



Federación Española de  
Industrias de la Madera



asociación-española-fabricantes  
**ventanas de madera**

# ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA VENTANA DE MADERA

ISABEL MARÍA LLORENTE DÍAZ

Ingeniera Técnico Forestal



Copyright ©

Madrid, marzo 2011



<b>1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA VENTANA DE MADERA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO</b> .....	<b>4</b>
3.1.1 Objetivo del estudio .....	4
3.1.2 Alcance del estudio.....	4
<b>3.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)</b> .....	<b>9</b>
3.2.1 Extracción de materia prima .....	10
3.2.2 Primera transformación (aserradero).....	13
3.2.3 Transformación intermedia (perfil laminado).....	16
3.2.4 Segunda transformación (fábrica de ventanas).....	19
3.2.5 Uso y mantenimiento de la ventana de madera .....	23
3.2.6 Transporte .....	26
3.2.7 Gestor de residuos.....	29
3.2.8 Vertedero .....	32
<b>3.4 INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA</b> .....	<b>34</b>
3.4.1 Estructuración de entradas y salidas.....	34
3.4.2 Análisis de contribución.....	35
3.4.3 Evaluación mediante gráficos.....	36
3.4.7 Discusión .....	41
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>45</b>
<b>6. ANEXOS</b> .....	<b>49</b>
ANEXO I: CÁLCULO DE VOLÚMENES EQUIVALENTES.....	49
ANEXO II: CONTENIDO DE CO <sub>2</sub> EN EL PINO SILVESTRE .....	50
ANEXO III: FICHA TÉCNICA DE LA UNIDAD FUNCIONAL .....	51



## INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

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, el siglo XX ha sido el más cálido desde que se tienen registros, la década de los 90 la más cálida, 1998 el año más cálido. 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)):

- La capa de hielo del polo norte se está derritiendo: entre 1950 y el 2000 su superficie ha disminuido un 20%.
- Los niveles oceánicos globales ya han crecido unos 15cm sólo en el siglo XX.
- A lo largo de todo el planeta, la capa de nieve se está retirando y los glaciares se están derritiendo.
- Hay un aumento significativo en la frecuencia y la gravedad de los desastres naturales como huracanes, sequías, terremotos e inundaciones, trágicamente confirmados por los sucesos de los primeros años del siglo XXI.

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.

Al menos el 60% del cambio climático puede atribuirse a las emisiones de CO<sub>2</sub> consecuencia de actividades humanas - principalmente la quema de combustibles fósiles, que contribuye con emisiones anuales de 6 billones de toneladas de carbono (IPCC (2000)).

Hay dos maneras de reducir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera: reducir las emisiones o eliminar y almacenar el CO<sub>2</sub>: reduciendo “las fuentes de carbono” y 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 almacenada 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 (en adelante 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.

El ACV como herramienta nos aporta toda la información referente al consumo energético, de combustibles fósiles 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.

Actualmente en España se está haciendo el ACV para productos de alimentación, productos de construcción y productos del sector textil. Hay determinadas Comunidades Autónomas que van a financiar el cálculo y certificación de la huella de carbono como Castilla y León en el sector agroalimentario.

Internacionalmente, Chile está implantando la obligatoriedad de señalar la huella de carbono en productos agroalimentarios. En Corea del sur existe una ley para promover el consumo bajo de carbono, disponiéndose en este momento de 140 productos de diferentes compañías con etiqueta de huella de carbono. En Francia el anteproyecto de Ley Granelle 2 publicado en octubre de 2009 anuncia la obligatoriedad de la

información medioambiental en productos a partir de 2011. A nivel Europeo se están desarrollando políticas complementarias, puesto que las tradicionales no están logrando reducir las emisiones de gases efecto invernadero a los niveles deseados en el Protocolo de Kioto.

Anteriores a este trabajo existen dos documentos que han estudiado en España 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*, del año 2005 por la Universidad Politécnica de Cataluña. En el que se realiza una aseveración comparativa sin utilizar ninguna norma, entre los tres materiales para marcos de ventana mediante una 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*, del año 2009 por el Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Este estudio se basa en las normas UNE-EN ISO 14044 Y UNE-EN ISO 14040 para comparar las emisiones en los procesos de fabricación de una ventana utilizando madera, aluminio o pvc.

## 1. **OBJETIVO**

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).

## **2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA VENTANA DE MADERA**

### **3.1 OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

#### **3.1.1 Objetivo del estudio**

El público al que se prevé comunicar los resultados del estudio son principalmente los fabricantes de ventanas de madera.

La razón para realizar el estudio es identificar soluciones no intensivas en energía y minimizar los impactos sobre el uso de energía y sobre el clima en los procesos de fabricación de una ventana de madera.

La aplicación prevista es utilizar los resultados en aseveraciones comparativas con otros materiales y que puedan divulgarse al público.

#### **3.1.2 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. (Figura 4).

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, 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.



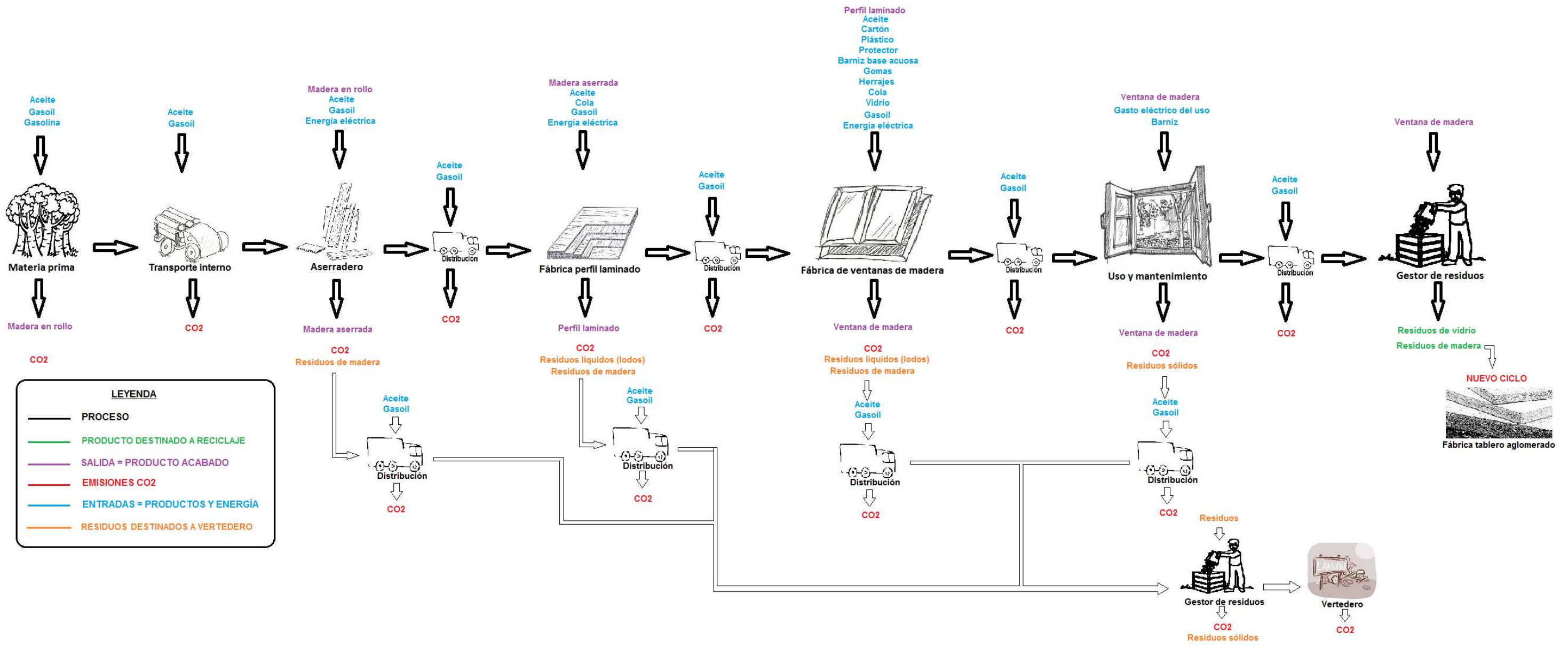


Figura 1: Sistema del producto de la ventana de madera objeto de estudio (Elaboración propia).

### 3.1.2.1 La unidad funcional

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.

La ficha técnica de la unidad funcional se adjunta en el Anexo III.

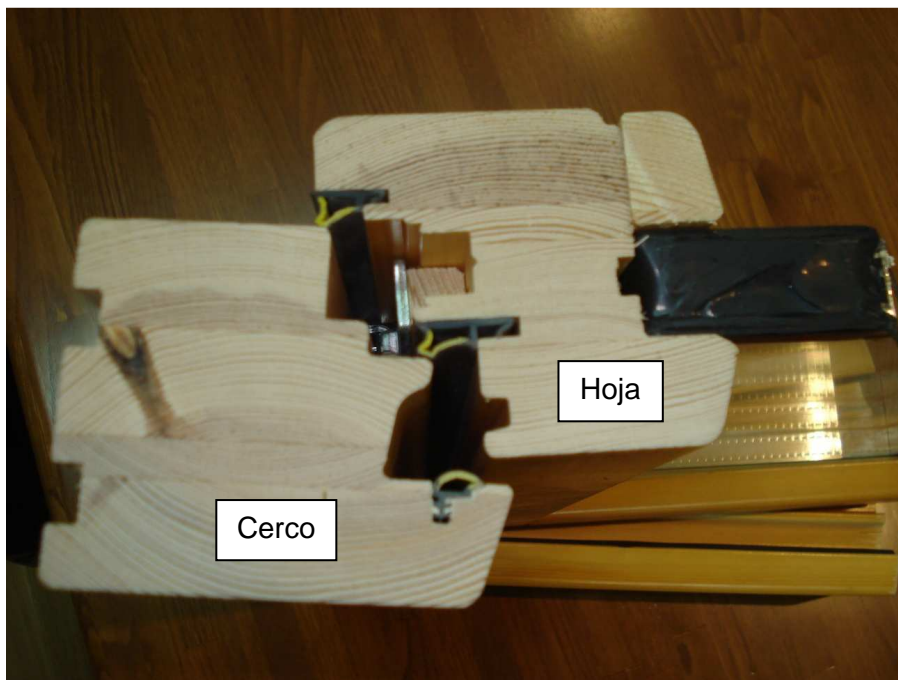


**Figura 2:** Imagen de la Unidad funcional (Elaboración propia).

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

Hoja: superficie de perfil = 3.383 mm<sup>2</sup>

Cerco: superficie de perfil = 4.077 mm<sup>2</sup>



**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  $0,0405 \text{ m}^3$ .

### **3.1.2.2 Límites del sistema geográficos y temporales**

Límites geográficos: El proyecto 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.

### **3.1.2.3 Limitaciones técnicas y etapas excluidas del análisis:**

Los límites del sistema determinan que procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV. La selección de los límites del sistema y la exclusión de etapas deben ser coherentes con los objetivos del estudio.

- No se ha excluido ninguna etapa del análisis, se incluyen todas aunque no modifiquen significativamente las conclusiones globales del estudio.

- Los límites del sistema los establece el sistema de producto representado. Las entradas o salidas no incluidas y por lo tanto no representadas se considera 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 Aitim, Fedemco y Ecoembes en 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 proyecto. Tratando de no omitir etapas, procesos, entradas o salidas aunque no modifique sustancialmente las conclusiones o resultados globales.

#### **3.1.2.4 Requisitos de calidad de los datos**

Todos los datos son del año 2009, no tienen un periodo de recopilación superior a un año por 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 ser la ventana va disminuyendo proporcionalmente al rendimiento de las fábricas (Anexo I).

Los datos son representativos de la situación española en el año 2009, fuera de estos límites puede 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.

Los datos obtenidos de Ecoinvent (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.

### **3.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)**

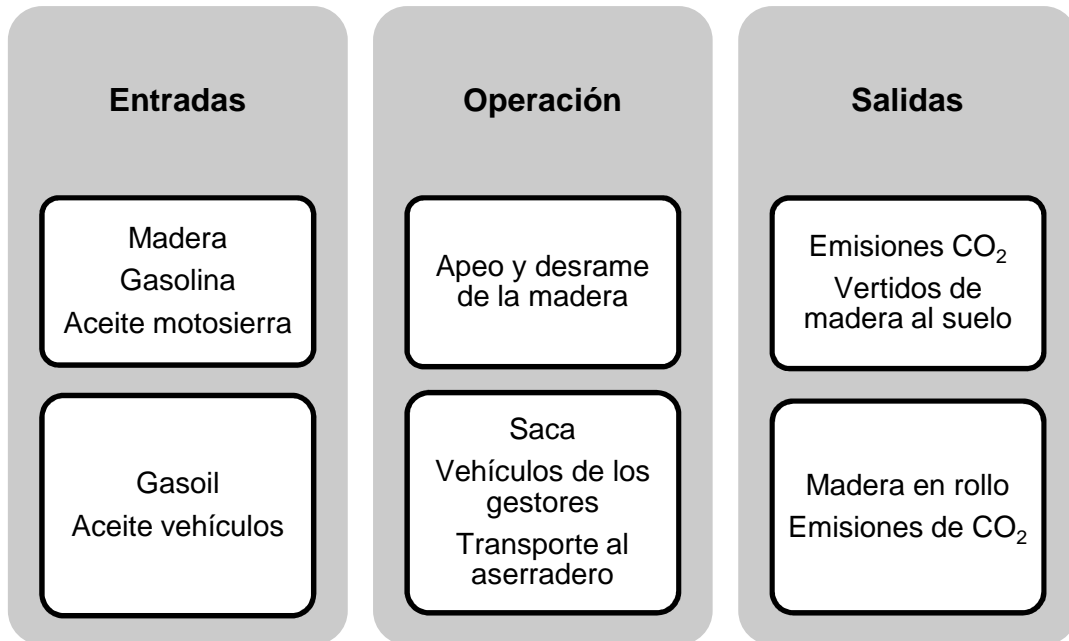
En la etapa de ICV, el flujo de referencia para la medida de las salidas será referido a kilogramos de CO<sub>2</sub> por unidad funcional. Debido a que según avanzan los procesos unitarios el volumen destinado a la ventana final va disminuyendo con las operaciones de transformación, tenemos en cuenta el rendimiento de las fábricas en cada proceso unitario, así conocemos el volumen de madera en cada proceso que se destina únicamente a la ventana y el resto de la operación de transformación son residuos de madera por unidad funcional (Anexo I).

A continuación se detallan los procesos unitarios con sus correspondientes diagramas de flujos de procesos con sus entradas y salidas. Se especifican tal cual exige la norma la cantidad de las entradas, las unidades, la fuente y las salidas en productos, residuos y emisiones de CO<sub>2</sub> / Ud. funcional, que es la unidad de referencia del estudio.

### 3.2.1 Extracción de materia prima

Este proceso unitario comprende desde las actividades necesarias para la adquisición de materia prima hasta su llegada al aserradero. En la extracción de la materia prima se contabilizan las entradas y salidas junto a posibles residuos o emisiones que conlleva el propio aprovechamiento forestal.

El diagrama de flujo de este proceso unitario es:



**Figura 4:** Aserradero (Elaboración propia).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Gasolina (Motosierras)	0,0735	L / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)
Gasoil (Saca)	0,6279	L / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)
Gasoil (Vehículos gestores)	0,9429	L / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)
Gasoil (Transporte al aserradero)	0,2508	L / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)

Entradas de materia prima:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera	0,24505	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Cálculo propio Anexo I

Entradas auxiliares:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Aceite (Motosierra)	0,00367	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)
Aceite (Vehículos gasoil)	0,09108	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)

**SALIDAS:**

Salida de Productos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera en rollo	0,1885	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)

Vertidos al suelo:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera	*0,0565	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)

\*Los vertidos se consideran ramas y ramillas equivalentes al 30% del volumen de madera que sale del monte. Son vertidos beneficiosos como acondicionadores y/o fertilizantes del suelo.

Emisiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Gasolina	0,0735	L / Ud. funcional	2,3	0,1690	IDAE (2009)
Gasoil	1,8216	L / Ud. funcional	2,66	1.6704	IDAE (2009)
Aceite	0,0947	L / Ud. funcional	0,63	0,05969	Ecoinvent (2009)
Madera	*94,62	Kg / Ud. funcional	1,83	-173,16	Aserradero El Espinar (2009) Anexo II

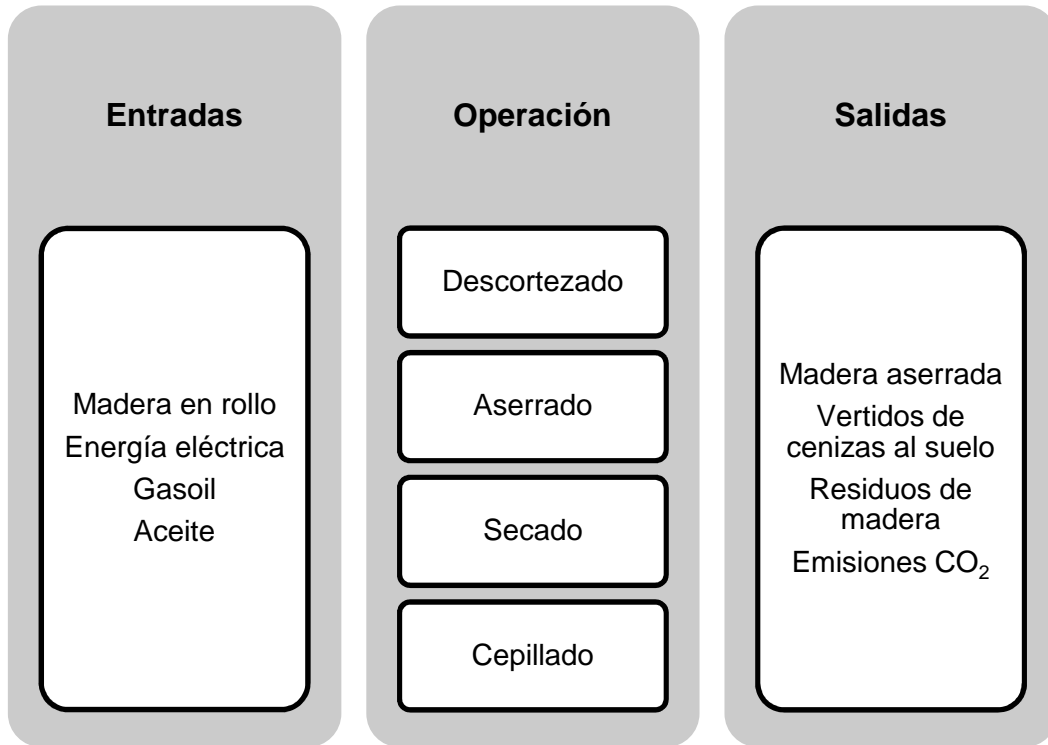
\*La densidad del pino silvestre al 12 % de humedad es 502 kg / m<sup>3</sup>. Se convierten 0,1885 m<sup>3</sup> a kg para facilitar el cálculo.



### 3.2.2 Primera transformación (aserradero)

Este proceso unitario comienza con la recepción de la madera en rollo y termina con la salida de la madera aserrada para su transporte a la fábrica de perfil laminado.

Diagrama de flujo del proceso unitario:



**Figura 5:** Madera serrada, aserradero (Elaboración propia).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Energía eléctrica	4,1638	KWh / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)
Gasoil	0,1998	L / Ud. funcional	Aserradero El Espinar (2009)

Entradas de materia prima:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera en rollo	0,1885	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Cálculo propio Anexo I

Entradas auxiliares:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Aceite	0,0099	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)

### SALIDAS:

Salida de Productos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera aserrada	0,0999	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Aserradero el Espinar (2009)

Vertidos al suelo:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Cenizas	*0,1885	Kg / Ud. funcional	Aserradero el Espinar (2009)

\*Las cenizas se generan durante el secado. Son vertidos beneficiosos como acondicionadores y/o fertilizantes del suelo.

Residuos sólidos:

Salidas	Rendimiento fábrica	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
Madera	53%	0,0885	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Vertedero	Aserradero el Espinar (2009)

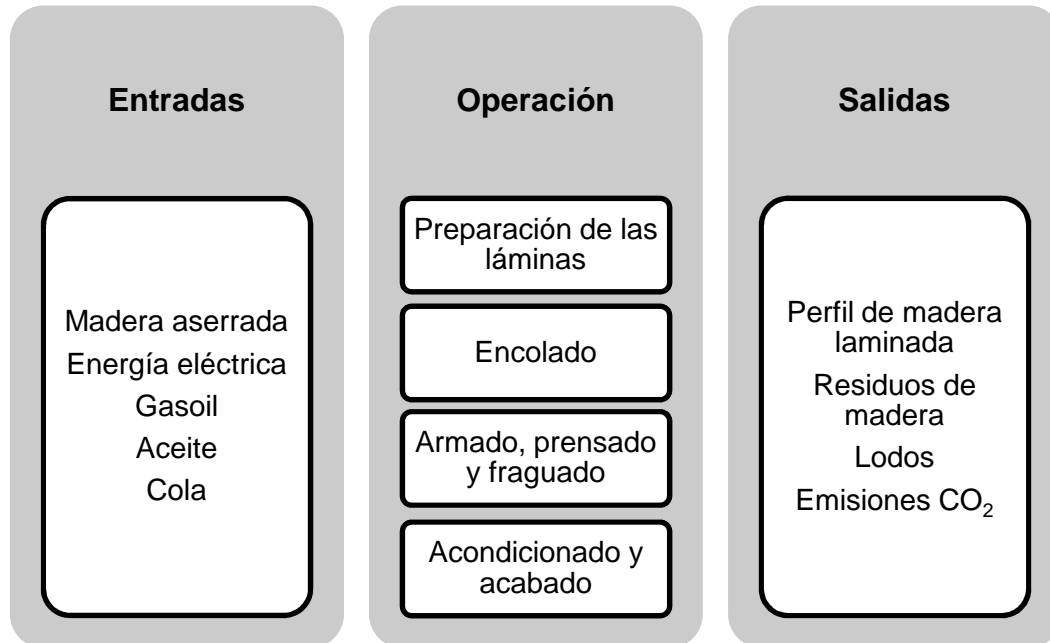
Emisiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Gasoil	0,1998	L / Ud. funcional	2,66	0,5317	IDAE (2009)
Energía eléctrica	4,1638	Kwh / Ud. funcional	0,385	1,6030	Ecoinvent (2009)
Aceite	0,0099	L / Ud. funcional	0,63	0,00629	Ecoinvent (2009)

### 3.2.3 Transformación intermedia (perfil laminado)

Este proceso comienza desde que la madera aserrada llega a la fábrica de perfil laminado y termina cuándo el perfil laminado llega a la fábrica de ventanas.

El diagrama de flujo de este proceso unitario es:



**Figura 6:** Empresa perfil laminado. (Cat´Mader S.L (2009))

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Energía eléctrica	26,9440	KWh / Ud. funcional	Grupo Siero Lam S.A.
Gasoil	0,1083	L / Ud. funcional	*Grupo Siero Lam S.A y Cat Mader S.A

\*El cálculo de entradas de gasoil en este caso es un cómputo medio de los datos de las fuentes que se indican.

Entradas de materia prima:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera en rollo	0,0999	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Cálculo propio Anexo I

Entradas auxiliares:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Aceite	0,00541	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)

Otras entradas físicas:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Cola	0,0786	Kg / Ud. funcional	Grupo Siero Lam S.A y cálculo propio.

**SALIDAS:**

Salida de Productos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Perfil laminado	0,0699	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Grupo Siero Lam S.A. (2009)

Residuos sólidos:

Salidas	Rendimiento fábrica	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
Madera	70%	0,0299	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Vertedero	Grupo Siero Lam S.A. (2009)

Residuos líquidos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino	Fuente
Lodos	1	Kg / Ud. funcional	Gestor residuos	Grupo Siero Lam S.A. (2009)

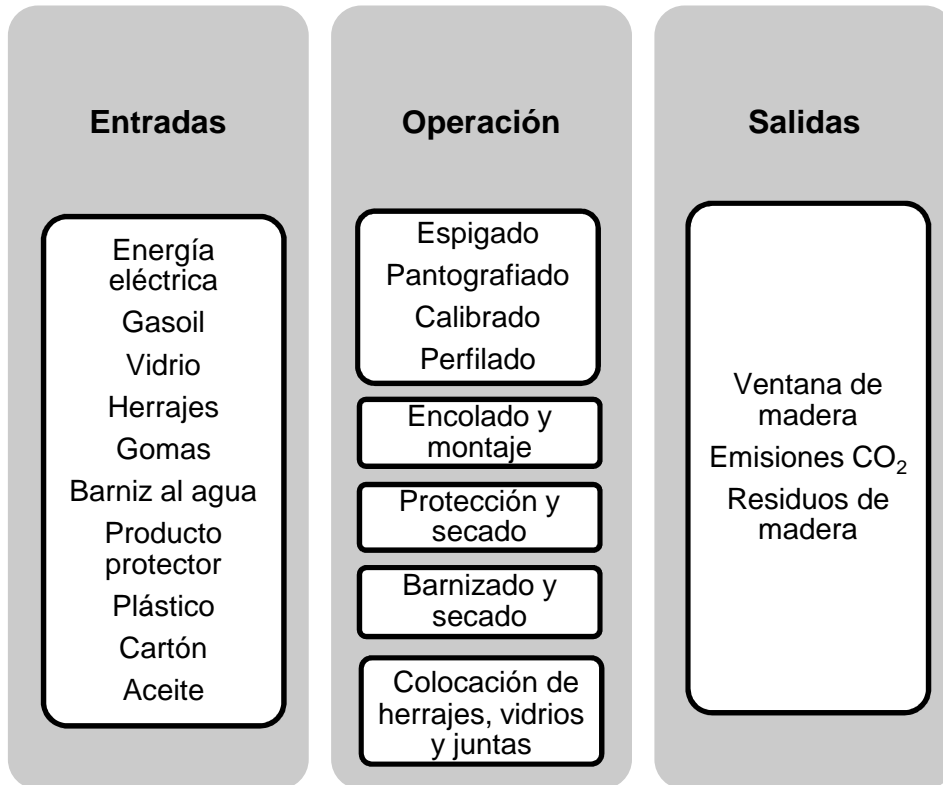
Emisiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Gasoil	0,1083	L / Ud. funcional	2,66	0,2881	IDAE (2009)
Energía eléctrica	26,9440	Kwh / Ud. funcional	0,385	10,3734	Ecoinvent (2009)
Aceite	0,00541	L / Ud. funcional	0,63	0,0034	Ecoinvent (2009)
Cola	0,0786	Kg / Ud. funcional	0,17	0,0133	RICHTER, Klaus (2009)

### 3.2.4 Segunda transformación (fábrica de ventanas)

Este proceso comienza cuando el perfil de madera laminada llega a la fábrica de ventanas y termina con la salida de la ventana al camión en el que se transportará.

Diagrama de flujo del proceso unitario de la segunda transformación:



**Figura 7:** Unidad funcional en fabricación (Elaboración propia).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Energía eléctrica	19,5978	KWh / Ud. funcional	TCM S.A (2009)
Gasoil	1,0989	L / Ud. funcional	TCM S.A (2009)

Entradas de materia prima:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Perfil laminado	0,0699	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Cálculo propio Anexo I

Entradas auxiliares:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Aceite	0,0549	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)
Cartón	0,5722	Kg / Ud. funcional	TCM S.A (2009)
Plástico	0,500	Kg / Ud. funcional	TCM S.A (2009)

Otras entradas físicas:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Barniz al agua	0,200	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)
Producto protector	0,2126	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)
Herrajes	1,5	Kg / Ud. funcional	UBH Malum S.L. (2009)
Gomas	0,200	Kg / Ud. funcional	UBH Malum S.L. (2009)
Vidrio	27,17	Kg / Ud.	TCM S.A. (2009)



Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
		funcional	

**SALIDAS:**

Salida de Productos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Ventana de madera	50,2722	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)

Residuos sólidos:

Salidas	Rendimiento fábrica	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
Madera	57,9%	0,0294	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Vertedero	TCM S.A. (2009)

Residuos líquidos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino	Fuente
Lodos	5	Kg / Ud. funcional	Gestor residuos	TCM S.A. (2009)

Emisiones de CO<sub>2</sub>:

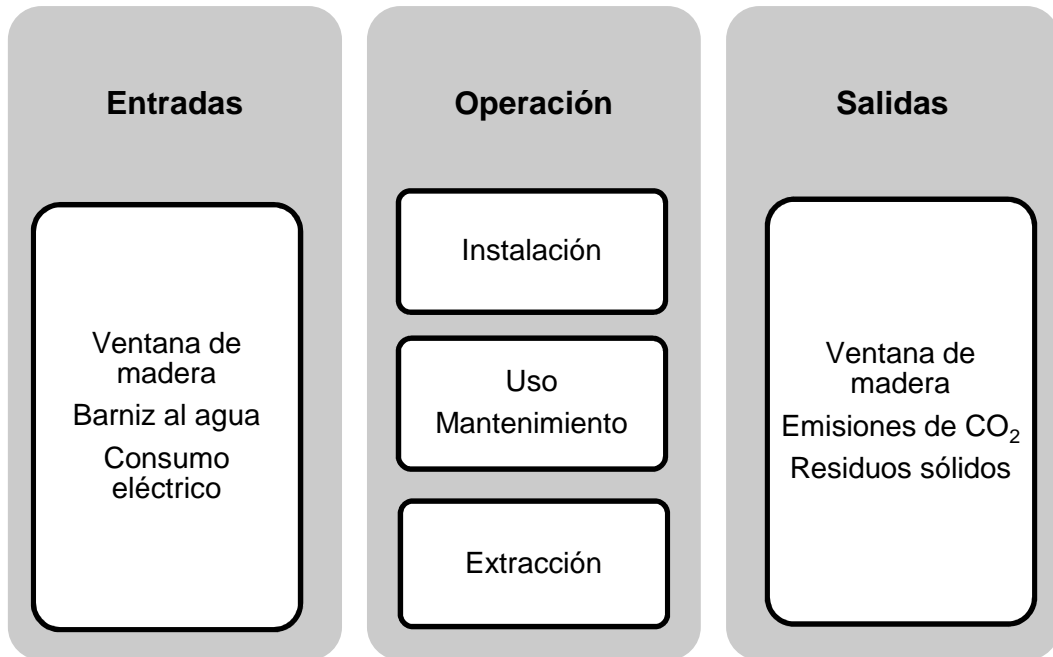
Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Gasoil	1,0989	L / Ud. funcional	2,66	2,9230	IDAE (2009)
Energía eléctrica	19,5978	Kwh / Ud. funcional	0,385	7,5451	Ecoinvent (2009)
Aceite	0,0549	L / Ud. funcional	0,63	0,0346	Ecoinvent (2009)
Barniz al agua	0,200	Kg / Ud. funcional	0,00168	0,00033	Ecoinvent (2009)

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Convertor (kgCO<sub>2</sub>/ Entrada)</b>	<b>Salidas (kg CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Fuente Convertor</b>
Producto protector	0,2126	Kg/ Ud. funcional	0,0052	0,0011	Ecoinvent (2009)
Plástico	0,500	Kg/ Ud. funcional	6	3	Clavreul (2009)
Cartón	0,5722	Kg/ Ud. funcional	1,037	0,5933	PRO Cartón (2010)
Herrajes	1,5	Kg/ Ud. funcional	2,46	3,69	Ecoinvent (2009)
Gomas	0,200	Kg/ Ud. funcional	1,95	0,39046	Ecoinvent (2009)
Vidrio	27,17	Kg/ Ud. funcional	0,906	24,6160	Grupo Arce (2010)

### 3.2.5 Uso y mantenimiento de la ventana de madera

Este proceso comienza desde que la ventana de madera llega a la obra donde será instalada hasta que es recogida para transportar al gestor de residuos. Los cálculos están realizados para un periodo de 30 años, que es la vida de la ventana.

Este proceso unitario tiene el siguiente diagrama de flujo:



**Figura 1:** Modelo de unidad funcional instalada (ASOMA (2010)).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Energía eléctrica	515,116	KWh / Ud. funcional	Cálculo propio

Entradas de materia prima:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Ventana de madera	50,2722	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio

Otras entradas físicas:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Barniz al agua	3	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)

**SALIDAS:**

Salida de Productos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Ventana de madera	49,2	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)

Residuos sólidos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
Madera	0,0405	M <sup>3</sup> / Ud. funcional	Reciclaje	TCM S.A. (2009)
Herrajes	1,5	Kg / Ud. funcional	Vertedero	UBH Malum S.L. (2009)
Gomas	0,200	Kg / Ud. funcional	Vertedero	UBH Malum S.L. (2009)

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
Vidrio	27,17	Kg / Ud. funcional	Reciclaje	TCM S.A. (2009)
Cartón	0,5722	Kg / Ud. funcional	Vertedero	TCM S.A. (2009)
Plástico	0,500	Kg / Ud. funcional	Vertedero	TCM S.A. (2009)

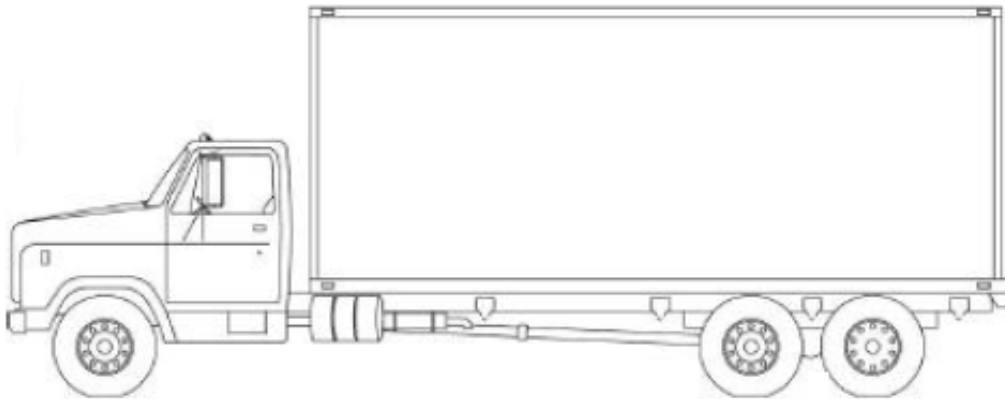
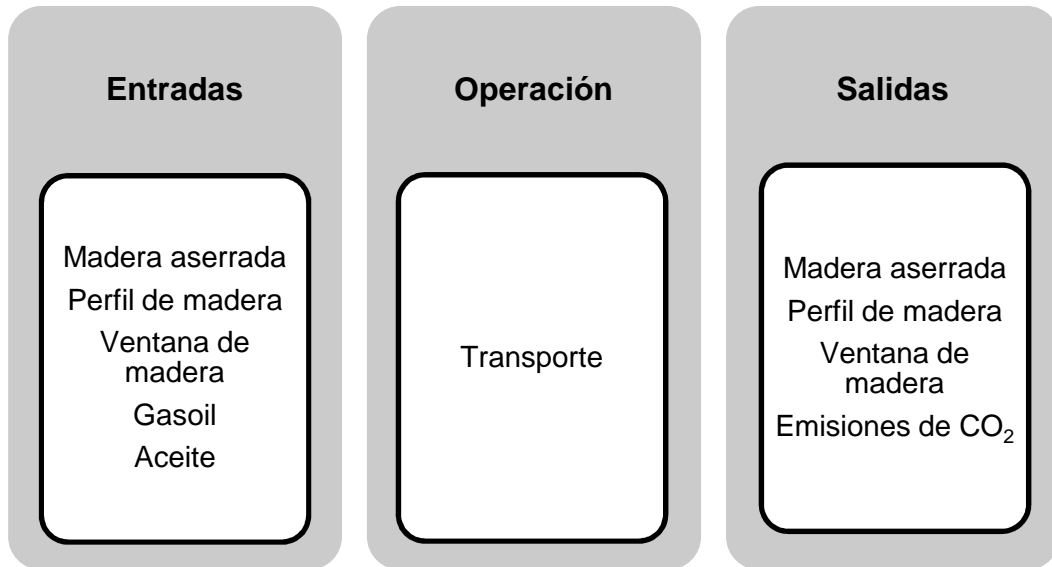
Emissiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Energía eléctrica	515,116	KWh / Ud. funcional	0,385	198,3196	IDAE (2009)
Barniz al agua	3	Kg / Ud. funcional	0,00168	0,00504	Ecoinvent (2009)

### 3.2.6 Transporte

En este proceso unitario se transportan las salidas de producto de cada fábrica al proceso siguiente.

Diagrama de flujo del proceso unitario del transporte:



**Figura 9:** Camión tipo (Free Logistics (2009)).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Gasoil (Transporte madera aserrada)	0,6258	L / Ud. funcional	Cálculo propio.
Gasoil (Transporte perfil de madera)	0,5531	L / Ud. funcional	Cálculo propio.
Gasoil (Transporte ventana madera)	0,1583	L / Ud. funcional	Cálculo propio.

Entradas físicas = Salidas de producto:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
*Madera en rollo	94,627	Kg / Ud. funcional	Aserradero el Espinar (2009)
**Perfil laminado	35,0898	Kg / Ud. funcional	Grupo Siero Lam S.A. (2009)
Ventana de madera	50,2722	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)

La densidad del pino silvestre al 12 % de humedad es 502 kg / m<sup>3</sup>. Se convierten \*0,1885 m<sup>3</sup> y \*\*0,0699 m<sup>3</sup> a kg para facilitar el cálculo.

Entradas auxiliares:

<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Aceite	0,0668	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)

**SALIDAS:**

Emisiones de CO<sub>2</sub>:

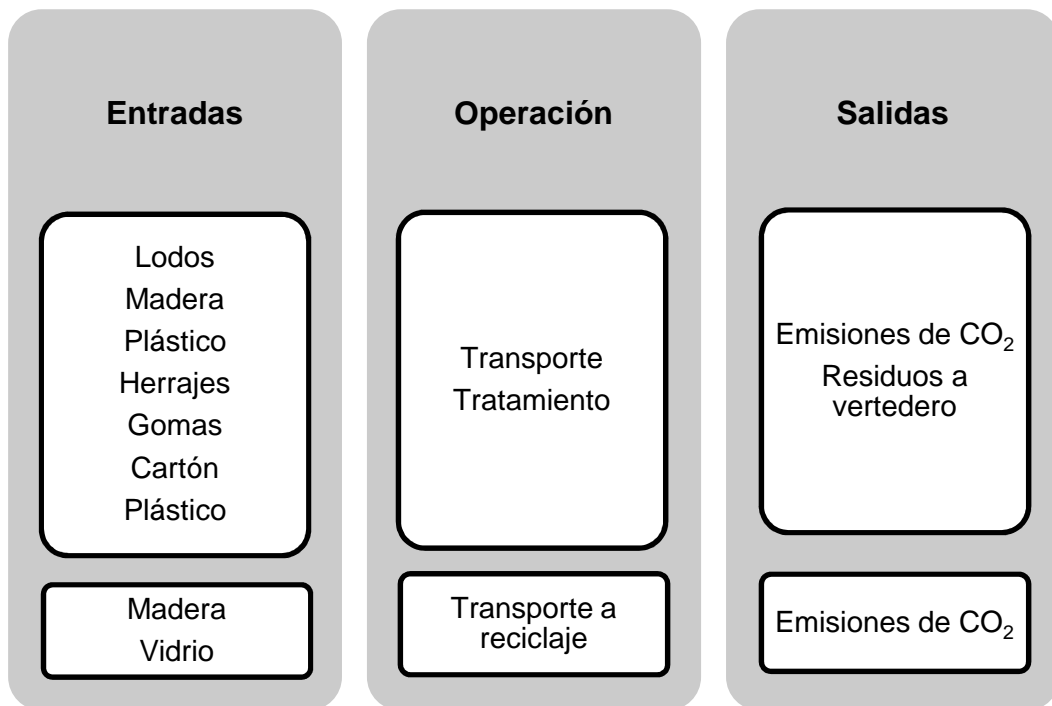
<b>Entradas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Convertor (kgCO<sub>2</sub>/ Entrada)</b>	<b>Salidas (kg CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Fuente Convertor</b>
Gasoil	1,3374	L / Ud. funcional	2,66	3,5575	IDAE (2009)
Aceite	0,0668	Kg / Ud. funcional	0,63	0,0421	Ecoinvent (2009)



### 3.2.7 Gestor de residuos

Todo residuo que sale de cada proceso es recogido por el gestor de residuos. El gestor sigue un procedimiento diferente para cada tipo de residuo, en el caso que se estudia no hay residuos peligrosos, sólo se gestionan residuos sólidos y líquidos (lodos). El destino final del residuo puede ser el vertedero o reciclaje. En el caso de residuos sólidos el gestor transporta la carga a vertedero y en el caso del vidrio y el marco de la ventana usada a la fábrica de reciclaje. Para la gestión de los lodos se deben considerar las emisiones del gestor en la transformación de lodos líquidos a lodos sólidos.

Diagrama de flujo:



**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Gasoil	0,42	L / Ud. funcional	Cálculo propio.

Entradas físicas:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
*Residuos madera	74,1956	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio.
**Marco de madera	20,33	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio.
Vidrio	27,17	Kg / Ud. funcional	TCM S.A. (2009)
Lodos	6	Kg / Ud. funcional	Grupo Siero Lam S.A y TCM S.A. (2009)
Otros residuos	2,7722	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio.

La densidad del pino silvestre al 12 % de humedad es 502 kg / m<sup>3</sup>. Se convierten \*0,1478 m<sup>3</sup> y \*\*0,0405 m<sup>3</sup> a kg para facilitar el cálculo.

Entradas auxiliares:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Aceite	0,02149	L / Ud. funcional	Performance Oil Technology LLC (2009)

**SALIDAS:**

Residuos sólidos:

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
*Madera	74,1956	Kg/ Ud. funcional	Vertedero	TCM S.A. (2009)
**Marco de	20,33	Kg / Ud.	Reciclaje	TCM S.A. (2009)

Salidas	Cantidad	Unidades	Destino final	Fuente
madera		funcional		
Vidrio	27,17	Kg / Ud. funcional	Reciclaje	TCM S.A. (2009)
Lodos tratados	6	Kg / Ud. funcional	Vertedero	Aclima (2009)
Otros residuos	2,7722	Kg / Ud. funcional	Vertedero	Cálculo propio.

La densidad del pino silvestre al 12 % de humedad es 502 kg / m<sup>3</sup>. Se convierten \*0,1478 m<sup>3</sup> y \*\*0,0405 m<sup>3</sup> a kg para facilitar el cálculo.

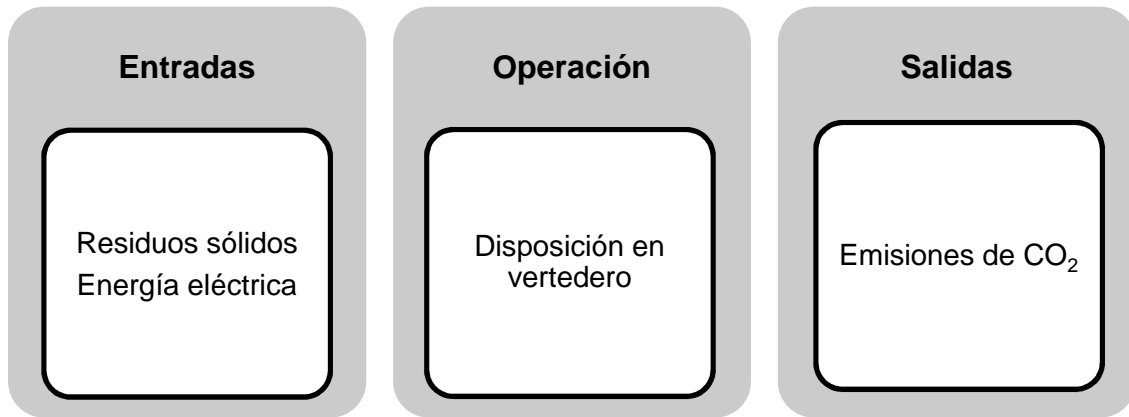
Emisiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> /Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Gasoil	0,4299	L / Ud. funcional	2,66	1,1435	IDAE (2009)
Aceite	0,02149	Kg / Ud. funcional	0,63	0,01354	Ecoinvent (2009)
Solidificación lodos	6	Kg / Ud. funcional	0,01103	0,0662	Aclima (2010)

### 3.2.8 Vertedero

El vertedero es el destino final de la materia que no se recicla. En el vertedero se tratan los residuos y se acumulan hasta su degradación.

El siguiente diagrama de flujo representa este proceso unitario:



**Figura 2:** Vertedero (MARTINEZ,J; DE PRADA, F., 2010).

**ENTRADAS:**

Entradas de energía:

Entradas	Cantidad	Unidades	Fuente
Energía eléctrica	12,8588	Kwh / Ud. funcional	Baldasano et al. (2005)

Entradas físicas:

Salidas	Cantidad	Unidades	Fuente
Madera	74,1956	Kg/ Ud. funcional	Cálculo propio.
Lodos tratados	6	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio.
Otros residuos	2,7722	Kg / Ud. funcional	Cálculo propio.

**SALIDAS:**

Emisiones de CO<sub>2</sub>:

Entradas	Cantidad	Unidades	Convertor (kgCO <sub>2</sub> / Entrada)	Salidas (kg CO <sub>2</sub> )	Fuente Convertor
Energía eléctrica	12,8588	Kwh / Ud. funcional	0,385	4,9506	IDAE (2009)
Emisiones de la madera	74,1956	Kg/ Ud. funcional	1,83	135,77	Oficina Catalana de Cambio Climático (2010)

### 3.4 INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Esta etapa del ACV identifica y estructura la información para determinar cualquier punto significativo. Pretende proporcionar una perspectiva general de los resultados obtenidos en las fases previas y permite llegar a conclusiones y recomendaciones.

#### 3.4.1 Estructuración de entradas y salidas

En la siguiente tabla se resumen todas las entradas y salidas de cada proceso unitario obtenidos en la fase de Inventario del ciclo de vida.

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	-	1,9899	-	5,0745
Primera transformación	4,1638	0,2061	44,427	2,1411
Transformación intermedia	26,944	0,1137	16,009	10,6782
Segunda transformación	19,5978	1,0989	19,758	42,7522
Uso y mantenimiento	515,116	-	50,272	198,3246
Transporte	-	1,4042	-	3,5996
Gestor residuos	-	0,4514	130,466	1,2233
Vertedero	12,8588	-	82,965	4,9506
<b>Total</b>	<b>578,6804</b>	<b>5,2642</b>	<b>-*</b>	<b>268,7441</b>

\* Los valores de m<sup>3</sup> de residuos de madera se han convertido a kg. (Densidad pino silvestre 502 Kg / m<sup>3</sup>).

**Tabla 1:** Estructuración de entradas y salidas del ICV en cada proceso unitario.

### 3.4.2 Análisis de contribución

En el análisis de contribución se examina la contribución de las entradas y salidas en las etapas del ciclo de vida como un porcentaje del total.

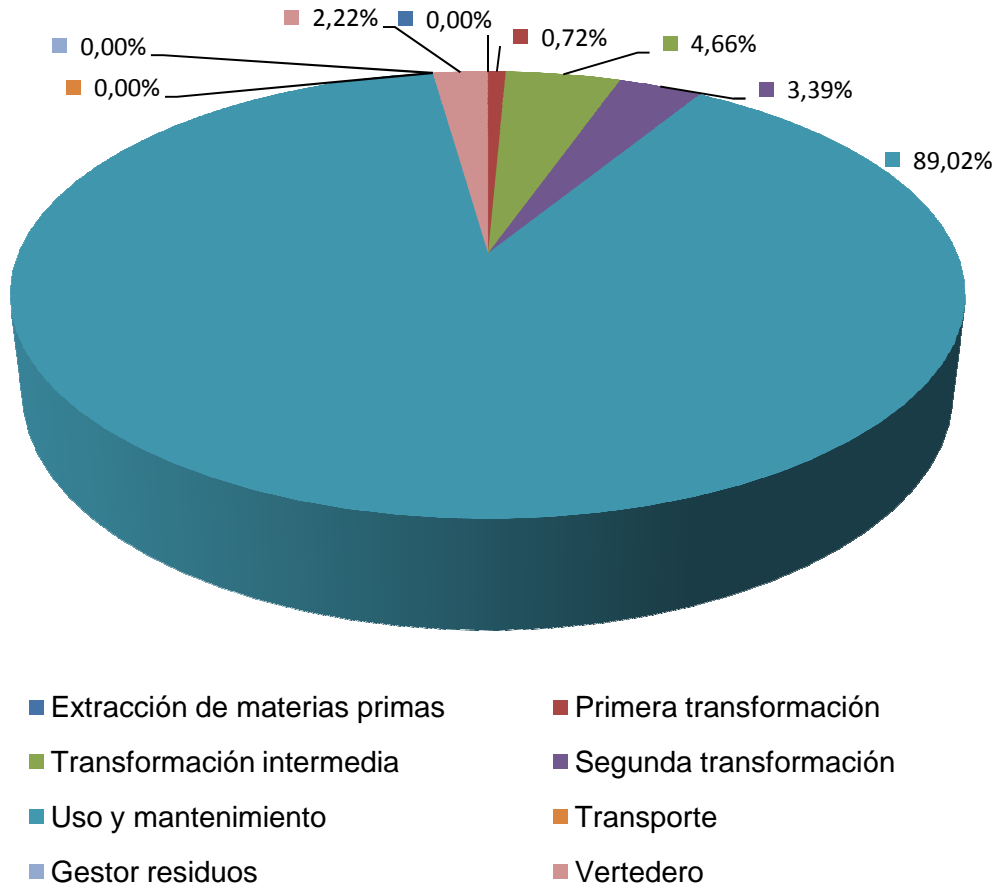
Proceso	Entrada / Ud. funcional		Salida / Ud. funcional	
	Energía eléctrica (%)	Combustibles fósiles (%)	Residuos sólidos (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Extracción de materias primas	-	37,800	-	1,888
Primera transformación	0,719	3,915	34,052	0,796
Transformación intermedia	4,656	2,159	12,270	3,973
Segunda transformación	3,386	20,874	15,144	15,908
Uso y mantenimiento	89,015	-	37,710	73,796
Transporte	-	26,674	-	1,339
Gestor residuos	-	8,574	100	0,455
Vertedero	2,222	-	63,586	1,798
<b>TOTAL</b>	100	100	-*	100

\*El 100% de los residuos entra en el proceso del gestor de residuos.

**Tabla 2:** Análisis de contribución.

### 3.4.3 Evaluación mediante gráficos

#### 3.4.3.1 Contribución de la energía eléctrica por procesos

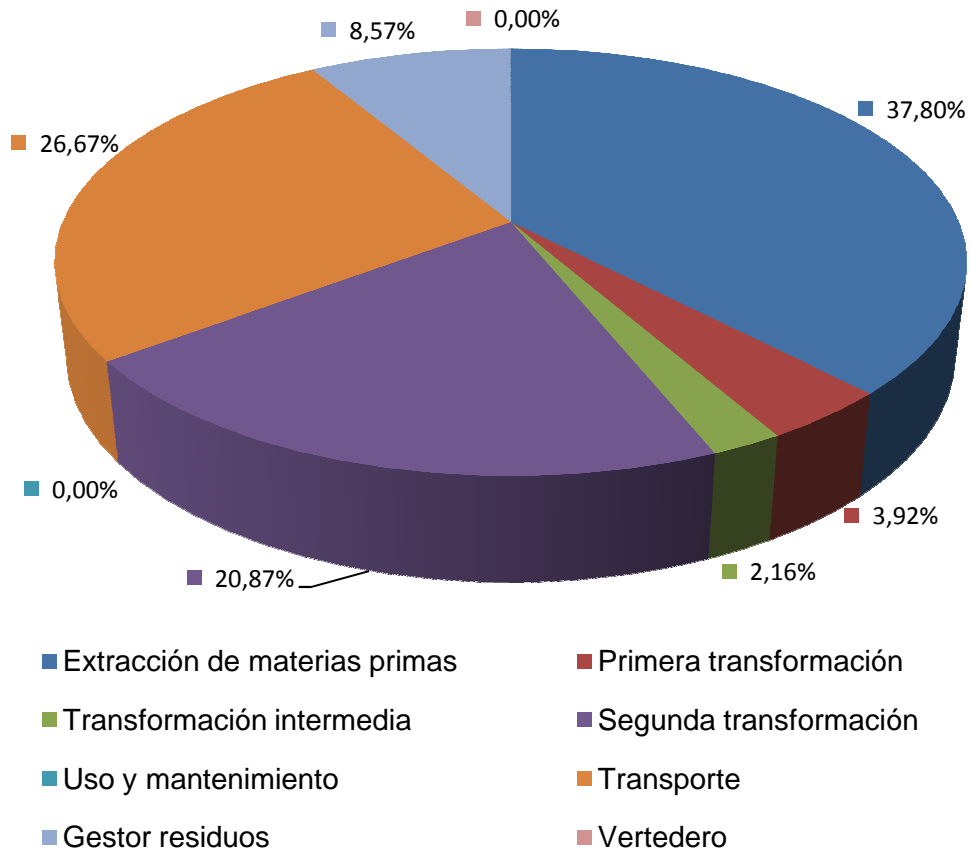


**Gráfica 1:** Contribución de energía eléctrica por procesos.

El proceso donde hay mayor consumo energético es durante los 30 años de uso de la ventana de madera, dicho consumo es derivado del acondicionamiento del hogar con la calefacción en invierno o el aire acondicionado en verano. Los otros consumos energéticos se generan en procesos donde se transforma la madera, el mayor se produce en el proceso de transformación intermedia, donde la elaboración del perfil es laboriosa y en su línea de flujo todos los instrumentos funcionan con energía eléctrica, seguido por la segunda transformación que también utiliza maquinaria basada en la energía eléctrica.



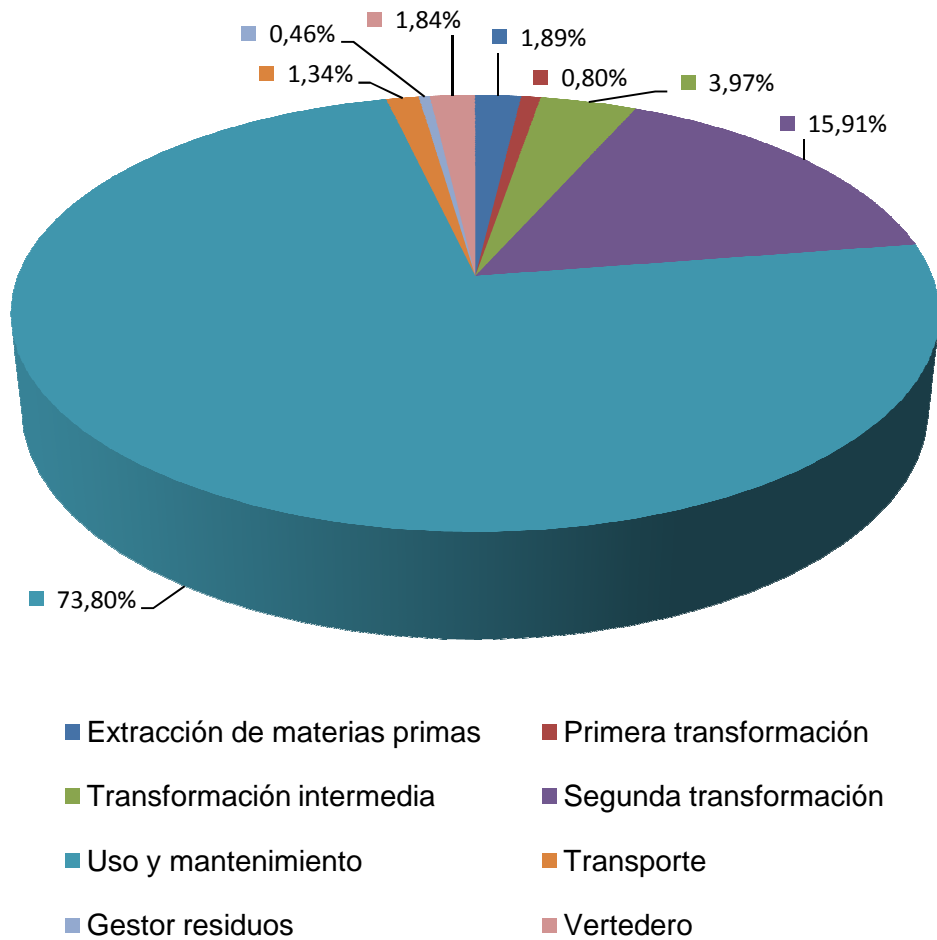
### 3.4.3.2 Contribución de consumo de combustibles fósiles por procesos



**Gráfica 2:** Consumo de combustibles fósiles por procesos.

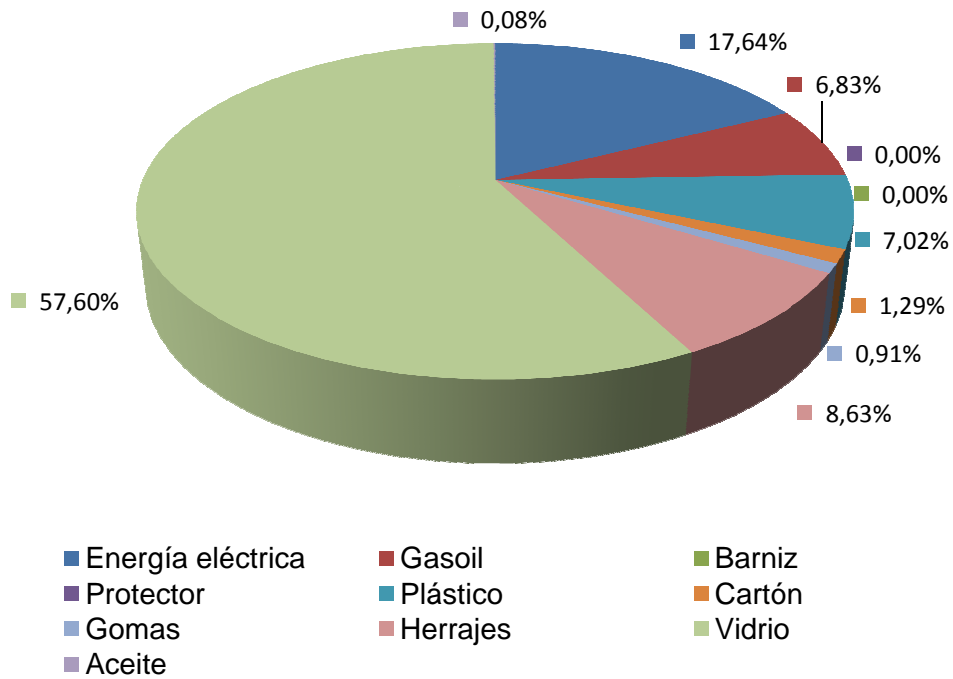
Los combustibles fósiles considerados son: el gasoil, la gasolina y el aceite que provienen del petróleo, estos combustibles son usados en las industrias para las flotas de vehículos y las calderas. El mayor porcentaje de consumos de combustibles fósiles se genera en el proceso de extracción de materias primas puesto que es la única fuente de energía que se utiliza al igual que en el proceso de transporte. Es destacable el gran porcentaje que supone la segunda transformación, la fábrica dónde se ha estudiado; TCM S.A., tiene una gran flota de vehículos y camiones con los que transportan los productos a su destino y cuyo consumo se incluyen en este proceso, lo que aumenta más que el resto de procesos el consumo de estos combustibles.

### 3.4.3.3 Contribución de emisiones de CO<sub>2</sub> por procesos



**Gráfica 3:** Contribución de emisiones de CO<sub>2</sub> por procesos.

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 elevado que deriva en estas emisiones atmosféricas. La segunda transformación incluye las emisiones del vidrio que entra en el sistema de producto a través de esta fase, además de las emisiones de otros productos que no van a formar parte de la ventana como son el cartón y el plástico. A continuación se desglosan las emisiones del proceso de segunda transformación para entenderlo mejor:



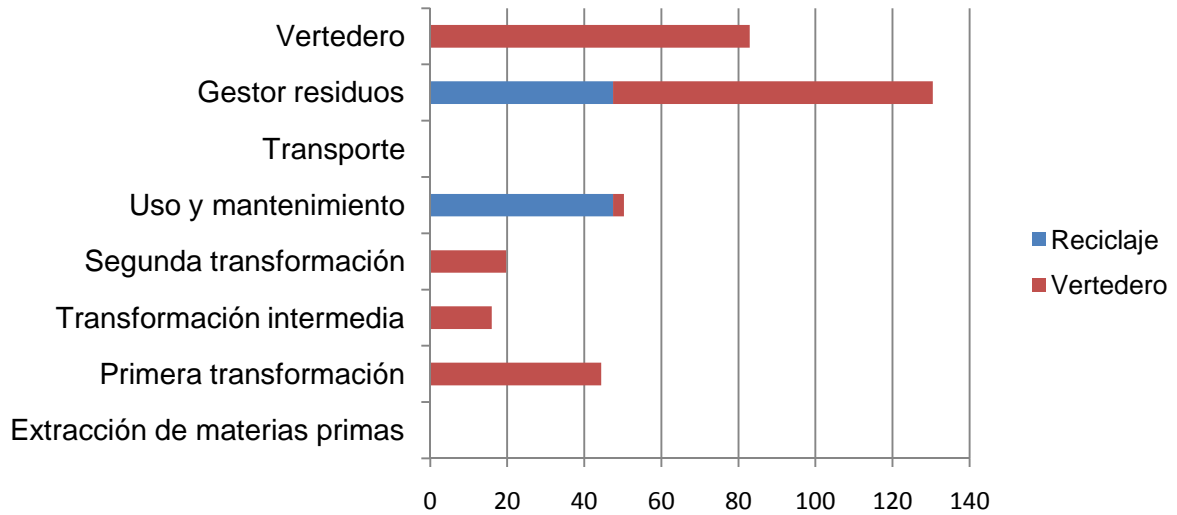
**Gráfica 4:** Contribución de emisiones de CO<sub>2</sub> en la segunda transformación.

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.

Como se observa, a pesar de ser uno de los procesos con mayor consumo de combustibles fósiles, éstos sólo equivalen a un 6,83% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todo el proceso.

#### 3.4.3.4 Contribución de residuos por procesos:

En el siguiente gráfico se representan los kilogramos de residuos que se generan en cada proceso. El gestor de residuos gestiona todos los residuos independientemente de si están destinados a reciclaje o a vertedero.



**Gráfica 5:** Contribución de residuos por procesos.

Los mayores impactos ambientales acorde a la EICV se producen en el proceso de vertedero. El 90,63% de estos residuos son madera, por lo que son mejorables estas condiciones si la madera se reciclase para formar parte de otros productos como el tablero aglomerado. La conciencia medioambiental en España está haciendo que cada año aumenten los porcentajes de madera reciclada frente a la madera que se tira a vertedero. Aún así la madera es un material biodegradable y no perjudicial para el suelo.

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.

Recordar que el destino de la madera en cada proceso unitario se ha hecho de manera ideal, para acercarnos a las estadísticas del 2009 sobre reciclaje de madera. Hay procesos representados que reciclan aunque en este documento no se considere así.

### 3.4.7 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 calculado en el libro *Madera y cambio climático; Análisis del ciclo de vida de la madera como material alternativo* y elaborado por el Gobierno Vasco 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 reducen los límites del sistema omitiendo los procesos de uso y mantenimiento, transporte y disposición final.

Los resultados de este documento estableciendo los mismos límites para poder hacer una comparación serían equivalentes a 36,02 kg de CO<sub>2</sub>. Son resultados inferiores al estudio del Gobierno Vasco debido a que las dimensiones de la ventana en este estudio son inferiores además, se desconoce el tamaño del perfil en el estudio anterior. Pueden surgir variaciones debido a que no realizan cálculos, extraen los datos de bases de datos o documentos no nacionales.

El documento de la Universidad Politécnica de Cataluña *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* del año 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>. Si se observa comparativamente las emisiones más representativas de uno y otro trabajo para cada proceso:

Proceso	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg)	
	Estudio 2005	Estudio 2009
Extracción y producción	2,5	60,63
Uso y mantenimiento	844,4	198,32
Transporte	0,4	1,34
Vertedero o reciclaje	1,6	1,84
<b>Total</b>	<b>886</b>	<b>268,74</b>

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.

### 3. CONCLUSIONES

- En este proyecto 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 **268,7441 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 198,3246 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 73,8% 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 que es la vida de la ventana. En cuanto al proceso de la segunda transformación se ha de considerar 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 proyecto 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.



#### 4. **BIBLIOGRAFÍA**

ACLIMA. "Análisis del Ciclo de vida en la gestión de residuos." Euskadi: Asociación Clúster de Industrias de Medio Ambiente de Euskadi, 2010.

AENOR. *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.* UNE-EN ISO 140-3. Madrid: AENOR, 1995.

AENOR. *Análisis y evaluación del riesgo ambiental.* UNE 150008. Madrid: AENOR, 2008.

AENOR. *Comportamiento térmico de puertas y ventanas. Determinación de la transmitancia térmica por el método de la caja caliente.* UNE-EN ISO 12567. Madrid: AENOR, 2002.

AENOR. *Durabilidad de la madera y de productos derivados de la madera.* UNE-EN 335:2007. Madrid: AENOR, 2007.

AENOR. *Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales.* UNE-EN ISO 14021. Madrid: AENOR, 2002.

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

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

AENOR. La certificación de AENOR, el valor de la confianza. Madrid: 2010. [Consulta 14 de diciembre de 2010]. <[http://www.aenor.es/aenor/certificacion/procesos/proceso\\_certificacion\\_aenor.asp](http://www.aenor.es/aenor/certificacion/procesos/proceso_certificacion_aenor.asp)>

AENOR. *Puertas y ventanas peatonales, terminología.* UNE-EN 12519. Madrid: AENOR, 2006.

AENOR. *Ventanas y puertas. Estanqueidad al agua. Clasificación.* UNE EN 12208. Madrid: AENOR, 2000.

AENOR. *Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación.* UNE EN 12207. Madrid: AENOR, 2000.

AENOR. *Ventanas y puertas. Resistencia al viento. Clasificación.* UNE EN 12210. Madrid: AENOR, 2000.

AITIM. *Guía de la madera*. Madrid: AITIM, 2010. 528p. ISBN: 978-84-87381-41-6.

AITIM. *Los perfiles de madera laminada para ventanas*. Madrid: AITIM, 2006, [Consulta 18 de septiembre de 2010]. <[http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1350\\_17223.pdf](http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1350_17223.pdf)>

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

ASOMA. *Dossier Técnico: Ventana de madera y mixtas de madera-aluminio*. Madrid: Asociación Española de fabricantes de Ventanas de Madera y mixtas, 2010. [Consulta 1 de septiembre de 2010]. <<http://www.asomatealaventana.org/es/content/dossier-tenico-asoma>>

BALDASANO, JM; GONÇALVES, M; JÍMENEZ, P. *Estimación del consume energético y de la emisión de CO<sub>2</sub> asociada a la producción, uso y disposición final de cables de PVC, PE y XLPE*. Cataluña: Departamento de proyectos de ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, 2005. [Consulta 8 de noviembre de 2010]. <<http://www.solvaymartorell.com/static/wma/pdf/8/1/7/2/CablesCO2.pdf>>

BALDASANO, JM; PARRA, R; JÍMENEZ, P. *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*. Cataluña: Departamento de proyectos de ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, 2005. [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. *Frente al cambio climático: Utiliza madera*. ANFTA, Cis Madeira, Xunta de Galicia. Tercera edición revisada, [s.l.], 2009. [Consulta 29 de octubre de 2010]. <<http://www.cei-bois.org/files/b03400-p01-84-SP.pdf>>

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

España, Ministerio de Fomento. *CTE. Documento básico SE-M. Seguridad estructural, madera*. Madrid, 2006. [Consulta 16 de octubre de 2010]. <[http://www.mviv.es/es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=552&Itemid=226](http://www.mviv.es/es/index.php?option=com_content&task=view&id=552&Itemid=226)>

España. Real Decreto legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de enero de 2008, núm. 23, p. 4986.

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

Federación de Industrias Forestales Suecas. *Los Bosques y el Clima*. [s.l.], 2003. [Consulta 29 de octubre de 2010]. <<http://www.forestindustries.se/>>

Free Logistics. *Medios de Transporte Terrestre Dimensiones y Capacidad*. [s.l.], 2009. [Consulta 17 de diciembre de 2010]. <<http://www.free-logistics.com/index.php/es/Fichas-Tecnicas/Transporte/Medios-de-Transporte-Terrestre-Dimensiones-y-Capacidad.html>>

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

Grupo Arce." Análisis del Ciclo de vida del vino de la bodega de Matarromera." Grupo Arce.Madrid, 2010.

Grupo Cat´Mader S.L. *Empresa*. Alicante, 2009. [Consulta 21 de diciembre de 2010]. <[http://www.catmader.es/qf\\_2010/spanish/empresa.asp](http://www.catmader.es/qf_2010/spanish/empresa.asp)>

Herrajes MI. *Procesos productivos*. Argentina, 2009. [Consulta 29 de noviembre de 2010]. <<http://www.herrajesmi.com.ar/public.ashx?ProcesosProductivos>>

IDAE. *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.], 2009. [Consulta 11 de noviembre de 2010]. <[www.idae.es\\_index.php\\_mod.documentos\\_mem.descarga\\_file=\\_documentos\\_Factor es\\_EP\\_CO2\\_2008\\_Publico\(1\)\\_21d53552](http://www.idae.es_index.php_mod.documentos_mem.descarga_file=_documentos_Factor es_EP_CO2_2008_Publico(1)_21d53552)>

INE, Instituto Nacional de Estadística. *Temperaturas medias, horas de sol y precipitación acuosa*. España, 2009. [Consulta 14 de enero de 2011]. <<http://www.ine.es/daco/daco42/bme/c19.pdf>>

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

MARTINEZ, J; DE PRADA, F. *Los residuos en el aula*. [s.l], 2009. [Consulta 17 de diciembre de 2010]. <[http://www.fq.profes.net/especiales2.asp?id\\_contenido=36898](http://www.fq.profes.net/especiales2.asp?id_contenido=36898)>

MONTERO, G; MUÑOZ, M; ROJO, A; DONÉS, J. *Fijación de CO<sub>2</sub> por Pinus sylvestris L. y Quercus pyrenaica Willd. en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín»*. Lugo: Departamento de silvicultura-CIFOR-INIA, Universidad Politécnica superior, 2004. [Consulta 20 de noviembre de 2010]. <<http://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2383/1779>>

MONTERO, G; MUÑOZ, M; ROJO, A; DONÉS, J. *Fijación de CO<sub>2</sub> por Pinus sylvestris L. en el monte «Pinar de Valsaín»*. [s.l]: Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales, 2003. [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)>

Oficina Catalana de Cambio Climático. *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. Cataluña: Generalitat de Catalunya, 2010. [Consulta 17 de diciembre de 2010]. <[http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/100916\\_Guia%20practica%20calcul%20emissions\\_rev%20ling\\_CA\\_ES.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/100916_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev%20ling_CA_ES.pdf)>

Organización de las Naciones Unidas, ONU. *Kyoto Protocol: Status of Ratification*. [s.l], 2009. [Consulta 30 de noviembre de 2010]. <[http://unfccc.int/files/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/application/pdf/kp\\_ratification.pdf](http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf)>

Performance Oil Technology LLC. *Are 3000 Mile Oil Changes really Necessary?*. Estados Unidos, 2009. [Consulta 4 de diciembre de 2010]. <<http://www.performanceoiltechnology.com/threethousandmileoilchange.htm>>

PRO Cartón. *Pro Carton's Carbon Footprint for Cartons*. [s.l], 2010. [Consulta 23 de diciembre de 2010]. <[http://sustainability.procarton.com/?section=carbon\\_footprint](http://sustainability.procarton.com/?section=carbon_footprint)>

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

## 5. ANEXOS

### ANEXO I: CÁLCULO DE VOLÚMENES EQUIVALENTES

A partir del volumen del marco de la ventana y conociendo los rendimientos en cada fábrica, se calcula el volumen de madera equivalente a la unidad funcional para cada proceso.

El volumen de madera del marco de la unidad funcional es de 0,0405 m<sup>3</sup>.

Proceso	Volumen final (m <sup>3</sup> )	Rendimiento	Volumen inicial (m <sup>3</sup> )	Residuos (m <sup>3</sup> )
Segunda transformación	0,0405	57,9%	0,0699	0,0294
Transformación intermedia	0,0699	70%	0,0999	0,0299
Primera transformación	0,0999	53%	0,1885	0,0885
Extracción	0,1885	77%	0,24505	0,0565

**Tabla 3:** Cálculo de volumen de madera de cada proceso.

Todos los cálculos del ACV en cada proceso están realizados respecto al volumen final de madera en el perfil de la ventana que ha sido previamente calculado en el punto 4.1.2.1.

## **ANEXO II: 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. (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 IPCC recomienda, en el caso de no existir datos específicos, considerar también este porcentaje.

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 (Montero et al. (2003)):

$$\text{Peso CO}_2 / \text{Peso C} = 44 / 12 = 3.67$$

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

$$3,67 \cdot 0,5 = 1,835 \text{ kg de CO}_2$$

**Por cada 1Kg de madera, el árbol ha fijado 1,833Kg de CO<sub>2</sub>.**

**ANEXO III: FICHA TÉCNICA DE LA UNIDAD FUNCIONAL**

Material: Perfil de madera laminada de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)

Dimensiones: 1,2 m de ancho, 1,2 m de alto, perfil de 68 mm.

Peso de la ventana: 49,2 Kg

Vidrios: Dos vidrios de 4 mm y una cámara de aire intermedia de 12 mm.

Peso de los vidrios: 27,17 Kg

Herrajes y gomas: Cuatro pernos, una maneta y una falleba.

Peso de los herrajes y las gomas: 1,7 Kg

Tipo de barniz; en base acuosa.

Clasificación y resultados según normativas aplicables a las ventanas:

<b>Norma de ensayo</b>	<b>Título</b>	<b>Clasificación</b>
UNE EN 12207:2000	Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación	<b>Clase 4</b> Fugas de aire en superficie equivalentes a 3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a una presión máxima de ensayo de 600 Pa.
UNE EN 12208:2000	Ventanas y puertas. Estanqueidad al agua. Clasificación	<b>Clase E1050</b> Permeabilidad excelente hasta 1050 Pa.
UNE EN 12210:2000	Ventanas y puertas. Resistencia al viento. Clasificación	<b>Clase C5</b> Soporta una velocidad del viento de 254.54 Km/h, una presión de 3000 Pa.
UNE-EN ISO 12567-1:2002	Comportamiento térmico de puertas y ventanas. Determinación de la transmitancia térmica por el método de la caja caliente.	<b>2,38 W/m<sup>2</sup>·K</b> Se debe principalmente al vidrio instalado, en este caso 4/12/4.
UNE-EN ISO 140-3:1995	Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.	<b>27 dB</b> Se debe principalmente al vidrio instalado, en este caso 4/12/4.

**Tabla 4:** Clasificación de la ventana, normativa. Ficha técnica.