

# ***Aporte de los productos de madera recolectada dentro del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica***

*Proyecto 00098756 ONF/SUB-2018-005*

*Ing. Sebastián Ugalde Alfaro, MII., ONF*

*Ing. Federico E. Alice Guier, MSc., UNA*

*Ing. Roberto Rodríguez Sánchez, Lic., Consultor*

*Control y aseguramiento de calidad:*

*Mart-Jan Schelhaas, PhD., Universidad de Wageningen*



## Productos de madera recolectada (PMR)

La madera cosechada (incluida la corteza) de las tierras forestales, de cultivo y de otros tipos de usos de la tierra que permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración (IPCC ,2006).

Beneficio ambiental al utilizar  
madera en sustitución de materiales  
con mayor huella de carbono



Por cada m<sup>3</sup> de madera un árbol absorbe 1 tonelada de CO<sub>2</sub>.

Cada m<sup>3</sup> de madera usado como sustituto de otros materiales de la construcción reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en unas 1,1 toneladas.

Cada m<sup>3</sup> de madera ahorra un total de 2,1 toneladas de CO<sub>2</sub>

El CO<sub>2</sub> permanecerá almacenado en los productos maderables hasta por 75 años.

Por cada m<sup>3</sup> de madera un árbol produce el equivalente a 0,7 toneladas de O<sub>2</sub>.



# Beneficio socioeconómico por el uso de madera en Costa Rica



# 2017

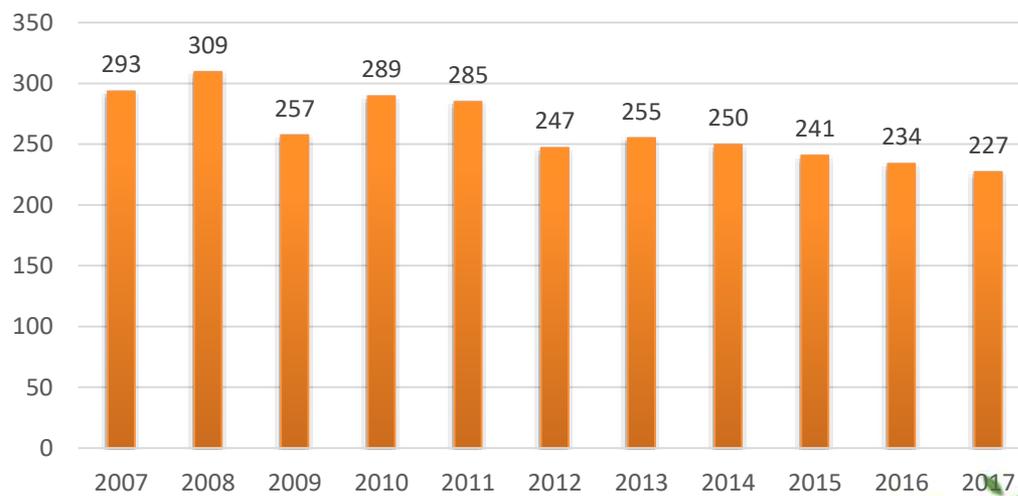


14.545 empleos



# 2017

\$227 millones de valor agregado



# Fuentes de madera en Costa Rica



# Fuentes de madera en Costa Rica



# Nichos de mercado para la madera en Costa Rica



## Nichos de mercado: Embalaje



Tarima Americana



Tarima Europea



Cajones

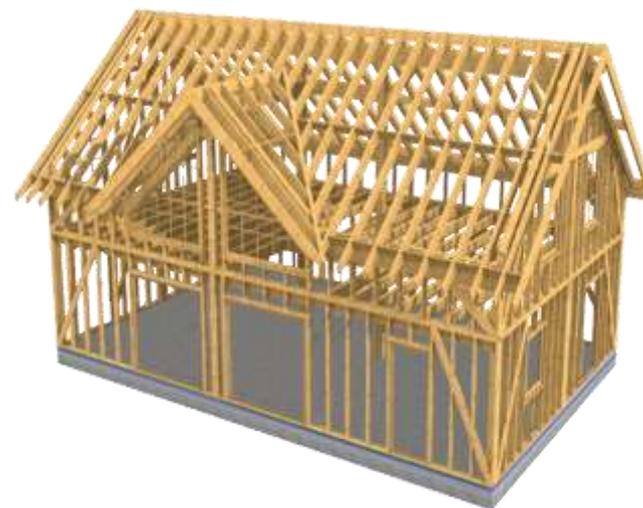
## Nichos de mercado: CONSTRUCCION



Madera para formaleta



Madera para uso decorativo



Madera para uso estructural

# Nichos de mercado: MUEBLERIA



Muebles de madera sólida



Muebles tapizados



Puertas



Muebles de madera sólida



Muebles combinados



Muebles de cocina

## Nicho de mercado: EXPORTACIÓN DE MADERA



Fuente: ONF, 2018

# Nicho de mercado: BIOMASA



Fuente: ONF, 2018

# Directrices del IPCC



Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

Capítulo 12. Productos de Madera Recolectada (PMR)

## Capítulo 12. Productos de Madera Recolectada (PMR)

Gran parte de la madera cosechada de las tierras forestales, de cultivo y de otros tipos de usos de la tierra permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración.

En este capítulo se proporciona una orientación para estimar y declarar el aporte de estos productos de madera recolectada (PMR) a las emisiones / absorciones de CO<sub>2</sub> de AFOLU anuales.



# Capítulo 12. Productos de Madera Recolectada (PMR)



Emisiones / absorciones de CO<sub>2</sub>  
de AFOLU anuales.



Aporte de productos de madera  
recolectada (PMR)



Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC, 2006

# Avances en materia de Productos de Madera Recolectada (PMR) a nivel mundial



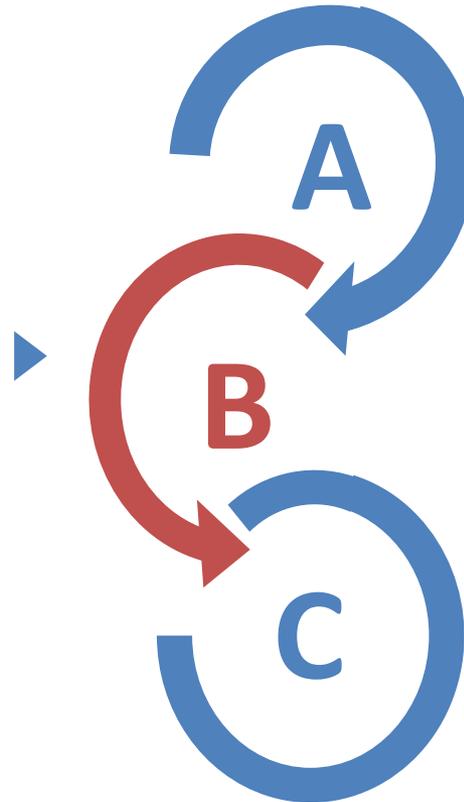
# El aporte de los productos de madera recolectada en el mundo



# Actual abordaje de PMR en Costa Rica

## Estadísticas de la madera:

- Dirección General Forestal
- Oficina Nacional Forestal
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación
- Entre otros



## Se asume:

El aporte es nulo.

No existe un cambio en la contribución de los PMR ya que las entradas son iguales a las salidas.

## Iniciativas:

- Contribución prevista y determinada a nivel nacional de Costa Rica
- Compromiso país “Descarbonicemos Costa Rica 2018-2050”
- Estrategia Nacional de Cambio Climático
- Estrategia REDD+
- NAMA sobre Construcción Sostenible

¿Cómo se hizo?



# Enfoques metodológicos

**Producción**

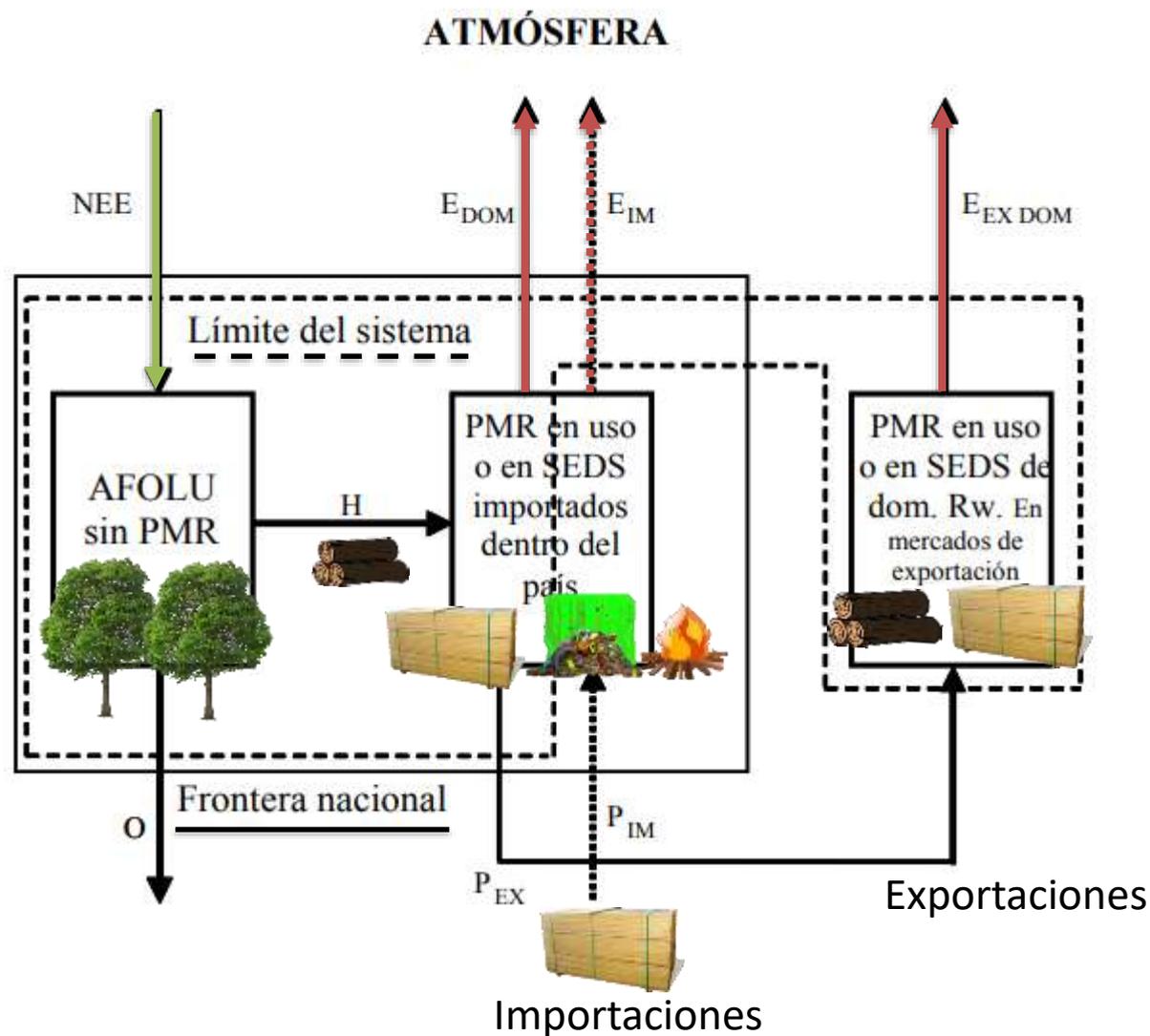


**Cambio de existencias**

**Flujo atmosférico**

**Descomposición simple**

# Método de producción



# ¿Qué contempló?

Reconstrucción histórica por fuentes y uso de la madera  
(1900-2016)

Datos de actividad y factores de conversión

Estimación de las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub>-e

Análisis de incertidumbre

Control y aseguramiento de la calidad (QA/QC)

Recomendaciones

# Reconstrucción histórica de las fuentes y el uso de la madera para realizar el inventario para el año 2016 e histórico





Producción y exportación de productos de madera entre 1990 - 2016



## Fuentes de abastecimiento



## Usos funcionales de la madera



## Volumen cosechado, aserrado, de residuos y combustión



## Reconstrucción histórica del uso de productos de madera en Costa Rica (1900 – 1990)

$$V_{pjt} = V_{1990} \times e^{[U*(t-1990)]}$$

$V_{pjt}$  = producción anual de un producto  $p$  de fuente  $j$  para el año  $t$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

$V_{1990}$  = producción anual de un producto  $p$  para el año 1990; Mg C año<sup>-1</sup>.

$U$  = tasa de cambio en consumo de madera industrial en rollo entre 1900 y 1961 (1990 en este caso) para la región que incluye al país que reporta (0,022; Cuadro 12.3, IPCC, 2006), año<sup>-1</sup>.

$t$  = año.

# Factores de conversión utilizados para realizar el inventario



01

Densidad  
Específica

02

Fracción  
de  
carbono

03

Tasas de  
descomposi  
ción

04

Fracción de  
carbono  
degradable  
que se  
descompone

05

Fracción  
destinada  
a SEDS

## Densidad específica por grupo de especies según fuente de abastecimiento

Fuente de abastecimiento	Densidad
Terrenos de uso agropecuario sin bosque <sup>1</sup>	0,49
Plantaciones forestales <sup>2</sup>	0,474
Bosques naturales <sup>3</sup>	0,50

<sup>1</sup>Araya, 2012; Moya *et al.*, 2014; Flores y Obando 2003; Reyes *et al.*, 1992; Carpio *et al.*, 1996; Blando *et al.*, 2005; Carpio 2003; Chudnoff 1984; Herrera y Morales 1993; Zane *et al.*, 2009; Vozzo , 2010; OIMT, 2018.

<sup>2</sup> Solano, 2018.

<sup>3</sup> Zane *et al.*, 2009.

## Fracción de carbono por grupo de especies según fuente de abastecimiento

Fuente de abastecimiento	Fracción de carbono
Terrenos de uso agropecuario sin bosque <sup>1</sup>	0,425
Plantaciones forestales <sup>2</sup>	0,44825
Bosques naturales <sup>3</sup>	0,447

<sup>1</sup> Ruiz, 2002

<sup>2</sup> Solano, 2018

<sup>3</sup> Fonseca *et al* .,2016



## Tasas de descomposición utilizadas en la elaboración del inventario de productos de madera recolectada de Costa Rica.



Uso de la madera	Vida media (años)	K <sup>6</sup>
Construcción	35 <sup>1</sup>	0,020
Mueblería		
Exportaciones en bruto y aserradas		
Otros usos	25 <sup>2</sup>	0,028
Embalajes	6 <sup>3</sup>	0,116
Residuos de aserraderos	10 <sup>4</sup>	0,069
Rellenos sanitarios	20 <sup>4</sup>	0,035
Botaderos a cielo abierto	16,5 <sup>5</sup>	0,042

<sup>1</sup> Madera aserrada (Skog *et al.*, 2004). <sup>2</sup> Paneles de madera sólida (IPCC, 2014).

<sup>3</sup> Tarimas (Skog *et al.*, 2004). <sup>4</sup> IPCC, 2016. <sup>5</sup> Zhang *et al.* (2018). <sup>6</sup> Tasa de descomposición ( $\ln(2)/\text{vida media}$ ).



## Factores locales en el Sector Residuos

Factor	Valor
Fracción de carbono degradable <sup>1</sup>	0,5
Fracción destinada a sitios de eliminación de residuos sólidos (SEDS) <sup>2</sup>	0,88



<sup>1</sup> IPCC, 2006

<sup>2</sup> IMN, 2014

# Estimación de las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub>-e

- Cosecha doméstica de madera.
- Incluye exportaciones de madera nacional.
- Excluye importaciones.

**Enfoque de producción**

A

Guías del IPCC  
(2006 y 2013).

**Estimación de emisiones**

C

**Herramienta de cálculo**

B

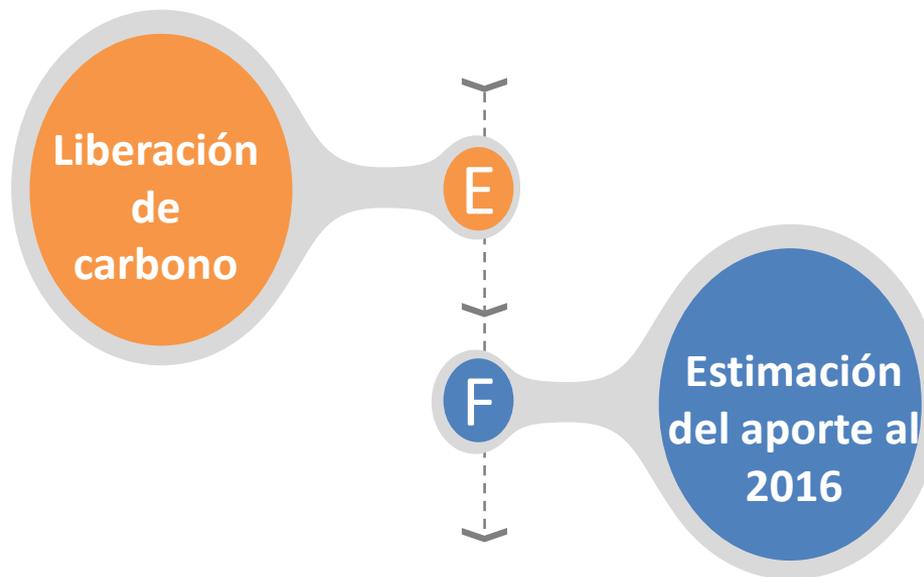
- Volumen aserrado por fuente de abastecimiento y uso.
- Factores de conversión
- Tasas de descomposición

**Reservorios**

D

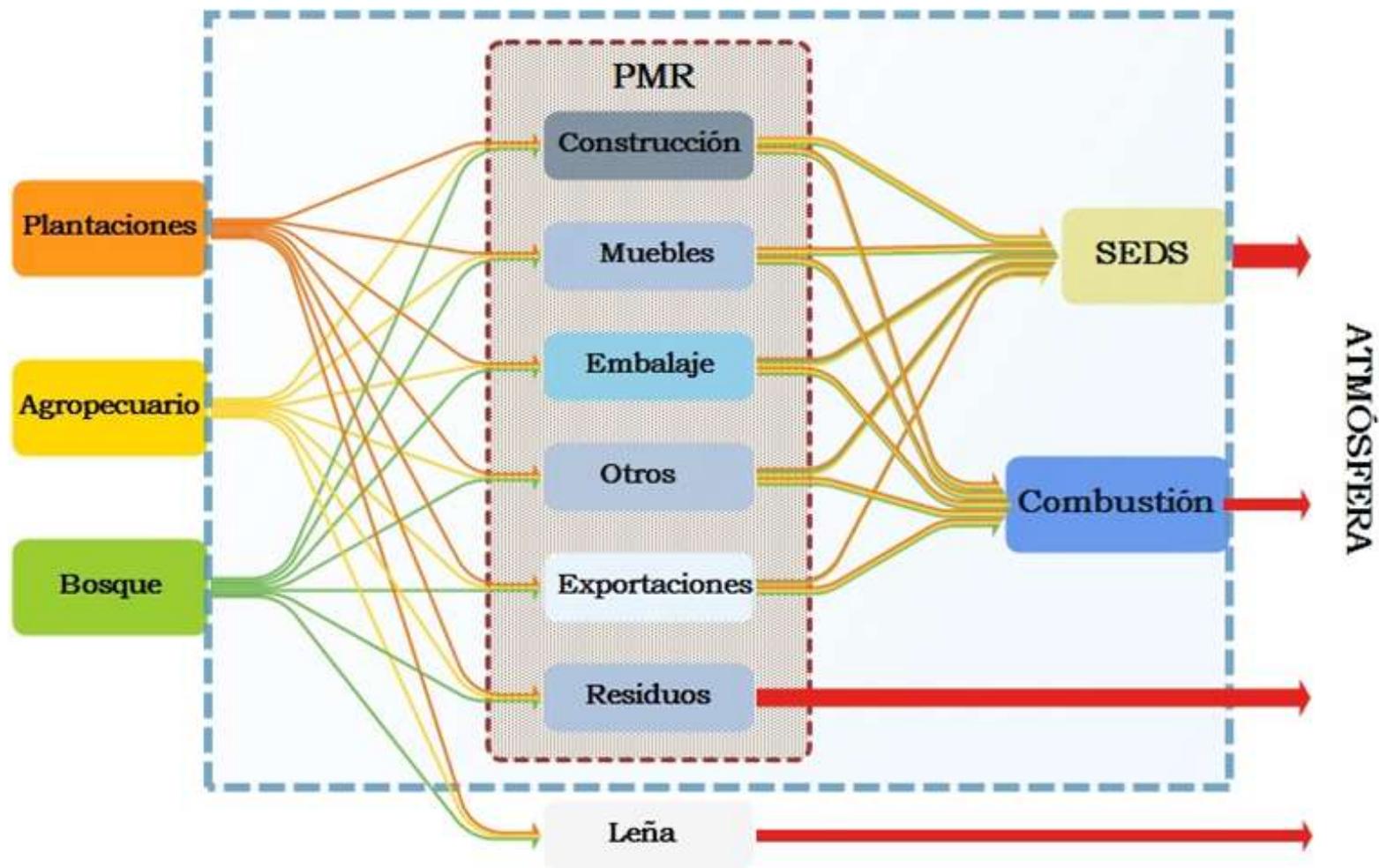
- Productos de madera en uso.
- Sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS).
- Residuos de la transformación de la madera.

- Descomposición
- Combustión.



- Basado en los cambios de las existencias de carbono de PMR en uso, SEDS y residuos provenientes de la transformación de la madera.

# Diagrama de flujo del carbono en productos de madera de Costa Rica, 2016



# Ecuaciones

Existencias y cambios en las existencias de carbono de productos en uso

Flujo de carbono de productos en uso hacia fin de vida

Existencias de carbono degradable y no degradable en los reservorios de SEDS y de los residuos provenientes de la transformación de la madera.

Existencias y cambios en las existencias de carbono en los reservorios de SEDS y de los residuos provenientes de la transformación de la madera.

Pérdidas de carbono por descomposición en SEDS y de los residuos provenientes de la transformación de la madera.

Pérdidas de carbono por combustión en SEDS y de residuos provenientes de la transformación de la madera.

# Existencias y cambios en las existencias de carbono de productos en uso

$$EU_{pj}(i+1) = e^{-k_p} \times EU_{pj}(i) + \left[ \frac{(1 - e^{-k_p})}{k_p} \right] \times Flujo\_Entrada_{pj}(i)$$

Dónde:

$i$  = año

$EU_{pj}(i+1)$  = carbono de producto  $p$  y fuente  $j$  en uso ( $EU$ ) durante el año  $i$ ; Mg C.

$EU_{pj}(i)$  = carbono de producto  $p$  y fuente  $j$  en uso ( $EU$ ) al inicio del año  $i$ ; Mg C.

$k_p$  = constante de descomposición de primer orden para un producto  $p$ , año<sup>-1</sup>.

$Flujo\_Entrada_{pj}(i)$  = flujo de producto  $p$  de fuente  $j$  durante el año  $i$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

$$\Delta EU_{pj}(i) = EU_{pj}(i+1) - EU_{pj}(i)$$

Donde:

$\Delta EU_{pj}(i)$  = cambio en el reservorio de carbono en producto  $p$  y fuente  $j$  durante el año  $i$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

$EU_{pj}(i)$  = carbono de producto  $p$  y fuente  $j$  en uso al inicio del año  $i$ ; Mg C.

$EU_{pj}(i+1)$  = carbono de producto  $p$  y fuente  $j$  en uso durante el año  $i$ ; Mg C.

# Aporte de PMR al 2016

$$PMR \rightarrow AFOLU_{PA} = -44/12 \times \frac{[\Delta C_{PMR EU CD pj} + \Delta C_{PMR SEDS CD pj} + \Delta C_{R SEDS CD pj}]}{1000}$$

Donde:

$PMR \rightarrow AFOLU_{PA}$ : aporte de PMR a las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de AFOLUA para el enfoque de producción durante el año  $i$ ; Gg C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{PMR EU CD pj}$  = cambio en el reservorio de carbono en productos  $p$  y fuente  $j$  durante el año  $i$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{PMR SEDS CD pj}$  = cambio en el reservorio de carbono de producto  $p$  de fuente  $j$  en SEDS durante el año  $i$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{R SEDS CD pj}$  = cambio en el reservorio de carbono de residuos de madera en SEDS durante el año  $i$ ; Mg C año<sup>-1</sup>.

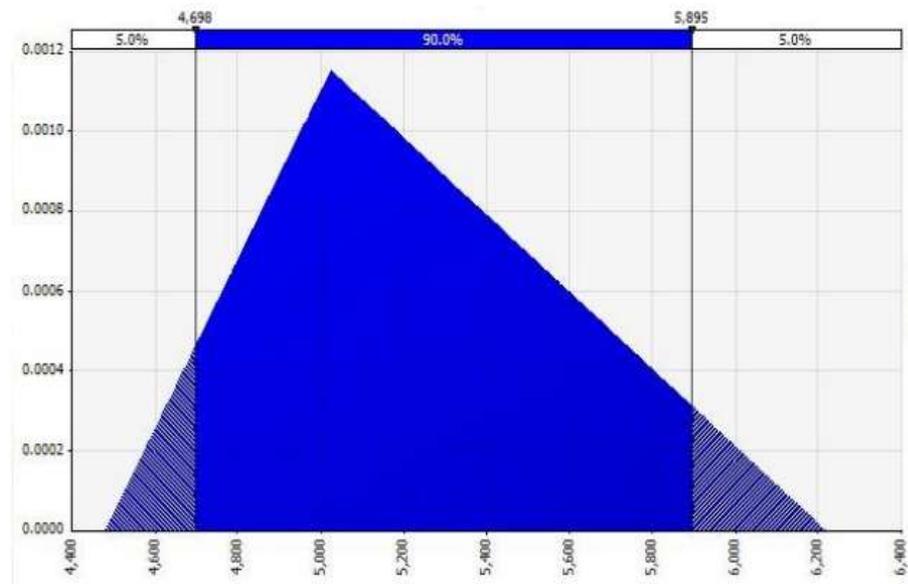
# Análisis de incertidumbre (Simulación de Monte-Carlo)

# Análisis de incertidumbre

- Funciones de densidad probalística

**Volumen**

Distribución triangular



# Funciones de densidad probalística (Factores de conversión)

Distribución normal

Distribución triangular y normal

Distribución normal

01

02

03

04

05

Densidad Específica

Fracción de carbono

Tasas de descomposición

Fracción de carbono degradable que se descompone

Fracción destinada a SEDS

# Análisis de incertidumbre



**@RISK**  
*el nuevo estándar en análisis de riesgo*

- 1 219 entradas (inputs)
- 7 salidas (outputs)
- 10.000 iteraciones
- Simulación de Monte-Carlo
- Análisis de sensibilidad

# Control y aseguramiento de la calidad (QA/QC)

**Ph.D. Mart-Jan Schelhaas**

Equipo de Bosques y Ecología del Paisaje  
Grupo de Ciencias Ambientales



# Recomendaciones



- Emisiones por tierras manejadas (AFOLU)



- Sector energía



- Sector residuos

# Emisiones por tierras manejadas (AFOLU)

## Reconstrucción histórica del manejo forestal en Costa Rica (1990 – 2016)

●  Volumen cosechado por fuente de abastecimiento ●

●  Grupo de especies por fuente de abastecimiento ●

●  Rendimientos por fuente de abastecimiento ●

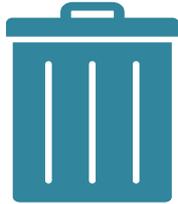


# Sector energía



Balance Energético Nacional:

- Generación de energía primaria a partir de leña.
- Poderes calóricos



# Sector residuos



- Recolección diaria de residuos sólidos de vertederos y rellenos sanitarios (Ministerio de Salud).
- Toneladas de residuos anuales reportados por sitios de eliminación de desechos sólidos (IMN, 2012).

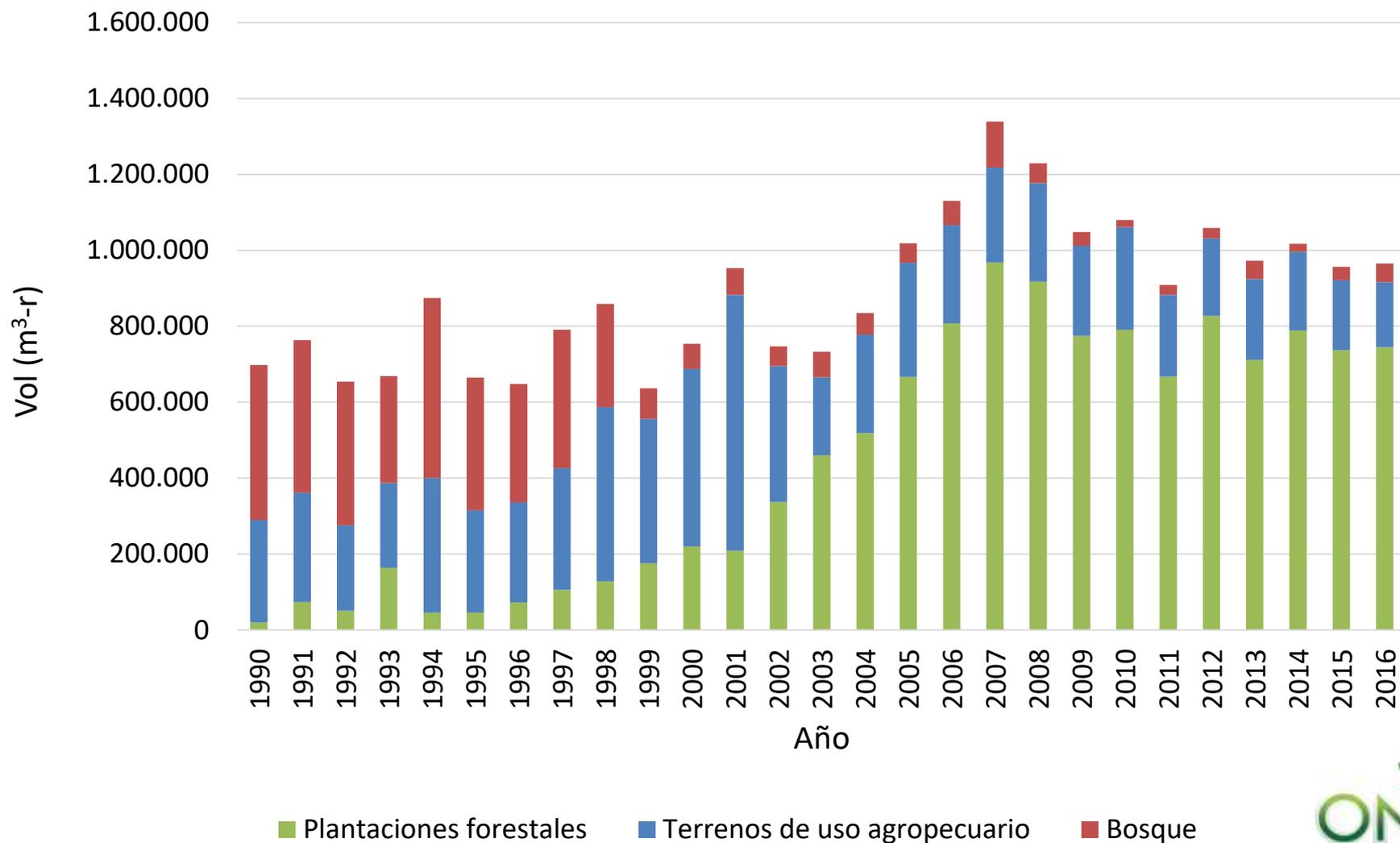


# Resultados

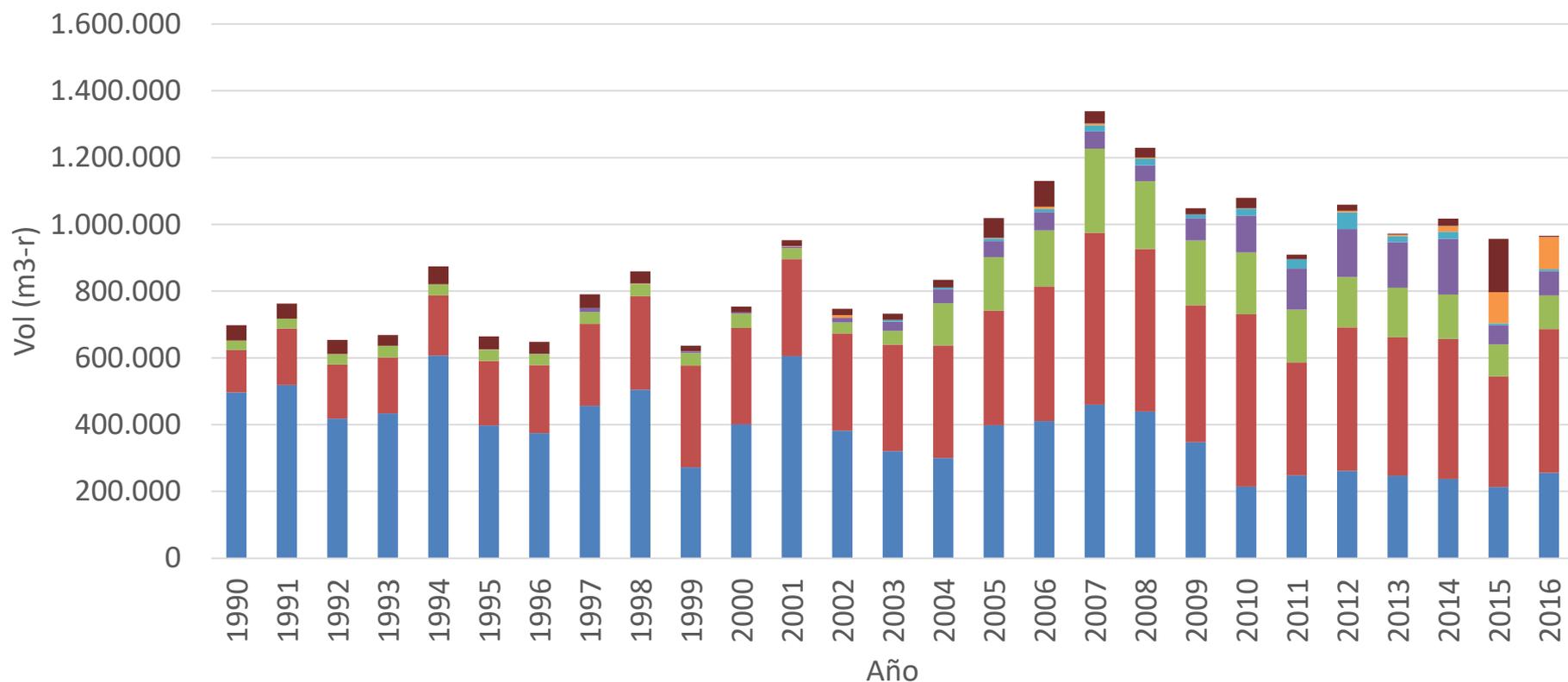
# Reconstrucción histórica de las fuentes y el uso de la madera para realizar el inventario para el año 2016 e histórico



# Producción de madera por fuente de abastecimiento, 1990 – 2016



# Producción de madera por uso, 1990 – 2016



■ Construcción

■ Mueblería

■ Exportaciones en bruto de coníferas

■ Exportaciones aserradas de coníferas

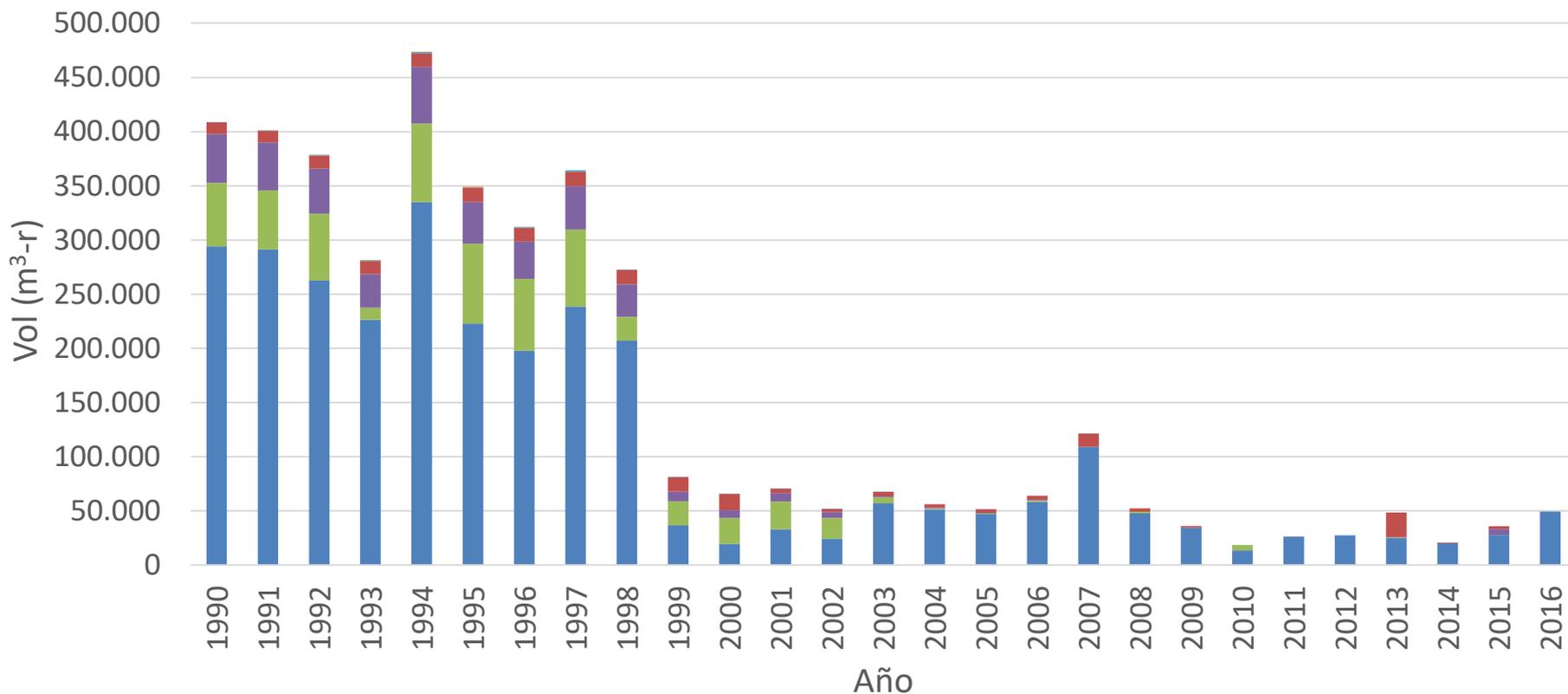
■ Embalajes

■ Exportaciones en bruto no conífera

■ Exportaciones aserradas de no coníferas

■ Otros usos

# Producción de madera proveniente de bosque por uso, 1990 – 2016



■ Construcción

■ Embalaje

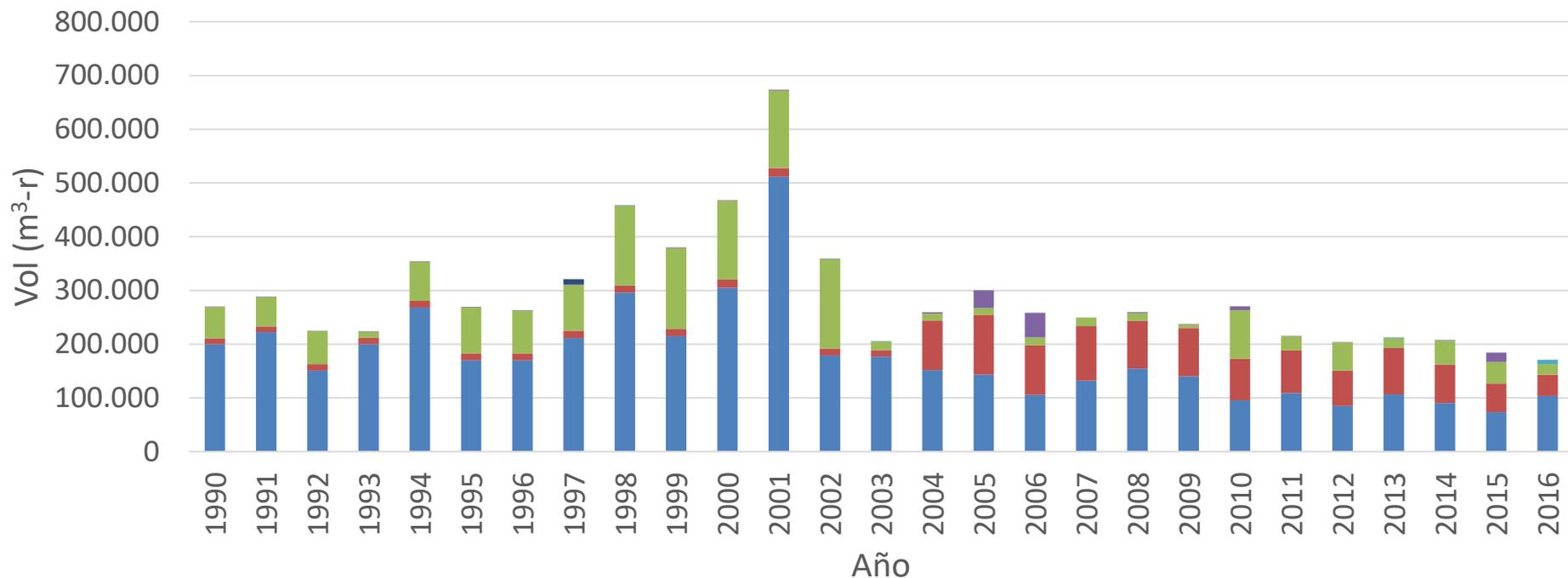
■ Otros usos

■ Mueblería

■ Exportaciones aserrada no conífera

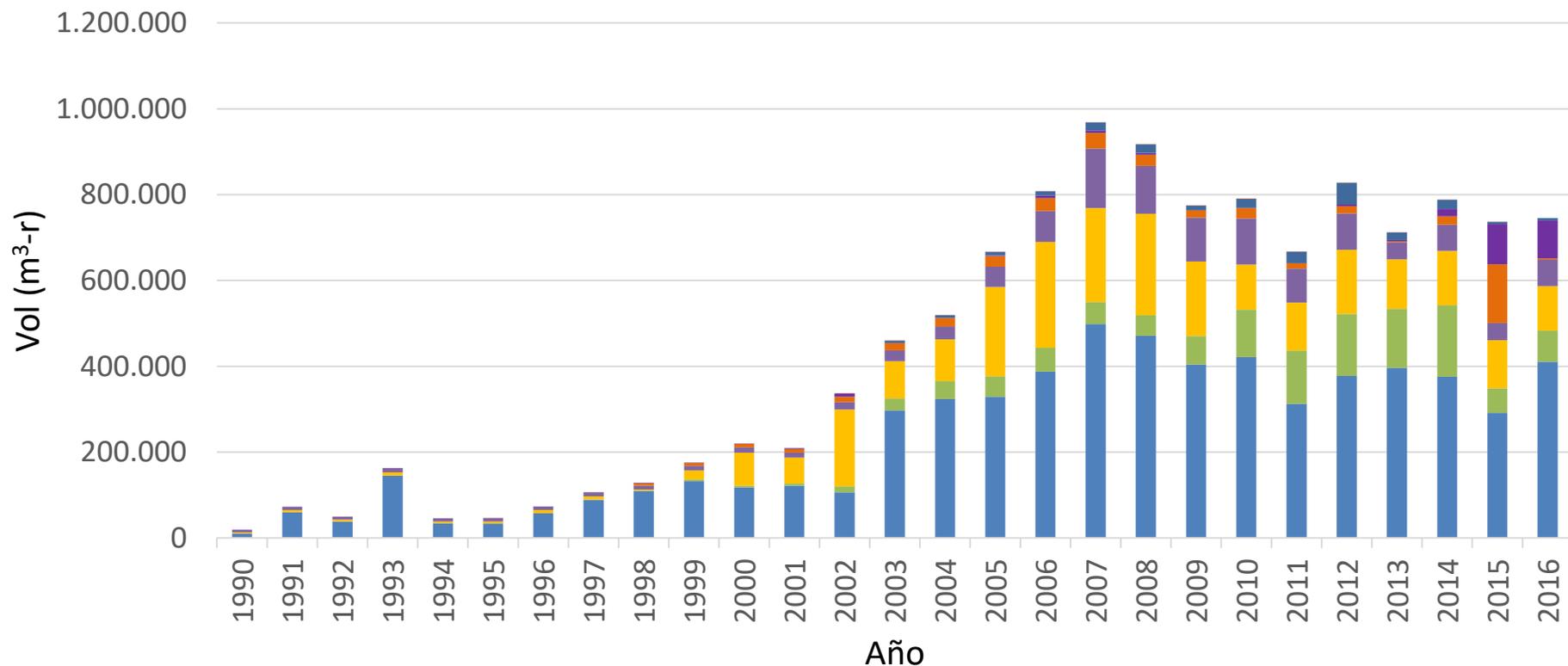
■ Exportaciones en bruto de no coníferas

# Producción de madera proveniente de terrenos de uso agropecuario sin bosque por uso, 1990 – 2016



- Construcción
- Embalaje
- Exportaciones aserradas no conífera
- Exportaciones en bruto de no coníferas
- Mueblería
- Otros usos
- Exportaciones aserrada conífera

# Producción de madera proveniente de plantaciones forestales por uso, 1990 – 2016

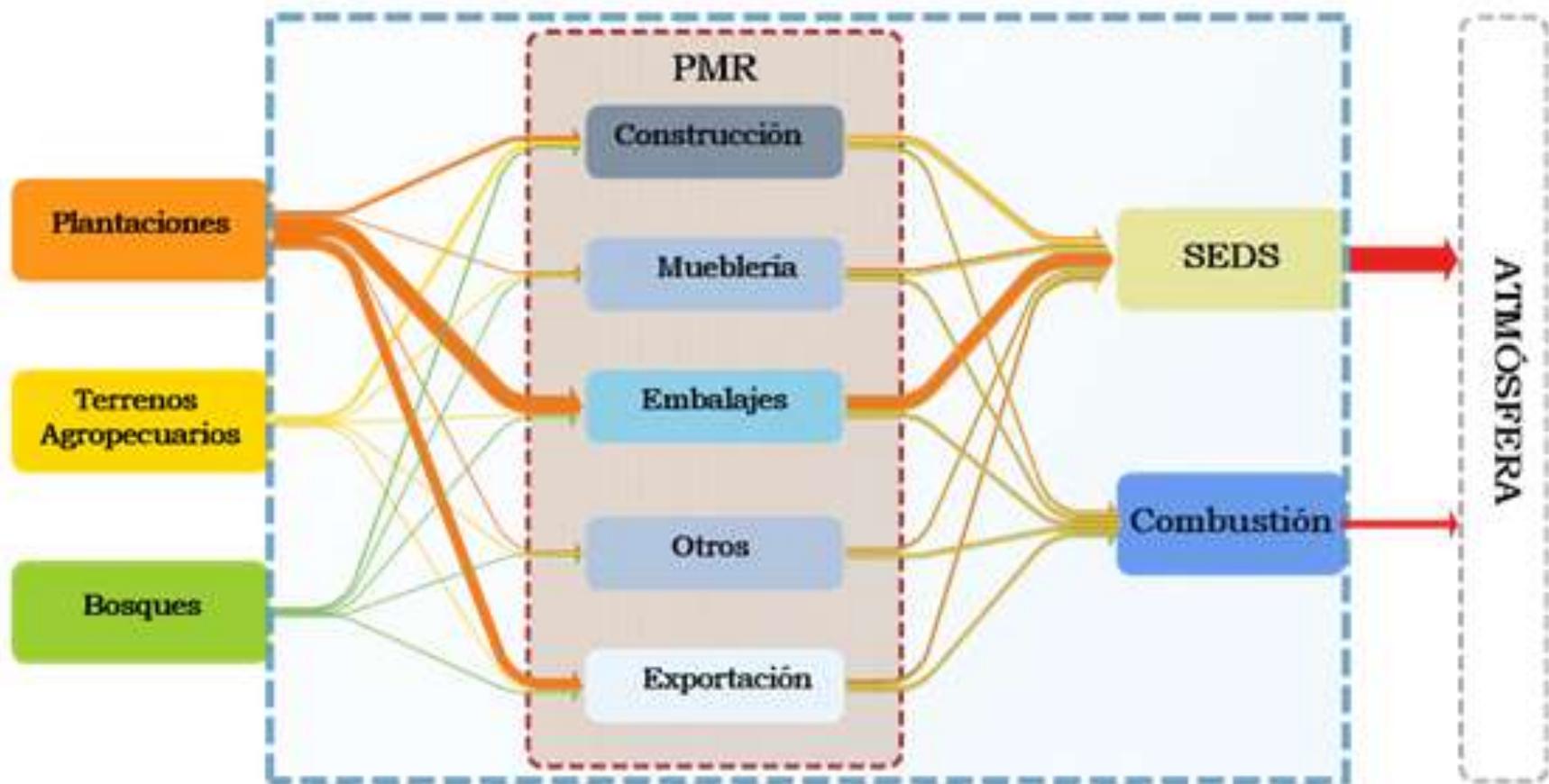


- Embalaje
- Construcción
- Otros usos
- Exportaciones en bruto de coníferas
- Exportaciones en bruto de no conífera
- Mueblería
- Exportaciones aserrada de no conífera
- Exportaciones aserrada de coníferas

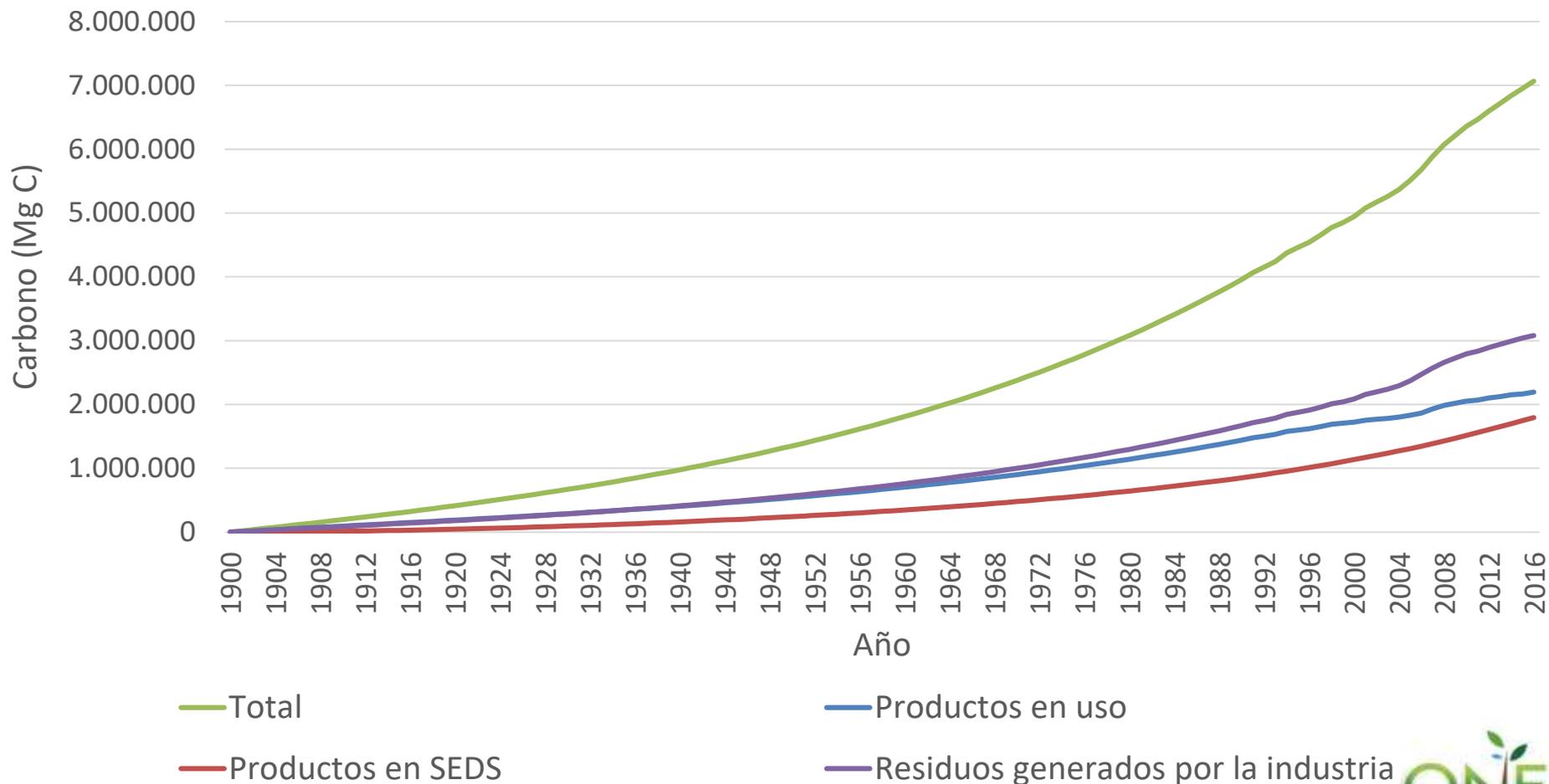
# Aporte de los productos de madera bajo el enfoque de producción



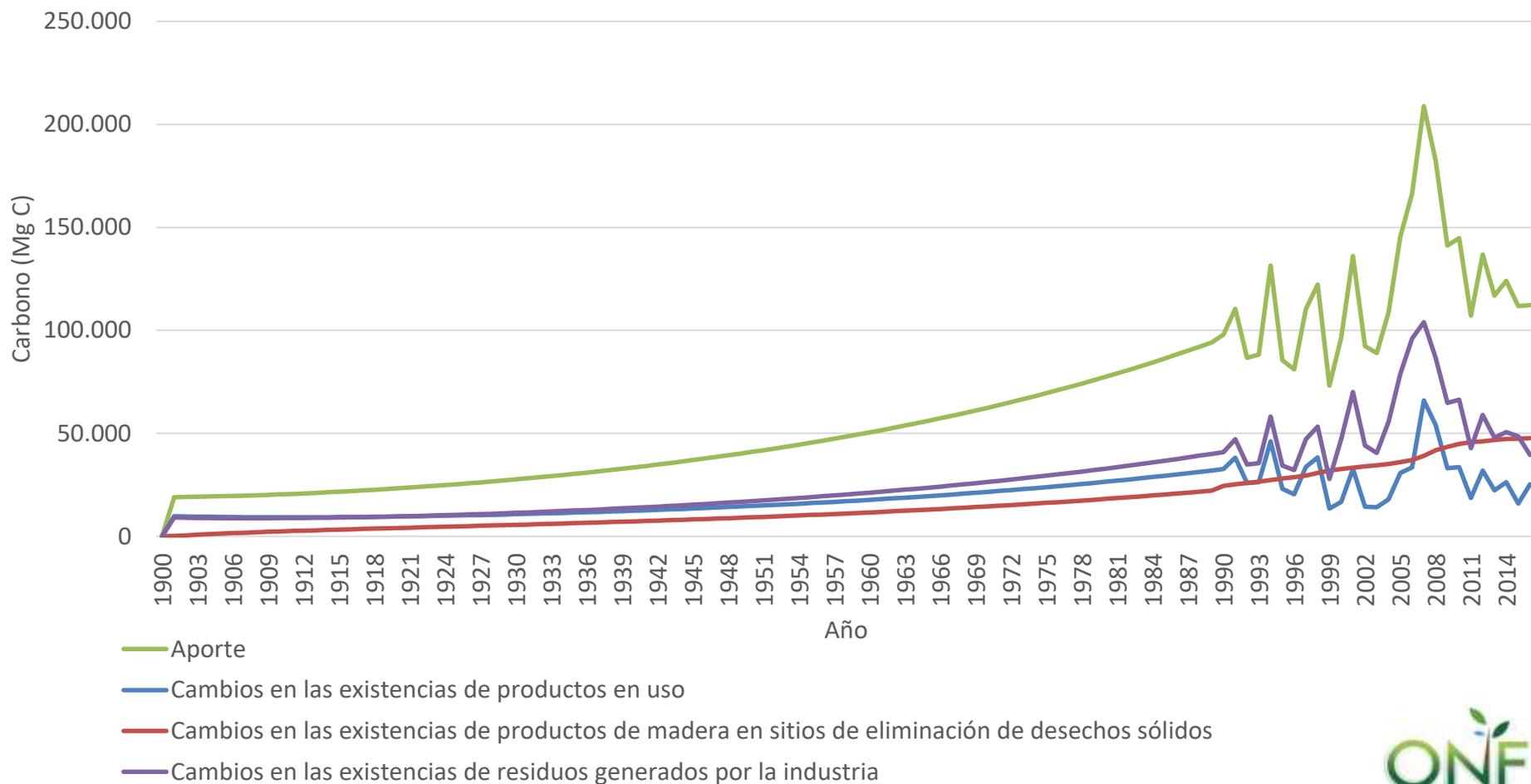
# Diagrama de flujo del carbono en productos de madera de Costa Rica, 2016



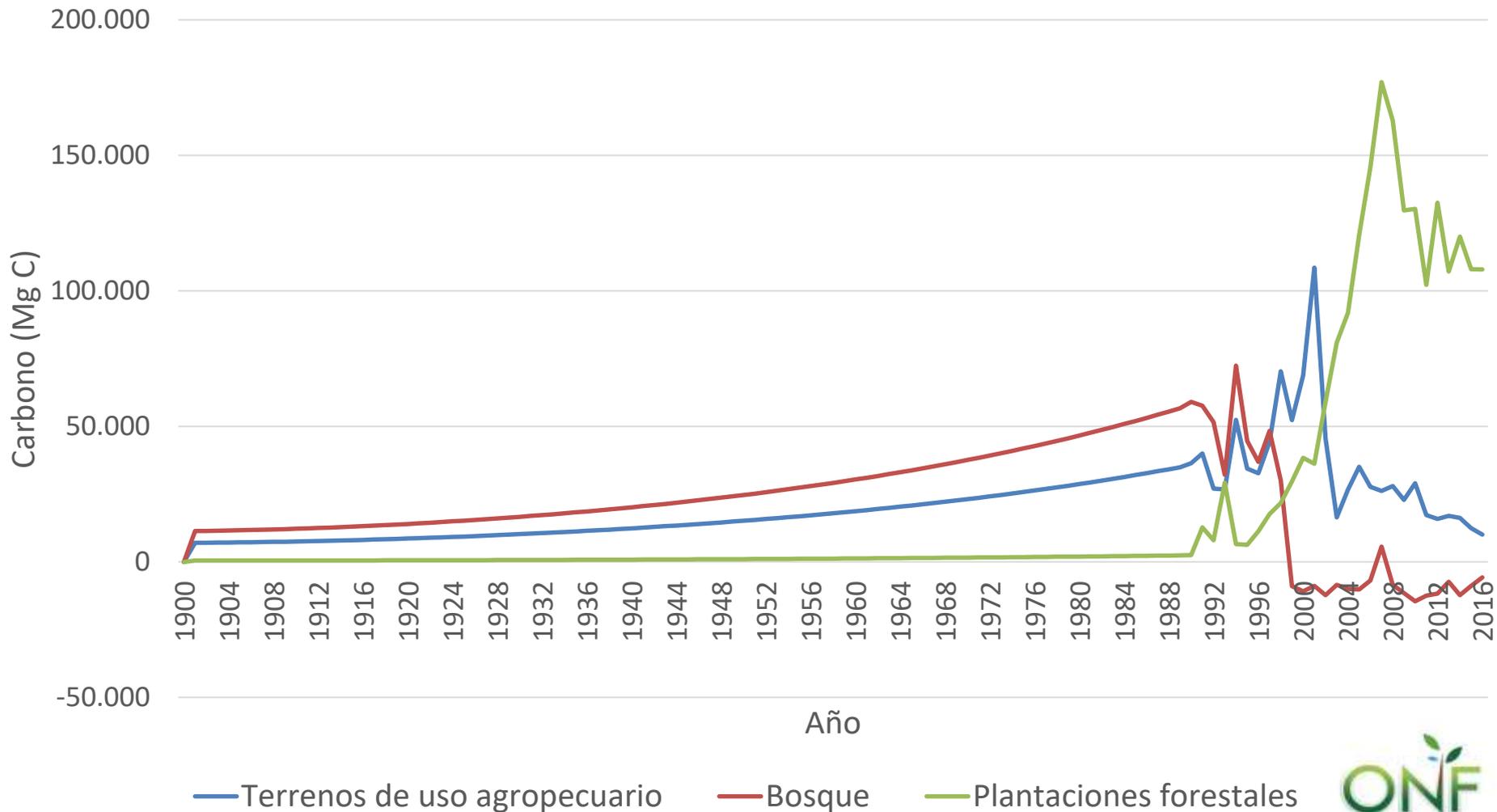
# Existencias de carbono en productos de madera en uso, SEDS y residuos de cosecha doméstica



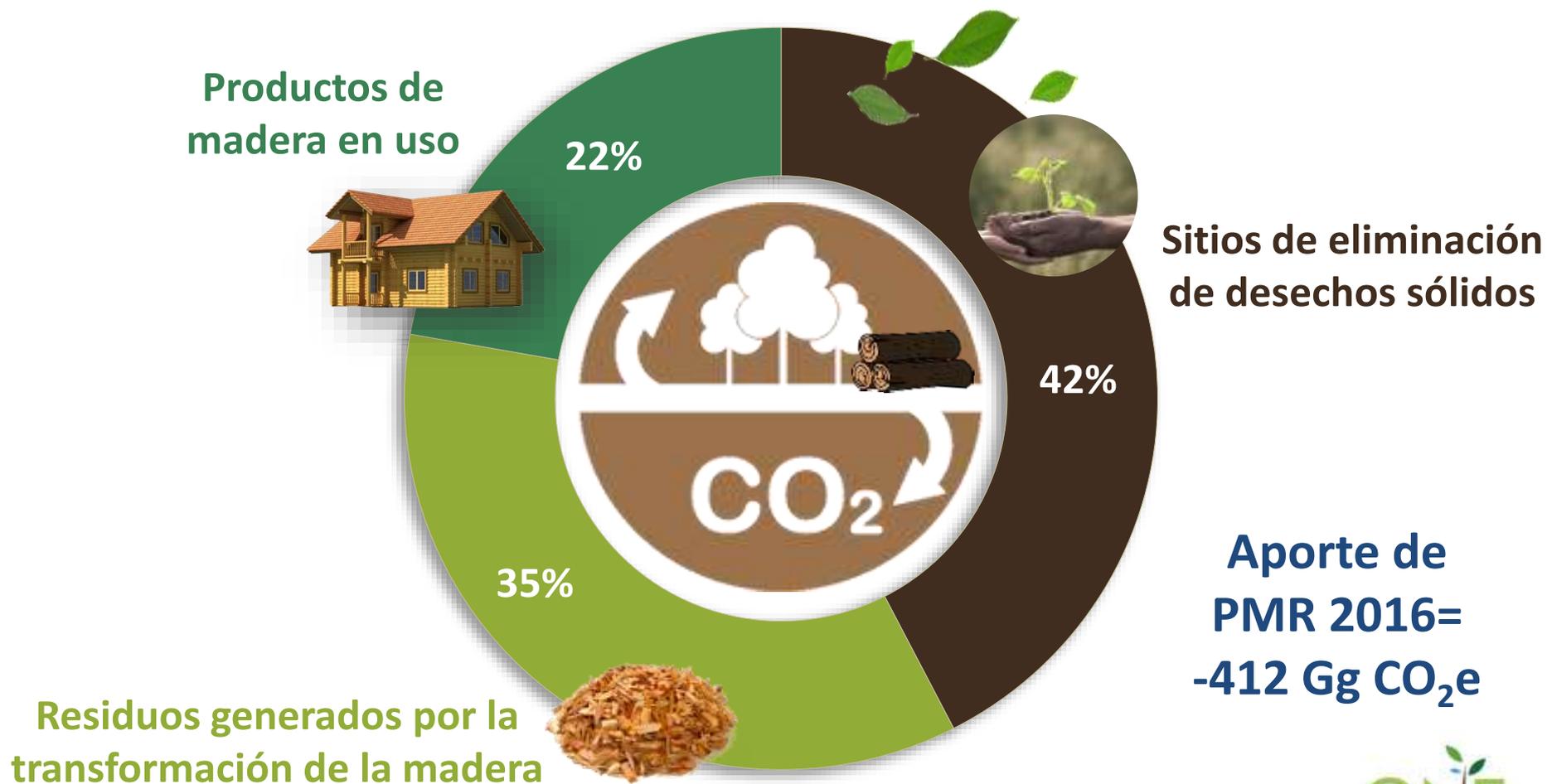
# Cambios en las existencias de carbono en productos de madera en uso, SEDS y residuos de cosecha doméstica



# Cambios en las existencias de carbono por fuente de abastecimiento



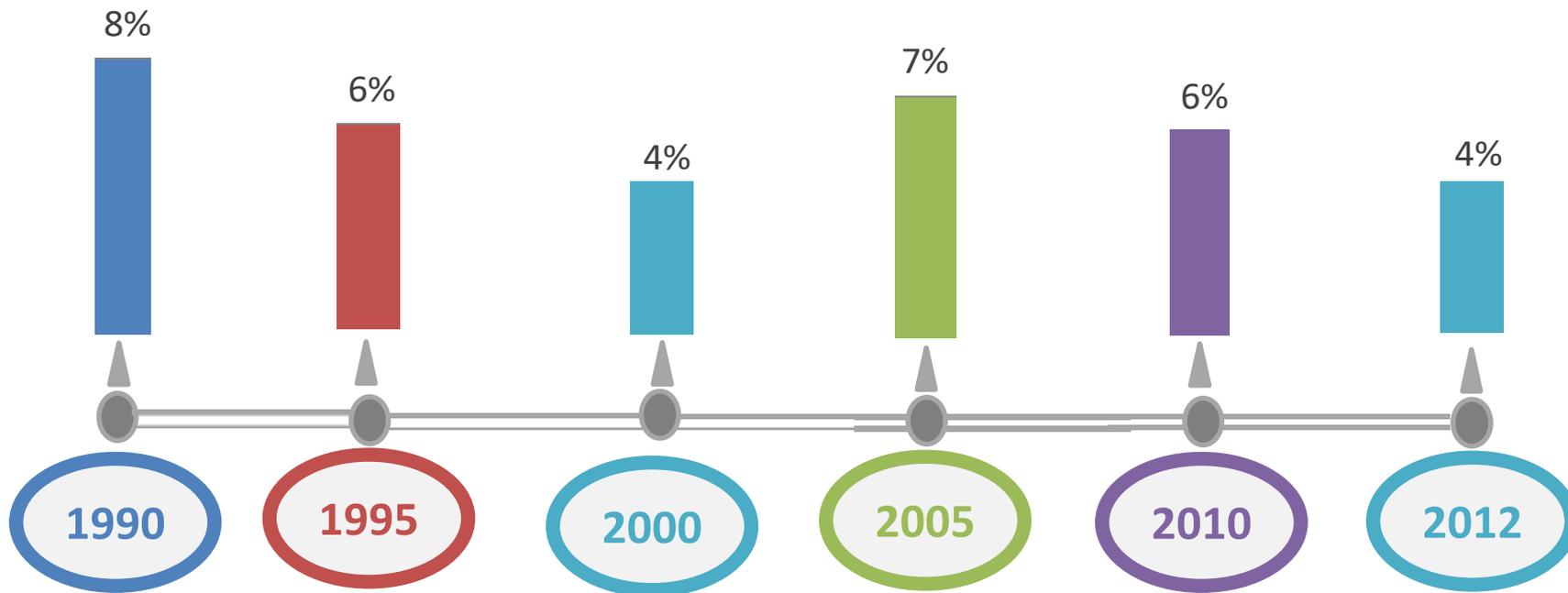
# Aporte de productos de madera por reservorio para el 2016





## Remoción de emisiones

Los productos de madera recolectada provenientes de cosecha doméstica (productos en uso, madera en rellenos sanitarios y residuos de la industria) equivalen a un 5,9% en promedio de las emisiones generadas en Costa Rica.



# Comparativo del aporte de productos de madera con otras iniciativas nacionales

## Productos de madera recolectada (PMR)

“Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica”

Comprende el aporte de los productos de madera a la contabilidad nacional de gases de efecto invernadero. En el 2016 las remociones de este sumidero equivalen a **411,63 mega toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente**.

## Acuerdo intersectorial para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector transporte

“Descarbonicemos Costa Rica 2018-2050”

Implica la implementación de políticas, medidas y otros instrumentos con los que el sector transporte lograría reducir al **2024** el equivalente a **0,5 mega toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**. Con la implementación efectiva de estas medidas se espera una reducción de **4,01 mega toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente al 2050** (Presidencia de la República de Costa Rica, 2019).

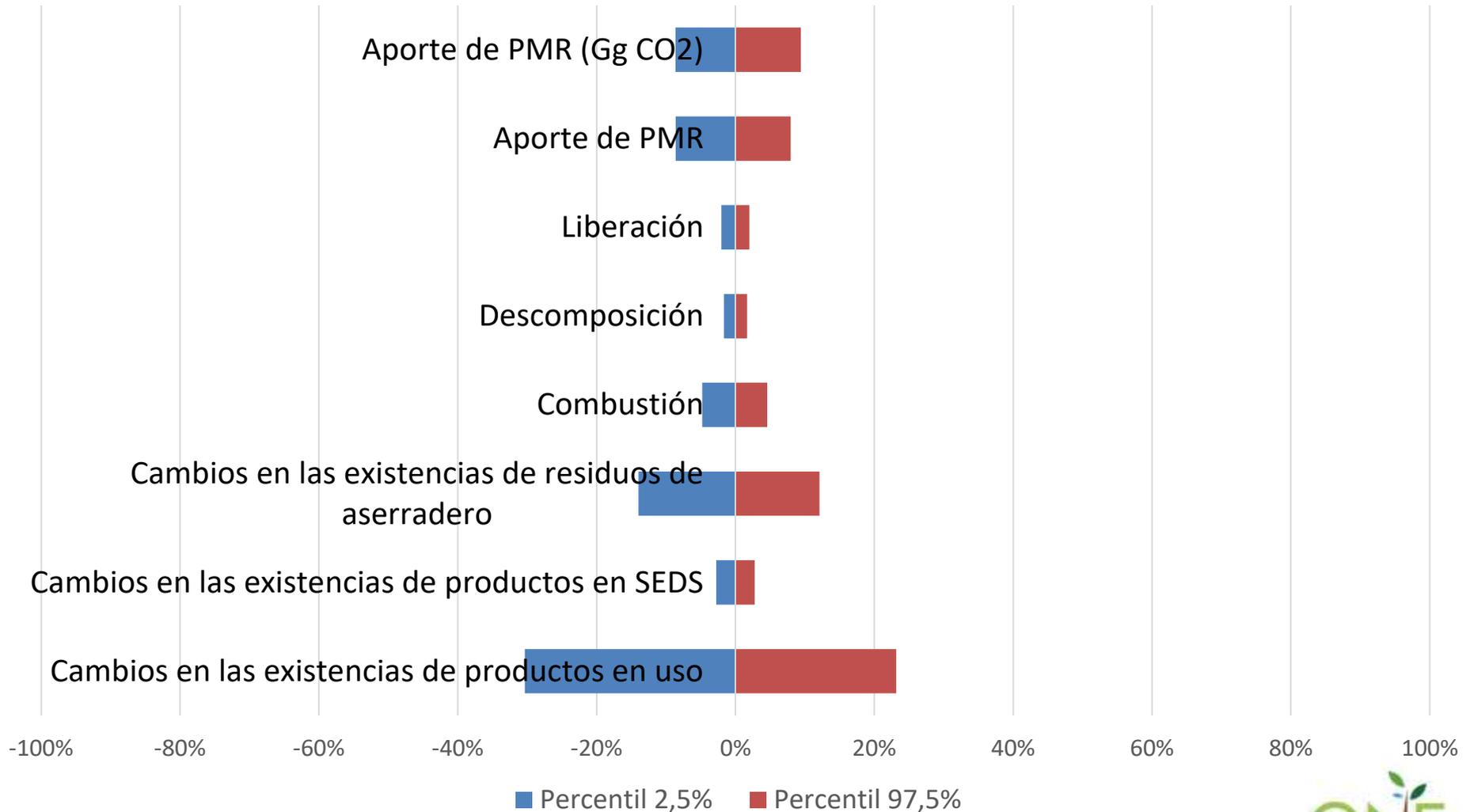
# Análisis de incertidumbre



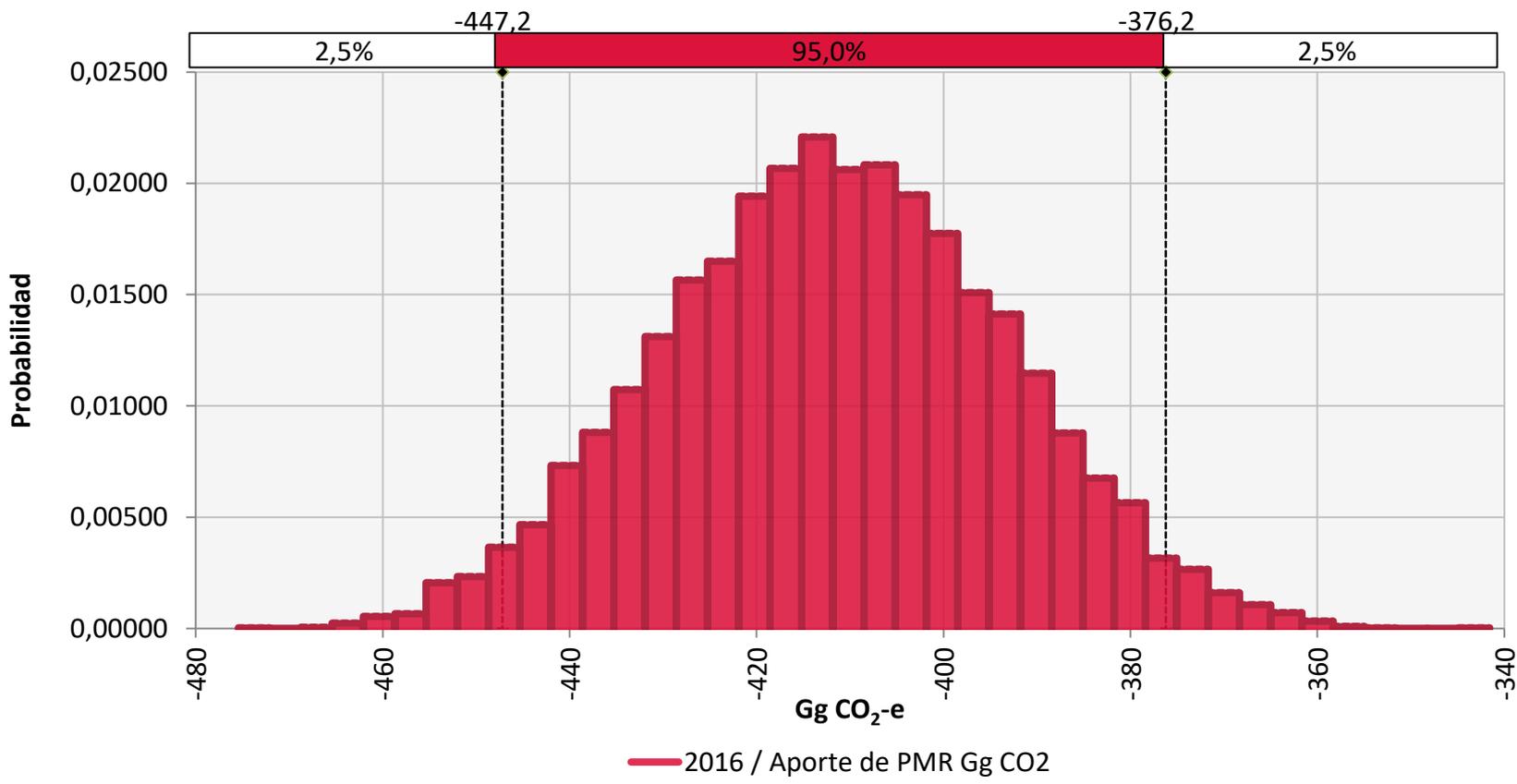
# Incertidumbre en las salidas del modelo

Variable	Valor estimado (Mg C)	95 % de confianza (% de diferencia del valor estimado)	
		2,5%	97,5%
Cambios en las existencias de productos en uso	25.254	30%	23%
Cambios en las existencias de productos en SEDS	47.564	3%	3%
Cambios en las existencias de residuos de aserradero	39.445	14%	12%
Combustión	30.426	5%	5%
Descomposición	62.846	2%	2%
Liberación	93.273	2%	2%
Aporte de PMR	112.262	9%	8%
	(Gg C)		
Aporte de PMR (Gg CO <sub>2</sub> e)	-412	9%	9%

# Incertidumbre en las salidas del modelo



# Incertidumbre en el aporte de productos de madera recolectada al 2016

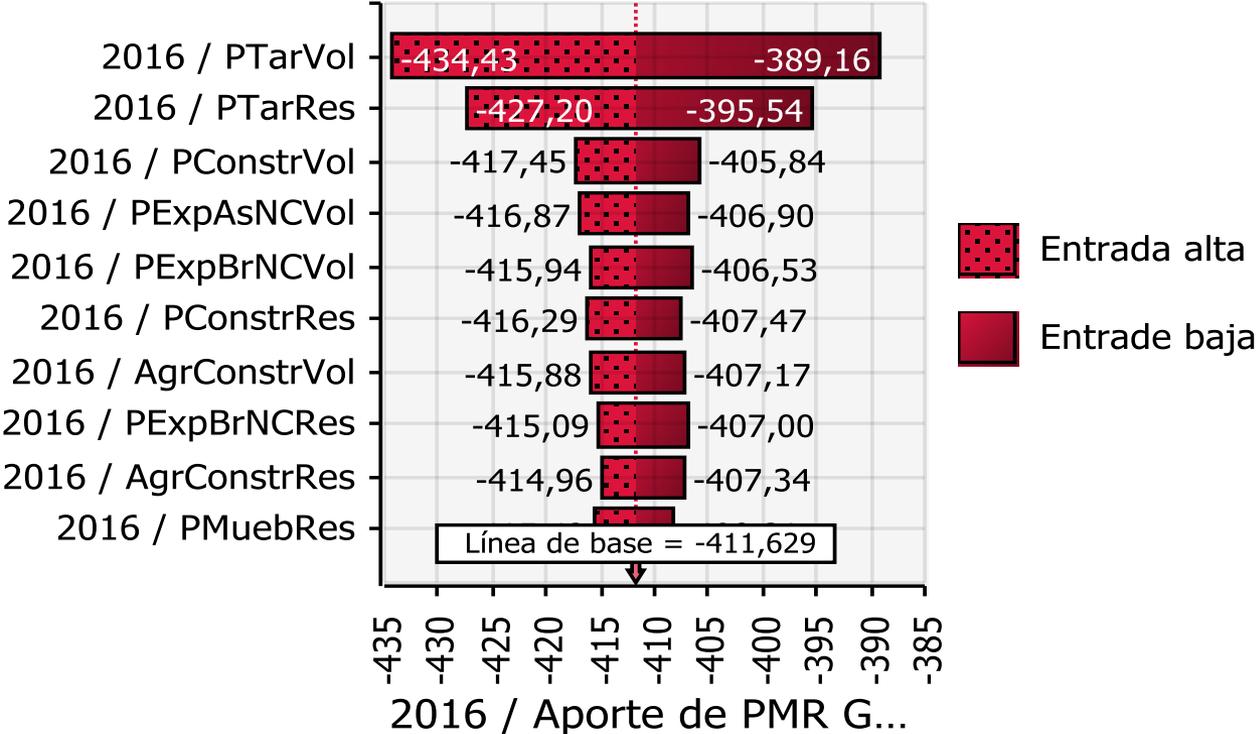


**Aporte de PMR 2016= -412 Gg CO<sub>2</sub>**

# Sensibilidad en la incertidumbre del aporte de productos de madera recolectada al 2016

## 2016 / Aporte de PMR Gg CO2

Entradas clasificadas por su efecto sobre la salida Media



# RECOMENDACIONES

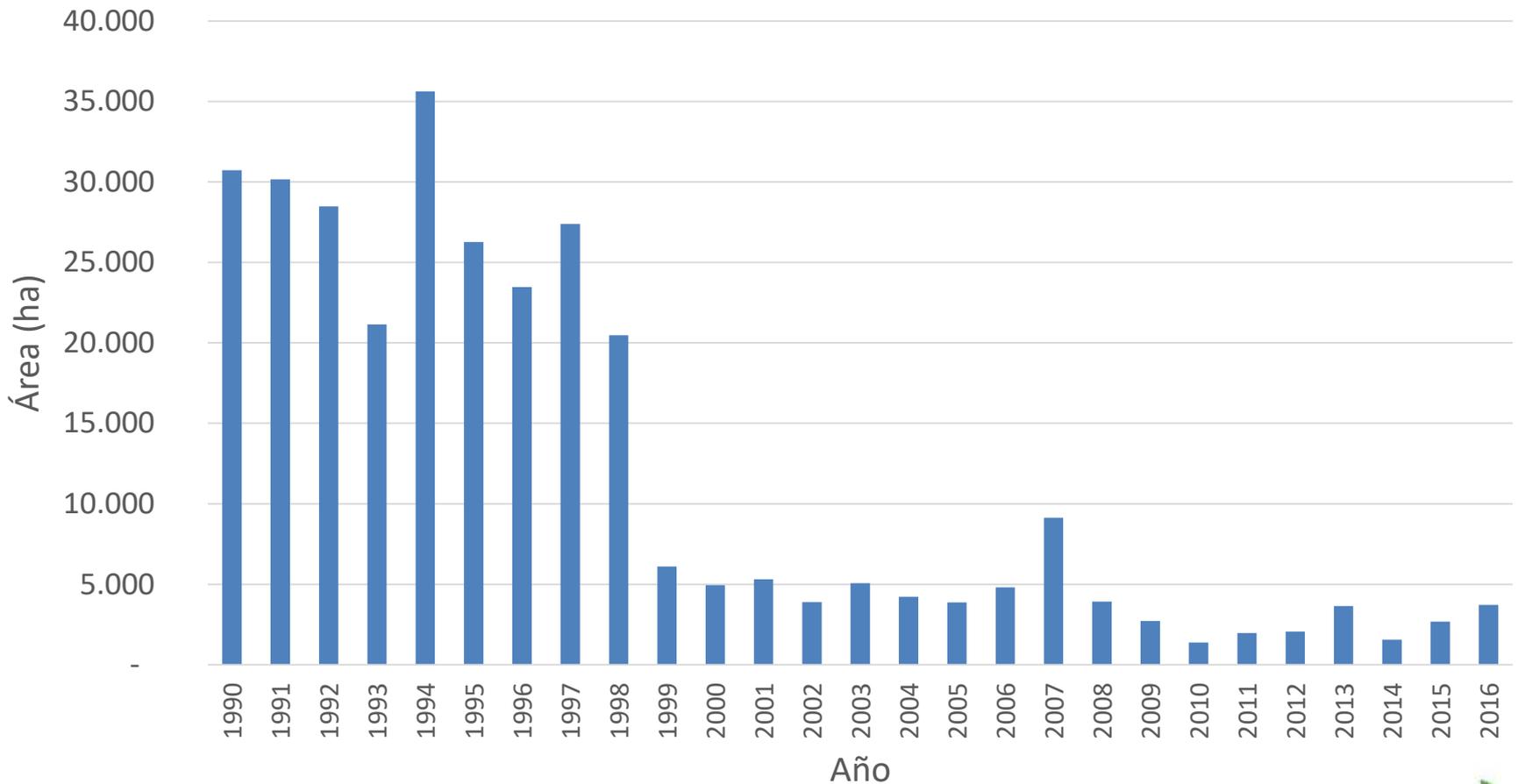


# Relación con los sectores de AFOLU, Energía y Residuos

# Relación con el sector AFOLU

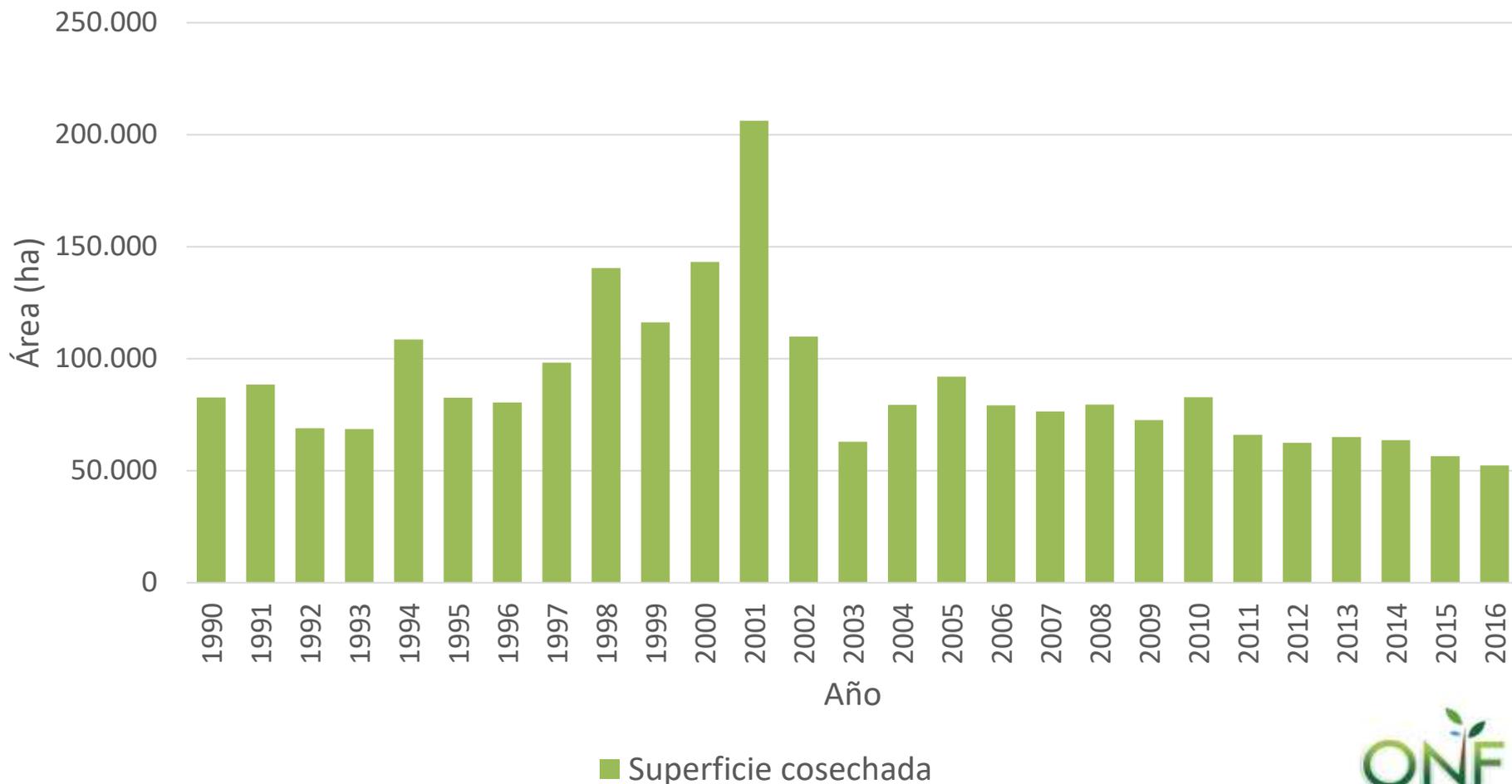


# Superficie cosechada de bosques, en Costa Rica (1990 – 2016) como insumo para el inventario de tierras manejadas.

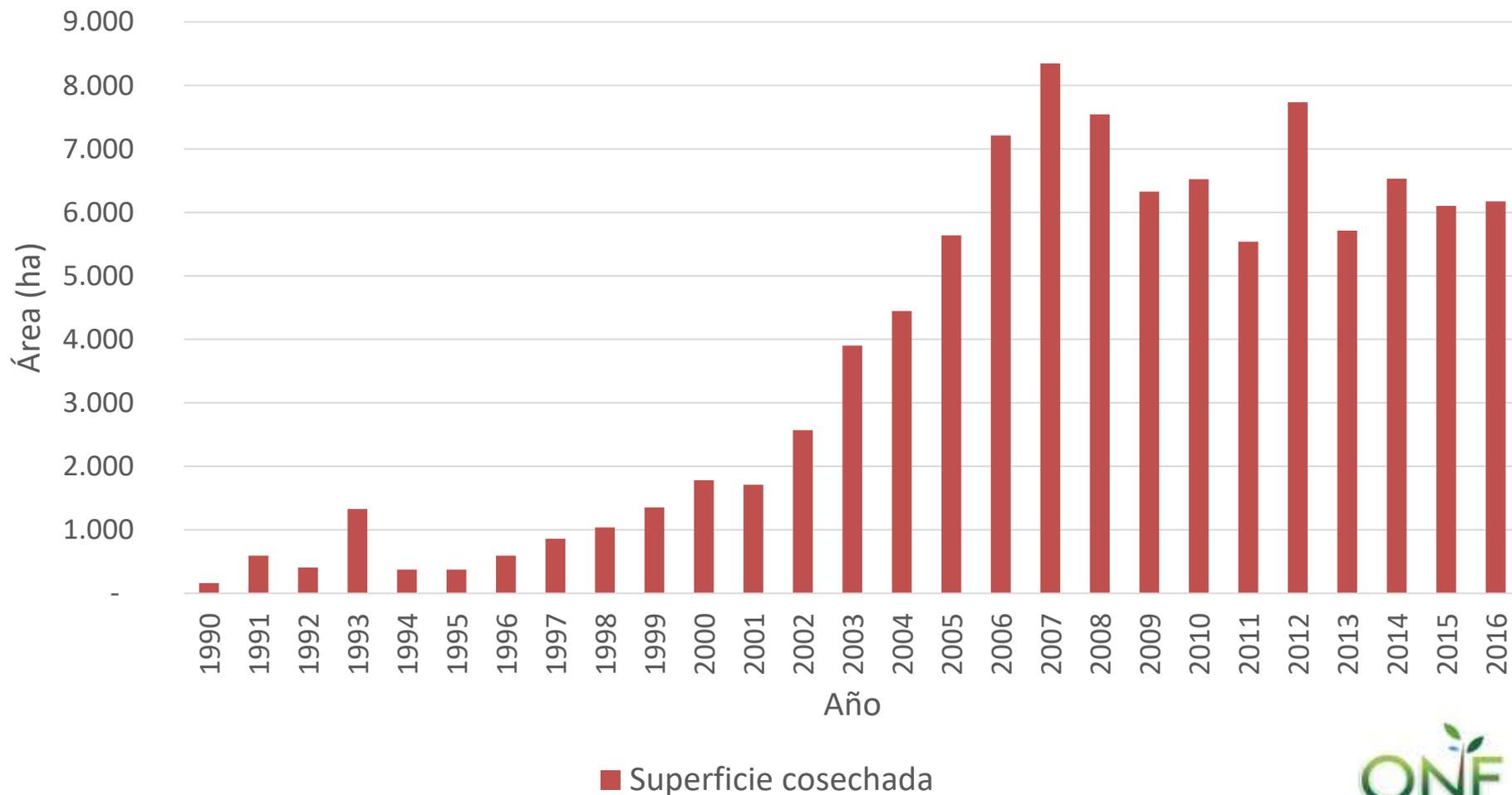


■ Superficie cosechada

## Superficie cosechada de terrenos de uso agropecuario sin bosque, en Costa Rica (1990 – 2016) como insumo para el inventario de tierras manejadas.



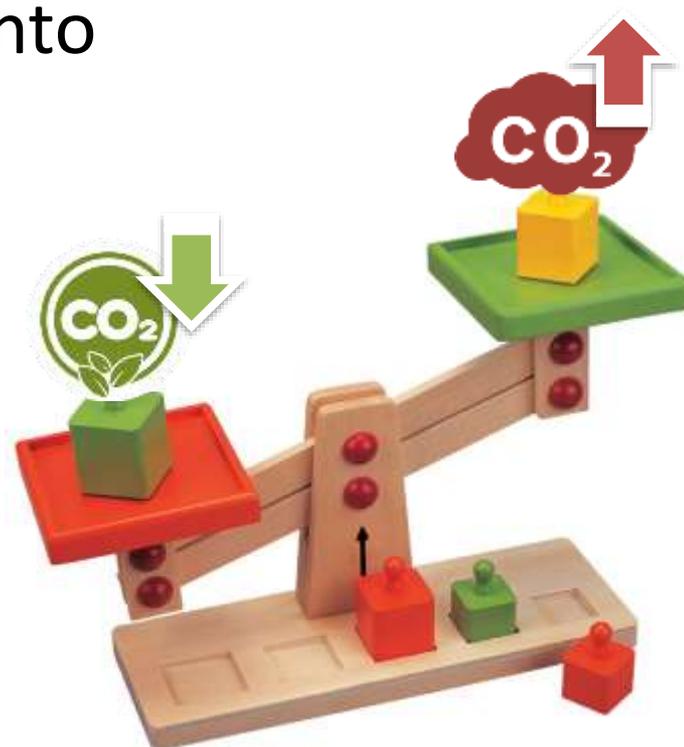
# Superficie cosechada de plantaciones forestales, en Costa Rica (1990 – 2016) como insumo para el inventario de tierras manejadas.



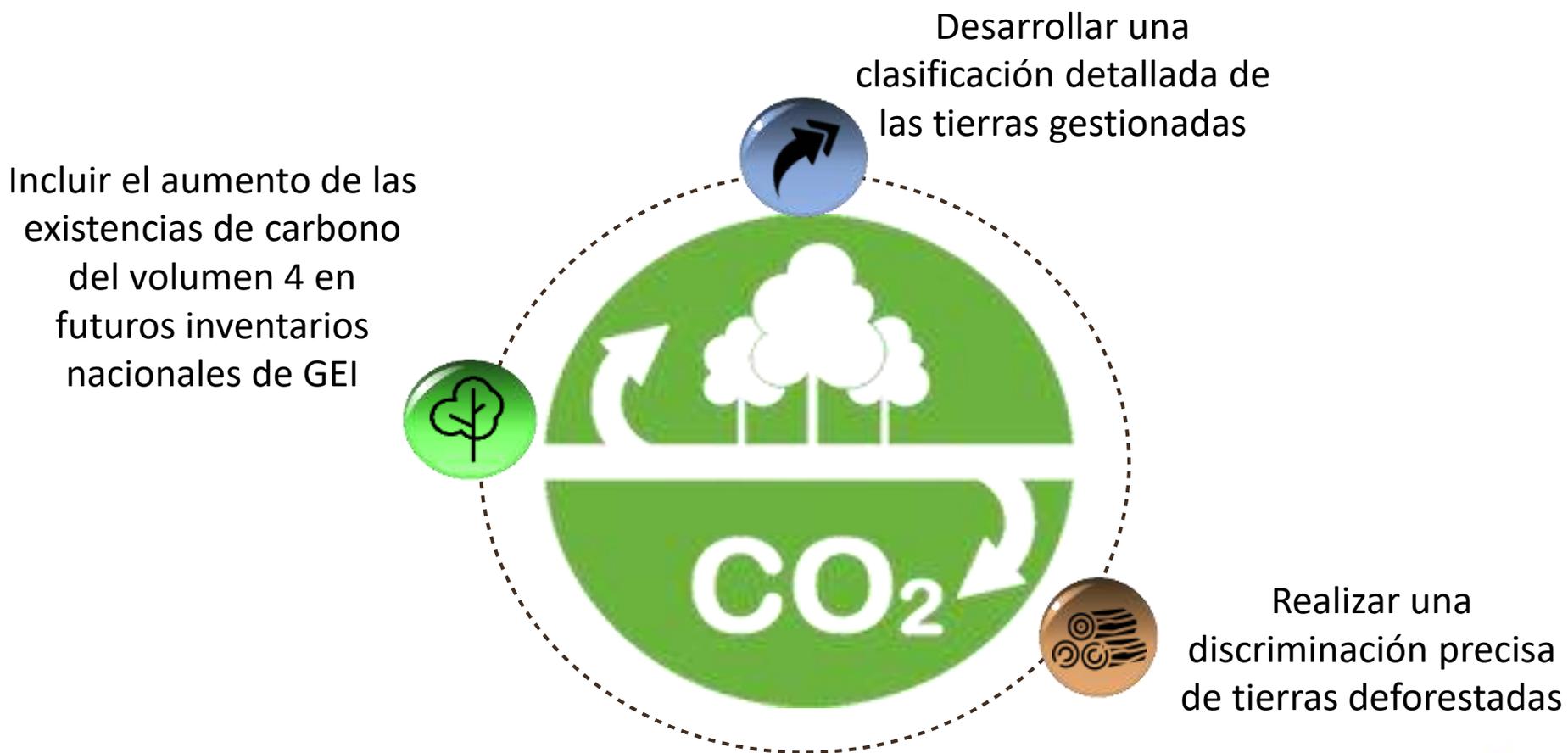
# Balance entre las emisiones por liberación y absorciones de productos de madera y residuos generados en campo por actividades de aprovechamiento

Tipo	Balance 2016 (Gg CO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup>
Balance con método de producción	-96,92
Balance con método de descomposición inmediata	229,3

<sup>1</sup>El balance es igual la sumatoria del aporte de PMR y de residuos en campo menos la liberación por descomposición y combustión.



# Liberación de CO2 de los PMR y el sector AFOLU



# Relación con el sector Residuos





## Reservorio de C y liberación de CO<sub>2</sub> de los PMR en SEDS



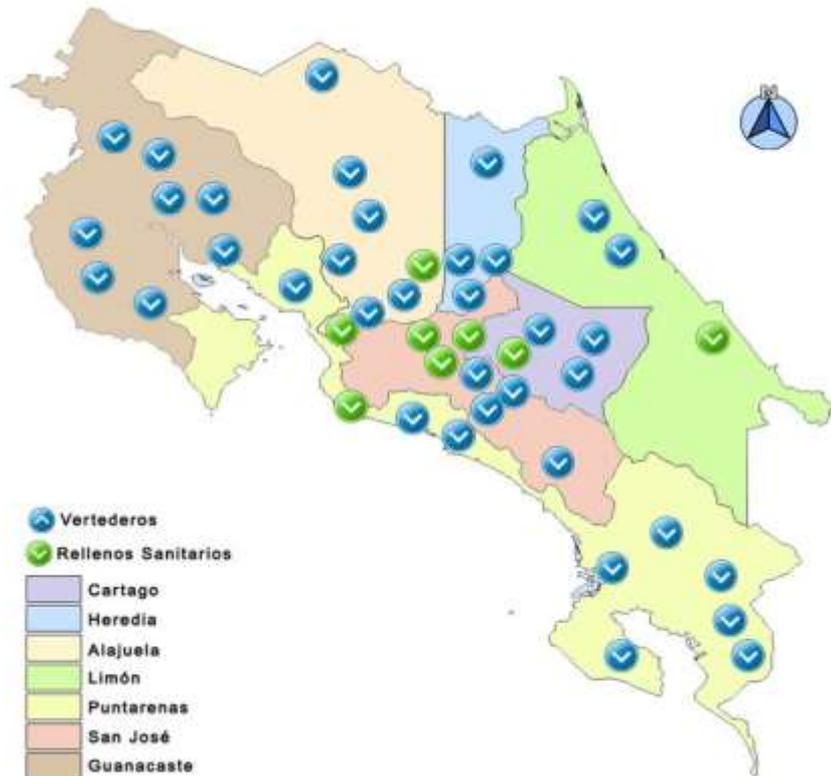
Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, el 2% del material es madera.

Nuestro estudio estima que los PMR entre el 8 a 12% de SEDS es madera



# Reservorio de C y liberación de CO2 de los PMR en SEDS

Mejorar la fracción de residuos de madera que se destinan a SEDS para que sea más representativa a la realidad del país.



Fracción  
destinada a  
SEDS:  
**0,877906**



# Relación con el sector Energía

# Liberación de CO2 de los PMR y el sector Energía



La combustión de PMR equivale al 14% de energía generada a partir de leña del Balance Energético Nacional.





## Poderes calóricos

Ciprés  
Poró  
Guaba  
Roble Encino



Cedro  
Teca  
Laurel  
Melina



Fuente: Camacho *et al.*, 1989

# Reflexiones finales

- El país cuenta con un histórico del manejo forestal y producción de madera desde 1990 que facilitó la elaboración del inventario de PMR.
- Al comparar la década de los años noventa respecto a la última década, la producción de madera a nivel nacional ha crecido.
- Siempre ha existido un aporte positivo de los PMR en Costa Rica.
- Las existencias de carbono en conjunto están creciendo en los reservorios de madera.
- Las variables que más incidieron en el aporte fueron el volumen de embalajes aserrado y de residuos del año 2016.
- Al realizar un balance entre el aporte de PMR y residuos de campo, y las pérdidas por liberación (descomposición y combustión de PMR, descomposición de residuos de campo) se obtiene un balance positivo utilizando el método de degradación de primer orden. Esto quiere decir que las concentraciones de carbono que quedan en la biomasa son mayores que las emisiones generadas en el 2016



OFICINA NACIONAL  
FORESTAL

Muchas Gracias



[www.onfcr.org](http://www.onfcr.org)

 /Oficina Nacional Forestal (ONF)

