

## DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE MADERA ASERRADA PRODUCIDA EN LA PROV. DE MISIONES (ARG).

Nahuel Pugliese<sup>1</sup>, Tomas Schlichter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante universitario, <sup>2</sup>Dr. en Ciencias Forestales.

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Av. San Martín 4453, C.A.B.A.

[na\\_hu\\_pugliese@hotmail.com](mailto:na_hu_pugliese@hotmail.com)

### Resumen

De acuerdo al IPCC, el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y se ha determinado que el hombre es el principal responsable del cambio climático, a través del uso de combustibles fósiles y cambios en el uso de la tierra. Frente a ello, la huella de carbono (HC) ha surgido como una herramienta clave para la mitigación del cambio climático. A través de su cálculo se describe la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) liberados a la atmósfera, directa o indirectamente, por una actividad o entidad en particular, expresado en cantidades de CO<sub>2</sub> equivalentes. Hoy en día, los análisis de HC se enmarcan en un estudio más amplio denominado Análisis del Ciclo de Vida, para el cual deben seguirse varios pasos: la delimitación del sistema a estudiar, la recopilación de datos, el cálculo de la HC y la interpretación de los resultados. La cadena forestal tiene algunas características distintivas con respecto al resto de las cadenas agro-industriales: los productos forestales almacenan carbono, el cual es removido previamente de la atmósfera por los bosques/plantaciones; muchas industrias forestales obtienen energía a través de la biomasa, etc. En especial para el sector forestal, no se encuentran registros de trabajos destinados a calcular la HC dentro de este sector en el país. Este trabajo tiene como objetivo principal la determinación de la HC de madera aserrada seca producida en la provincia de Misiones, Argentina. Se establece como objetivos secundarios, la descripción detallada de la metodología para el cálculo de HC y la comparación de producciones con distintos manejos forestales y el uso de diferentes tecnologías y su efecto en la emisión de GEI y en la HC. Las etapas a analizar del proceso productivo fueron: vivero, plantación, aserradero y transporte entre etapas. De acuerdo a los resultados obtenidos, la huella de carbono para madera aserrada es de 67,51 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta las tres etapas definidas anteriormente. Si se tiene en cuenta el carbono almacenado en el producto final, la huella se vuelve negativa con un valor de -757,49 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>. La etapa de aserradero es la de mayor influencia en la huella de carbono, ya que le corresponde un 61% de las emisiones, por lo que es donde hay mayor cantidad de oportunidades de reducción de emisiones. También se estimó la biomasa total generada en los raleos y la cosecha de las plantaciones en unas 73 toneladas de material. La quema de residuos forestales en la caldera para el secado de la madera es el factor que más influye en la huella de carbono, pero es mucho menor al efecto estimado de una caldera alimentada con combustibles fósiles como el gas natural. El manejo y aprovechamiento de los

residuos generados durante el ciclo productivo de la madera, tiene un efecto muy importante sobre la emisión de GEI, más allá de que muchos de estos efectos no se ven reflejados en la huella de carbono.

**Palabras clave:** huella de carbono \* cambio climático \* análisis de ciclo de vida \* forestal.

### **Introducción**

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y se ha determinado que el hombre es el principal responsable del cambio climático, a través del uso de combustibles fósiles y cambios en el uso de la tierra, que provocan un aumento considerable de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, siendo el CO<sub>2</sub> el principal gas que contribuye al cambio climático (IPCC, 2014). Como parte de tareas de mitigación y debido a la necesidad de reducir sustancialmente las emisiones de GEI en las próximas décadas, es imprescindible contar con información precisa sobre dichas emisiones en las distintas actividades que realiza el hombre. Frente a ello, la Huella de Carbono (HC) ha surgido como una herramienta clave ya que a través de su cálculo se describe la cantidad de emisiones de GEIs liberados a la atmósfera, directa o indirectamente, por una actividad o entidad en particular, expresado en cantidades de CO<sub>2</sub> equivalentes (BSI, 2008). El cálculo de la HC de un producto comprende todas las actividades o eslabones de un proceso que conforman el ciclo de vida de ese producto, desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo (Viglizzo, *et al.*, 2010). Hoy en día, los análisis de HC se enmarcan en un estudio más amplio denominado Análisis del Ciclo de Vida. Para ellos, existen normas internacionales como la ISO 14067, que se refiere específicamente al cálculo de HC de productos.

En cuanto a la actividad forestal, es importante resaltar que los bosques a nivel global almacenan y permiten poner en circulación enormes cantidades de carbono (Miner, 2010). A su vez, los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> están directamente afectados por cambios en las áreas forestales y en las ganancias y pérdidas, tanto del carbono almacenado en las tierras forestales como en el carbono almacenado en los productos provenientes de esta actividad. Por ello, la cadena forestal tiene algunas características distintivas con respecto al resto de las cadenas agro-industriales. La materia prima que utilizan las industrias forestales para elaborar sus productos proviene de bosques o plantaciones, que remueven CO<sub>2</sub> de la atmósfera, y almacenan este carbono, no solo en los árboles, sino también en el suelo, en los sistemas radicales y, en última instancia, en el producto forestal final. También, una buena parte de las industrias forestales obtienen energía a través de la biomasa; su uso como combustible es considerado “carbono neutral”. Por último, distintas prácticas de manejo, entre las que se incluyen el manejo de los residuos de poda, raleos y cosecha, tienen un importante efecto en la emisión de GEI en la cadena forestal, más allá de que esta biomasa no tenga efecto en la HC al ser considerada “carbono neutral”.

Hasta el momento, la Argentina no ha destinado fondos de manera significativa en la investigación de huellas ambientales para el agro-negocio. En especial para el sector forestal, no se encuentran registros de trabajos destinados a calcular la HC dentro de este sector en el país, por lo que este trabajo es un importante primer paso para avanzar con este tipo de estudios en un sector importante dentro de las cadenas agro-industriales.

### **Objetivos**

De acuerdo al problema planteado, este trabajo tiene como objetivo principal la determinación de la HC de madera aserrada seca producida en la provincia de Misiones, Argentina. Se establece como objetivos secundarios, por un lado, la descripción detallada de la metodología para el cálculo de HC, para que pueda ser replicado tanto en productos similares o en otras cadenas productivas; por otro lado, la comparación de producciones con distintos manejos forestales y el uso de diferentes tecnologías dentro de la cadena productiva de la madera aserrada y su efecto en la emisión de GEI y en la HC.

### **Materiales y Métodos**

Una de las guías más reconocidas y utilizadas para el cálculo de la HC es la PAS 2050, desarrollada por el organismo europeo *British Standards Institution* (BSI), la cual se basa en las normas ISO 14040 y 14044. Esta guía establece cuatro pasos para la realización del cálculo de la HC (BSI, 2011):

- 1) Determinación los límites del sistema a estudiar y descripción de los flujos correspondientes al ciclo de vida del producto analizado.
- 2) Recolección de datos.
- 3) Cálculo de la HC.
- 4) Interpretación de resultados.

### **Límites del sistema a estudiar en este trabajo**

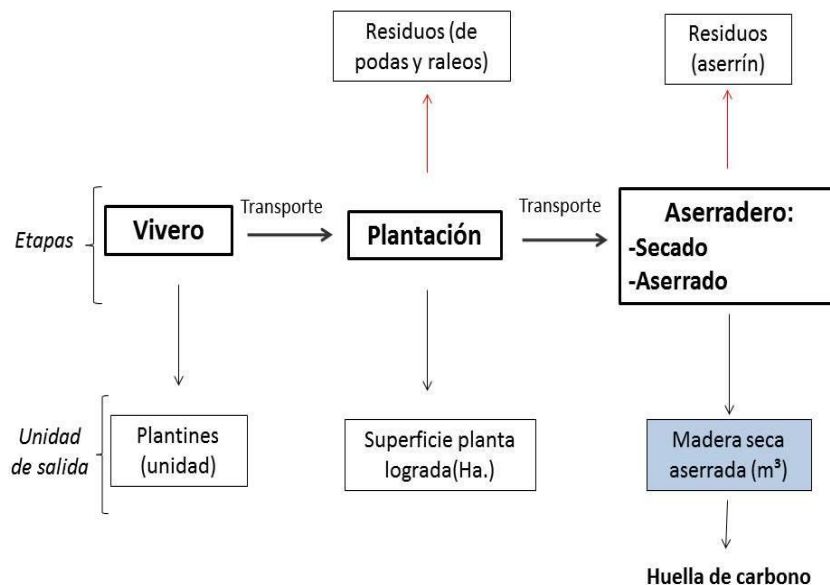
El objetivo de este trabajo fue determinar la HC de la madera seca aserrada, por lo cual la unidad funcional de análisis es el m<sup>3</sup> de madera aserrada producido.

Las etapas a analizar del proceso productivo fueron: vivero, plantación, aserradero y transporte entre etapas (Figura 1.)

En cada una de las etapas, se tuvo en cuenta las entradas y salidas de materiales / energía para determinar las emisiones de GEI.

### **Recolección de datos**

Para el cálculo de HC, fueron necesarios dos tipos de datos: datos de actividades y los factores de emisión. Los datos de actividades se refieren a las cantidades de flujos de entrada y de salida (materiales, energía, subproductos, etc.) de cada uno de los procesos involucrados en el ciclo de vida del producto.



**Figura 1.** Límites del sistema estudiado en este trabajo, que incluyen etapas del sistema y unidades de salida de cada etapa.

Aquí también se incluye cualquier tipo de transporte (dentro o entre etapas), generación de residuos, etc. En cambio, los factores de emisión proveen la fórmula que convierte estas cantidades en las emisiones de GEI correspondientes, es decir, la cantidad de gases emitidos por unidad de datos de actividad. Generalmente están representadas en unidades de “kg de CO<sub>2</sub>eq”, es decir la cantidad de dióxido de carbono equivalente emitido por esa cantidad de flujo.

En este trabajo, para el caso de los datos de actividades, se priorizó la obtención de información por parte de fuentes primarias, a través de entrevistas con diferentes profesionales relacionados a la cadena forestal, en particular de empresas de la provincia de Misiones, los cuales proveyeron información y datos reales de las diferentes etapas analizadas del ciclo de vida de la madera aserrada. En el caso de los factores de emisión, se recurrió tanto a fuentes secundarias como a organismos dedicados a la temática de cambio climático y en especial al asesoramiento en producción de inventarios de GEI, como lo es el IPCC, por ejemplo.

### Cálculo de la huella de carbono

La ecuación principal para el cálculo de la HC de un producto es la suma de todos los materiales, energía y desechos a lo largo de todas las actividades dentro del ciclo de vida del producto, multiplicado por su factor de emisión. Es decir, que implica la multiplicación de los datos de actividad por los factores de emisión, con resultados para cada etapa del ciclo, y para el sistema total.

Un primer paso útil para realizar los cálculos es utilizar el mapa de flujos creado en el paso 1 para establecer todos los flujos a analizar y calcular las cantidades asociadas a cada flujo. Una vez que todos los flujos se encuentran balanceados y reflejan la información de acuerdo a la misma unidad funcional, los cálculos siguientes son relativamente simples.

Es importante tener en cuenta que algunos flujos pueden ser negativos, en especial cuando la actividad resulta en productos que contienen carbono que fue removido de la atmósfera en mayor medida que el que es emitido por el resto de los etapas del proceso productivo.

### Interpretación de resultados

El paso más importante en el análisis de HC es la interpretación de los resultados, ya que va a proveer información muy valiosa para entender y gestionar las emisiones de GEI asociadas con todo el sistema de producción del producto analizado. De esta forma, va a permitir la identificación de oportunidades de reducción de emisiones de GEI, a través de entender cuáles son los procesos y etapas claves del sistema total, en cuanto a la emisión de gases. Esto puede complementarse con análisis de sensibilidad.

Huella de Carbono= Dato de actividad (kg/litro/KWh, etc.) x Factor de Emisión (kg CO <sub>2</sub> por kg/litro/KWh, etc.)
--

Es importante aclarar que en este trabajo se busca determinar la importancia del manejo de los residuos de la producción forestal, los cuales suelen generarse en gran cantidad, lo que significa un gran contenido de carbono almacenado. Más allá de que este carbono contenido en la biomasa forestal es considerado "carbono neutral", se establecerán diferentes escenarios de manejos de los residuos para estimar su efecto sobre la emisión de GEI.

### Resultados y Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, la huella de carbono para madera aserrada es de 67,51 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta las tres etapas definidas anteriormente (Tabla I). Si se tiene en cuenta el carbono almacenado en el producto final, es decir, en la madera aserrada, la huella se vuelve negativa con un valor de -757,49 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>, es decir que en ese caso el producto fija mucho más carbono que el que emite en los procesos de producción analizados.

La etapa de aserradero es la de mayor influencia en la huella de carbono, ya que le corresponde un 61% de las emisiones, por lo que es donde existe la mayor cantidad de oportunidades de reducción de emisiones. Luego, siguen en prácticamente igual medida las etapas de transporte entre instalaciones y plantación, con un 20% y 19% respectivamente (Figura 2).

Las empresas analizadas en este trabajo presentan valores similares en sus HC, con la misma tendencia sobre las principales etapas involucradas en la emisión de GEI. Se estimó la biomasa total generada en los raleos y la cosecha

de las plantaciones, dando como resultado la generación de unas 73 toneladas de biomasa que no tienen como destino la siguiente etapa de aserradero (son vendidas a otras industrias o incorporadas a las plantaciones).

**Tabla I.** Resultado de los cálculos de huella de carbono, donde se incluyen las emisiones de cada factor analizado y su importancia relativa en la huella final.

<b>Etapas / entradas y salidas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Emision (kgCo2/m3)</b>	<b>%</b>
<b>Vivero</b>			
Electricidad	Kwh / plantín	0,018	0,03
Fertilizantes	Kg N / plantín	0,0028	0,0041
Transporte dentro de instalaciones	Lts combust. / plantín	0,030	0,04
<b>Plantacion</b>			
<i>Preparacion del terreno</i>			
Laboreo	Lts combust. / Ha.	1,84	2,72
Agroquimicos	KgCO2 eq / Ha.	1,17	1,73
<i>Silvicultura</i>			
Combustible Raleos	Lts combust. / Ha.	4,07	6,03
Combustible Cosecha	Lts combust. / Ha.	3,67	5,44
Transporte de personal	Lts combust. / Ha.	1,93	2,85
<b>Aserradero</b>			
Consumo combustible en instalaciones	Lts combust. / m3	6,62	9,81
Quema biomasa en caldera	Kg biomasa / m3	34,60	51,24
<b>Trasporte entre instalaciones</b>			
A Plantacion	Lts combust. / plantín	0,016	0,02
A Aserradero	Lts combust. / Ha.	13,55	20,08
<b>TOTAL</b>		<b>67,51</b>	
<b>CO2 almacenado en madera</b>	KgCO2 eq / m3	<b>-825,00</b>	
<b>HUELLA DE CARBONO (KGC02 eq / m3)</b>		<b>-757,49</b>	

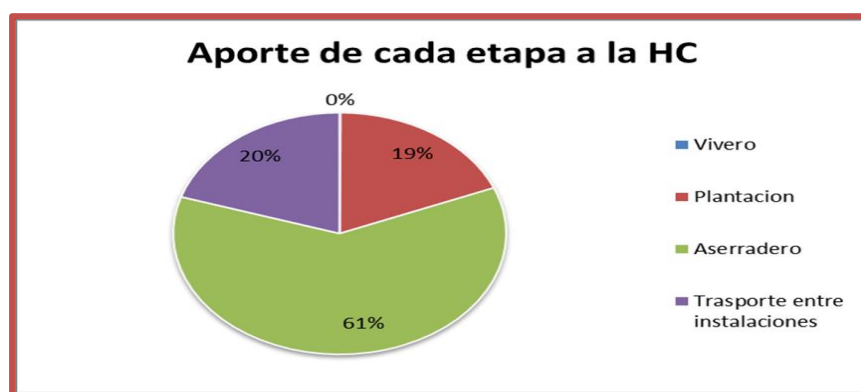


Figura 2. Gráfico del aporte de emisiones de las diferentes etapas analizadas en la huella de carbono

Se establecieron diferentes escenarios posibles de manejo de estos residuos. En uno de ellos, la quema total de estos residuos, generarían unos 81,5 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>, aumentando más del doble la huella de C<sup>27</sup>. En otro escenario

de aprovechamiento energético, esta cantidad de biomasa podría significar una generación de energía de 97,5 MWh (Uasuf & Hilbert, 2012), lo que podría abastecer el consumo energético de aproximadamente 487 hogares por un mes<sup>26</sup>.

En cuanto al uso de biomasa en la caldera del aserradero para el secado de la madera, se estimó el consumo de gas natural en el hipotético caso de un aserradero que no aprovecha sus residuos y utiliza combustibles fósiles para el secado, lo que significaría emisiones por 770 kg de CO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup> de madera aserrada. Esto se traduciría en un aumento de la huella de carbono calculada en este trabajo de por lo menos un 1,000%<sup>27</sup>.

La quema de residuos forestales en la caldera para el secado de la madera es el factor que más influye en la HC (por liberación de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el proceso de combustión), pero es mucho menor al efecto estimado de una caldera alimentada con combustibles fósiles como el gas natural. Otro factor muy importante en la HC es el consumo de combustibles fósiles en el transporte, lo cual deja claro que en aquellos ciclos productivos donde las distancias entre las etapas sean importantes, este factor puede provocar un aumento considerable de la HC. Gracias a las estimaciones realizadas y los escenarios propuestos, se puede afirmar que el manejo y aprovechamiento de los residuos generados durante el ciclo productivo de la madera, tiene un efecto muy importante sobre la emisión de GEI, más allá de que muchos de estos efectos no se ven reflejados en la huella de carbono. Es importante entonces tener en cuenta la generación y aprovechamiento de los residuos forestales a la hora de establecer políticas de mitigación del cambio climático en el sector forestal.

### Referencias bibliográficas

- Beljansky M. Tecnologías disponibles para la generación de energía a partir de la biomasa. En: "4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano". Iguazú, Misiones: Grupo Energia y Ambiente, Facultad de Ingeniería UBA, 2013.
- Brand MA, Schmidt T, Ceccato Ferreira J, Daian Neves M. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L.com diferentes idades. Revista Arvore 2014; 38: 353-60.
- BSI. Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services. London, UK: British Standards Institution. Crown and Carbon Trust, 2008.
- BSI. The Guide to PAS 2050:2011. How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. London, UK. British Standards Institution. British Library Cataloguing in Publication Data, 2011.
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental

---

<sup>26</sup> Considerando un consumo de 200 kwh/ mes por hogar (Brand, *et. al.*, 2014).

<sup>27</sup> Estimado a partir de valores energéticos comparativos de los materiales (Beljansky, 2013).

Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyes (eds.)). Geneva, Switzerland, (Vol. 159). 2014.

- Miner, R. Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases. Roma: FAO Forestry Paper, Vol 159, 2010.
- UasufA, Hilbert J. El uso de la biomasa de origen forestal con destino a bionergia en la Argentina. INTA. Castelar, Bs.As.: Ediciones INTA, 2012.
- Viglizzo E, Carreño L, Pereyra H, Ricard F, Clatt J, Pincen, D. Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. En Viglizzo EF, Jobbagy E. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA. 2010; p 9-17.