub>2</sub> por lo que siempre emitirá menos cantidad de CO<sub>2</sub> para la fabricación de cualquier producto.

Los procesos unitarios donde se producen la mayor cantidad de emisiones son en el Uso y mantenimiento con un 73,80% y en el proceso de la segunda transformación con un 15,91%. En el proceso de uso y mantenimiento se contabilizan las emisiones derivadas del gasto energético para el acondicionamiento de un hogar, durante 30 años considerada la vida de la ventana. En cuanto al proceso de la segunda transformación se ha de tener en cuenta que se incluyen las emisiones del vidrio que suponen un 57,60% de las emisiones de esta fase.

A partir de los resultados obtenidos del impacto ambiental en la fase de EICV, sabemos que los mayores impactos se producen en la fase de vertedero. Se ha considerado que se recicla un 40% de la cantidad total de madera, si se reciclase el 100%, los residuos disminuirían en un 365% y como consecuencia esa proporción disminuiría el impacto del proceso de vertedero para todos los factores ambientales. Por otro lado en la fabricación de la

ventana de madera no se genera ningún residuo tóxico derivado del propio material, la madera es un material orgánico, que incluso cuándo termina su función como producto tiene una segunda vida en la que puede ofrecer buenísimas condiciones y buenas para el medio ambiente, bien sea como biomasa o para formar parte de otro producto como tablero.

Ha resultado duro realizar el estudio por los pocos Análisis del Ciclo de Vida para productos de madera anteriormente realizados. Ofrezco la posibilidad a otros interesados de realizar ACV para cualquier otro producto basándose en esta metodología seguida (UNE-EN ISO 14044:2006) y usando las mismas bases de datos. Incluso siguiendo las mismas líneas para realizar aseveraciones comparativas con otros productos destinados a la fabricación de ventanas como son el PVC y el aluminio.

## 7. Agradecimientos

Agradezco con todo mi corazón el apoyo de todas las personas que colaboraron conmigo en el estudio, me ayudaron a obtener datos y me allanaron el camino para su realización.

## 8. Bibliografía

UNE-EN ISO 14044. 2006. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. AENOR. Madrid.

UNE-EN ISO 14040. 2006. *Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia*. AENOR. Madrid

Arctic climate impact assessment. 2005. *Impacts of warming Arctic*. Cambridge. [Consulta 29 de octubre de 2010]. <<http://amap.no/workdocs/index.cfm?dirsub=/ACIA/overview>>

BALDASANO, JM; PARRA, R; JÍMENEZ, P. 2005. *Estimación del consumo energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la producción, uso y disposición final de ventanas de PVC, aluminio y madera*. Departamento de proyectos de ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña. [Consulta 8 de noviembre de 2010]. <[http://www.deceuninck.es/pdfs/Informe\\_Ventanas\\_PVC-Aluminio-Madera\\_\(Universidad\\_Politecnica\\_de\\_Catalunya\).pdf](http://www.deceuninck.es/pdfs/Informe_Ventanas_PVC-Aluminio-Madera_(Universidad_Politecnica_de_Catalunya).pdf)>

CEI-Bois. 2009. *Frente al cambio climático: Utiliza madera*. ANFTA, Cis Madeira, Xunta de Galicia. Tercera edición revisada, [s.l.]. [Consulta 29 de octubre de 2010]. <<http://www.cei-bois.org/files/b03400-p01-84-SP.pdf>>

Ecoembes. 2009. El reciclado de envases en Europa. Informe Eurostat 2009. [Consulta 21 de septiembre de 2010]. <<http://www.ecoembes.com/es/sobre-ecoembes/reciclaje-entados/Documents/Ecoembes%20Informe%20Eurostat.pdf>>

Ecoinvent. 1998-2011. *Database*. Suecia. [Consulta 15 de diciembre de 2010]. <<http://www.ecoinvent.org/database/>>

Fedemco. 2010. Medio ambiente y reciclaje. Madrid. [Consulta 21 de septiembre de 2010]. <[http://www.fedemco.com/reciclaje\\_informe2009.html](http://www.fedemco.com/reciclaje_informe2009.html)>

Gobierno Vasco. 2009. *Madera y cambio climático; Análisis del ciclo de vida de la madera como material alternativo*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. San Sebastián. 128p. ISBN: 978-84-457-2879-5.

IDAE. 2009. *Factores de conversión a energía primaria y factor de emisión de CO<sub>2</sub> para carburantes, usos térmicos y electricidad*. Ministerio de industria, turismo y comercio [s.l.]. [Consulta 11 de noviembre de 2010]. [www.idae.es/index.php/mod/documentos/mem.descarga/file=documentos/Factores EP C02\\_2008\\_Publico\(1\)\\_21d53552](http://www.idae.es/index.php/mod/documentos/mem.descarga/file=documentos/Factores_EP_C02_2008_Publico(1)_21d53552)

IPCC. 2000. *UN Intergovernmental Panel on Climate Change. Assessment Report*. [s.l.]. [Consulta 29 de octubre de 2010]. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0889.2003.01461.x/full>>

MONTERO, G; MUÑOZ, M; ROJO, A; DONÉS, J. 2003. *Fijación de CO<sub>2</sub> por Pinus sylvestris L. en el monte «Pinar de Valsain»*. [s.l.]: Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. [Consulta 20 de noviembre de 2010]. <[http://www.forestales.net/archivos/forestal/pdfs%2024/fijacion\\_co2\\_P\\_silvestre.html](http://www.forestales.net/archivos/forestal/pdfs%2024/fijacion_co2_P_silvestre.html)>

Organización de las Naciones Unidas, ONU. 1998. *Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el Cambio climático*. [s.l.]. [Consulta 30 de noviembre de 2010]. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Wood energy. 2006. *Ireland's Natural and Renewable Energy Source*. Irlanda. [Consulta 15 de enero de 2010]. <<http://www.woodenergy.ie/woodasafuel/listandvaluesofwoodfuelparameters-part3/>>