

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DESDE EL SECTOR FORESTAL.

Palabras clave: cambio climático, secuestro de carbono, silvicultura.
Key words: climate change, carbon sequestration, forestry.

Actualmente, una de las principales estrategias para la mitigación del cambio climático, se basa en el fomento de las prácticas de forestación-reforestación debido al potencial que estos sistemas presentan para el secuestro de carbono en el suelo y en la vegetación, y el subsecuente efecto paliativo sobre el incremento del CO₂ atmosférico. En base a ello, el presente trabajo pretende dar una visión a nivel mundial y local de las principales fuentes de secuestro/emisión de gases efecto invernadero (GEI) desde el sector forestal y de los factores/procesos que afectan a las mismas. A su vez, se analizan posibles prácticas de gestión de los recursos forestales que puedan aportar a los procesos de mitigación y/o adaptación al cambio climático.

Currently, one of the main strategies for climate change mitigation is the promotion of forestation-reforestation practices. Forest systems present a large potential to sequester carbon in soil and vegetation, and then to reduce the atmospheric CO₂. The aim of the present work is to provide a global and local vision on the main sources of sequestration / emission of greenhouse gases (GHG) from the forestry sector, and the factors / processes that affect them. Finally, we discuss about the possible forest management practices that may contribute to climate change mitigation/adaptation strategies.

El rápido y constante incremento de la quema de combustibles fósiles, el aumento de la deforestación y la expansión de las áreas cultivadas han resultado en cambios importantes en la composición de la atmósfera. A nivel mundial las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado continuamente entre 1970 y 2010, presentando los mayores aumentos decenales absolutos hacia el final de ese período (2000-2010), siendo además las más altas en la historia de la humanidad (IPCC, 2014). Argentina no escapa a esta tendencia, con un crecimiento anual del 2,15 % promedio en la emisión de GEI entre 1990 y 2012 (SADyS, 2015).

En base a las directrices propuestas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la Argentina ha elaborado tres comunicaciones nacionales (1990, 2000 y 2012) donde se presentan los inventarios de GEI de cada sector. Según la tercera comunicación nacional de cambio climático (TCNCC) el 42,7% de los GEI fue emitido por el sector Energía, seguido por el sector Agricultura y Ganadería con 27,8% y en tercer lugar el de Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (CUSS) con 21,1%. Poniendo el foco en estos últimos dos sectores (Figura 1) puede observarse que la mayor contribución de las emisiones corresponde a la categoría CUSS, la cual genera, emisiones/absorciones a

partir de cuatro fuentes: los cambios de biomasa en bosques y otro tipo de vegetación leñosa, la conversión de bosques y praderas, el abandono de tierras cultivadas, y los cambios en el contenido de Carbono (C) en el suelo, siendo las dos primeras las de mayor relevancia.

Las dos principales vías para desacelerar el calentamiento del planeta son la disminución de emisiones y el aumento de la fijación de CO₂. En el caso de los bosques, debido a la gran cantidad de biomasa acumulada, constituyen una de las más grandes reservas y sumideros de carbono (Schimel et al., 2001). Las tierras con árboles cubren aproximadamente el 28% de la superficie

■ **Romaniuk R^{1*}, Cosentino V¹, Costantini A^{1,2}, Taboada M¹, Lupi A¹.**

¹ Instituto de Suelos. INTA. Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, CP 1686 Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

² Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía. UBA. Av. San Martín 4453. Buenos Aires, Argentina.

E-mail: *romaniuk.romina@inta.gob.ar

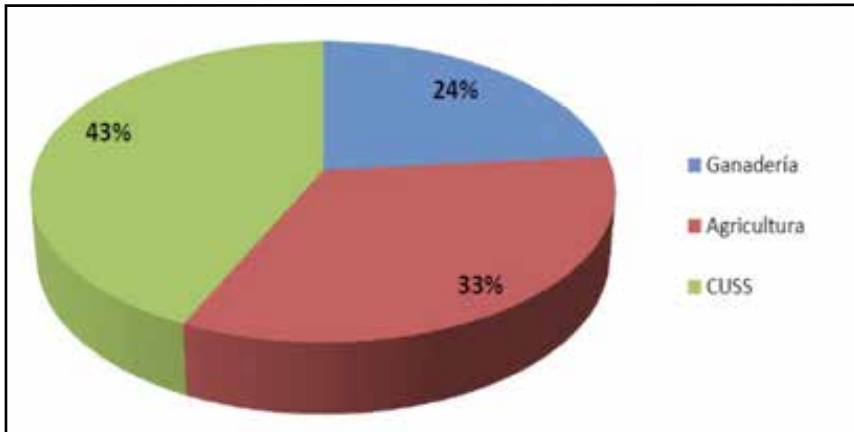


Figura 1. Emisiones de GEI desde el sector Ganadería, Agricultura y CUSS en Argentina (2012). Fuente: SAyDS. 2015. Inventario de GEI de la República Argentina, 2012. TCNCC.).

terrestre (Oertel et al., 2016). Según datos oficiales, Argentina cuenta con 53.591.545 hectáreas de tierras con bosques nativos (MAyDS, 2017) y 1.308.00 hectáreas de bosques cultivados (MAGyP, 2017).

El flujo de carbono entre los diferentes componentes de los ecosistemas forestales y su eventual asignación a los depósitos de almacenamiento a largo plazo (madera y materia orgánica del suelo) probablemente varíe entre los bosques de diferentes estrategias de creci-

miento (caducifolio vs. perennifolio), edad, régimen de gestión y clima. Dependiendo de la extensión del cambio climático y la naturaleza de las futuras prácticas de manejo, estos bosques podrán perder, retener o acumular carbono en las próximas décadas (Grace et. al., 2014).

Se ha demostrado que los sistemas forestales con un manejo adecuado pueden secuestrar más carbono que otros ecosistemas terrestres (Dixon et al., 1994), contribuyendo notablemente a la mitigación del

cambio climático. Son varios los estudios destinados a determinar la capacidad de secuestro de carbono en los ecosistemas forestales. En Argentina se han publicado diversos trabajos de investigación que muestran el potencial de almacenamiento de carbono en la biomasa boscosa. Peri et al. (2010, 2013) estimaron el almacenamiento de C en el componente arbóreo aéreo y subterráneo (raíces) y suelo en bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*) en la provincia de Santa Cruz, Argentina, concluyendo que acumulan un total de casi 45 millones de toneladas de C, de los cuales alrededor de 20% corresponde a la biomasa aérea y radicular, y aproximadamente el 80% restante al suelo. En Entre Ríos, plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 14-17 años acumulan en promedio 21,6 Mg C ha⁻¹ en la biomasa (Frangiet al., 2016). Sione et al. (2018) reportaron que el C almacenado en la biomasa arbórea aérea de bosques nativos de la provincia fitogeográfica Espinal (Argentina) fue 40,14 Mg C ha⁻¹, lo que representa un secuestro de 147,31 Mg CO₂ ha⁻¹. En bosques cultivados, Vega y Martiarena (2010) estimaron

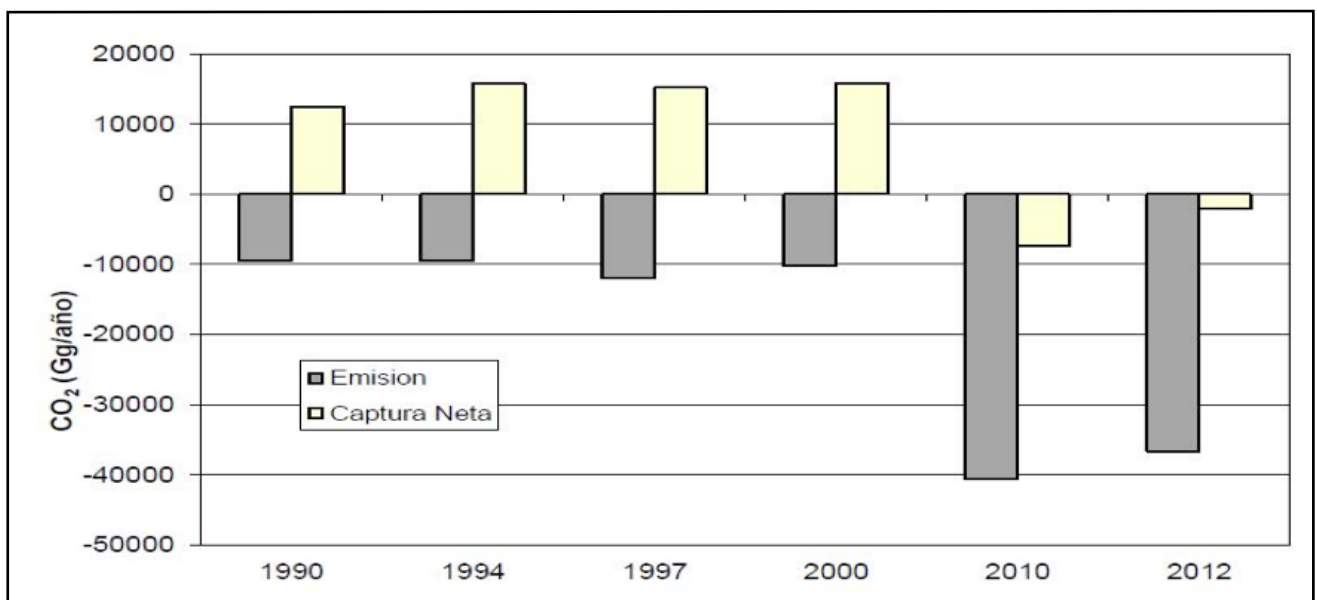


Figura 2. Evolución del carbono liberado y neto capturado anual en la biomasa Forestal en Argentina (1990-2012). Fuente: SAyDS, 2015. Inventario de GEI de la República Argentina, 2012. TCNCC.

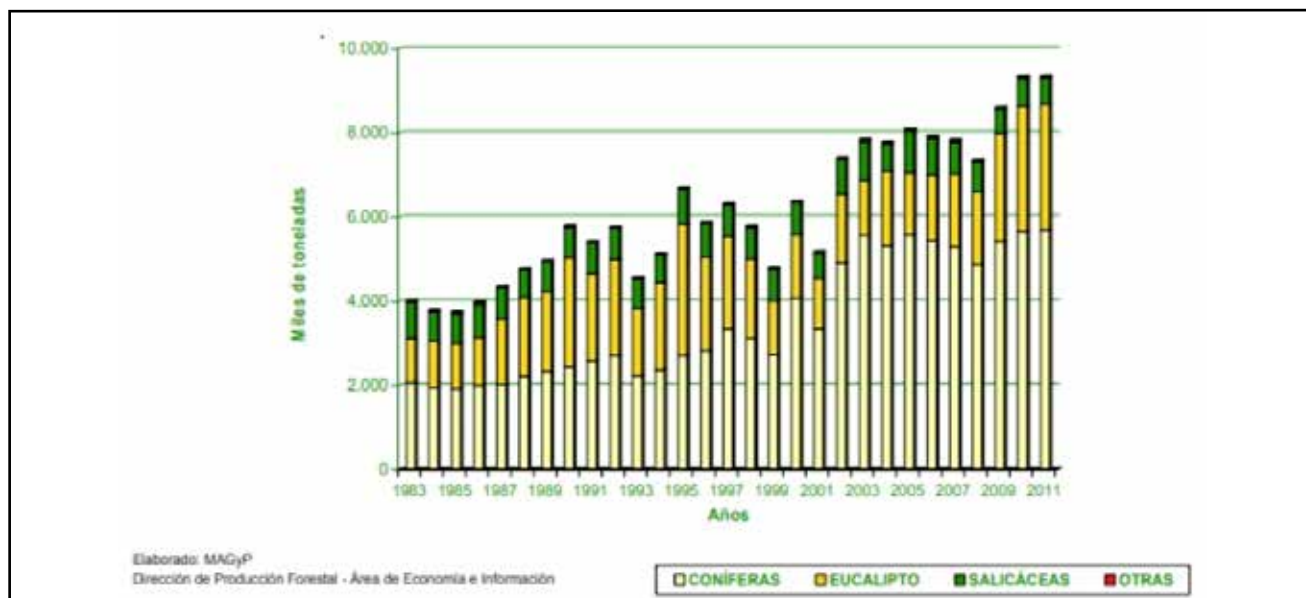


Figura 3. Evolución de la extracción de madera por especie desde 1983 a 2011 en Argentina. Fuente: MAGyP, 2012.

que el carbono en la biomasa aérea almacenado en plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze de 30 años, localizadas en el norte de la provincia de Misiones, fue $60,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, lo que implicaría una tasa de acumulación de $2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Barth et al. (2016) bajo plantaciones de *Grevillea robusta* de 18 años de edad en Misiones, Argentina, reportaron valores de 115 Mg C ha^{-1} acumulados en la biomasa, lo que implicaría una tasa de acumulación de $6,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, calculado a una densidad de 750 pl ha^{-1} . Estos datos resaltan la importancia de los sistemas forestales como sumideros de carbono (Davis et al., 2003).

Mientras que el incremento de biomasa forestal, procedente de plantaciones y regeneración de bosques nativos, contribuye a la captura de CO_2 , la extracción de productos forestales constituye una fuente de emisión. Según la TCNCC publicada en el año 2015, en los inventarios anteriores (1990-2000), el crecimiento de biomasa forestal había sido superior a la extracción de productos forestales, dando lugar a una "captura neta" de carbono. Sin

embargo, la extracción de productos forestales, se ha ido incrementando en los últimos años, dando lugar en los años 2010 y 2012 a emisiones superiores a la captura de carbono por crecimiento en la biomasa forestal, y consecuentemente a una "emisión neta" de CO_2 equivalente (Figura 2). Esta diferencia se debe principalmente a un incremento real en la extracción forestal a partir del año 2000 (Figura 3), con un estancamiento de la superficie implantada.

Es importante resaltar que en los balances nacionales presentados no fueron contemplados los destinos de la biomasa removida. Esto significa que los productos extraídos del bosque pasan a ser una emisión directa de CO_2 . Sin embargo, debería considerarse que los productos forestales pueden secuestrar carbono por largos periodos de tiempo, dependiendo de su uso. La directriz de cálculo prevé esta categoría bajo el nombre de "Productos de madera recolectada" o HWP (Harvested Wood Products por su sigla en inglés), lo cual es relevante para este sector ya que reduciría las emisiones debido al volumen de madera que no es

quemada u oxidada.

Por otro lado, el incremento poblacional y sus requerimientos de alimento y espacio, han propiciado una mayor demanda del suelo aumentando la presión para cambiar su vocación natural hacia otros usos. Un ejemplo de ello es la eliminación de la cubierta vegetal natural para habilitar terrenos dedicados a las actividades agropecuarias. Es así que la conversión de pastizales y bosques en tierras de cultivo y de pastoreo durante los últimos siglos ha resultado en pérdidas históricas de carbono en todo el mundo (FAO, 2008).

La Argentina no escapa a este fenómeno. Como consecuencia del cambio climático en gran parte de la Argentina se han registrado aumentos de temperatura de hasta medio grado entre 1960 y 2010. Para el mismo período, la precipitación media aumentó en casi todo el país, especialmente en el este, siendo los aumentos porcentuales más importantes en algunas zonas semiáridas. Esto último facilitó junto con otros factores no climáticos la expansión

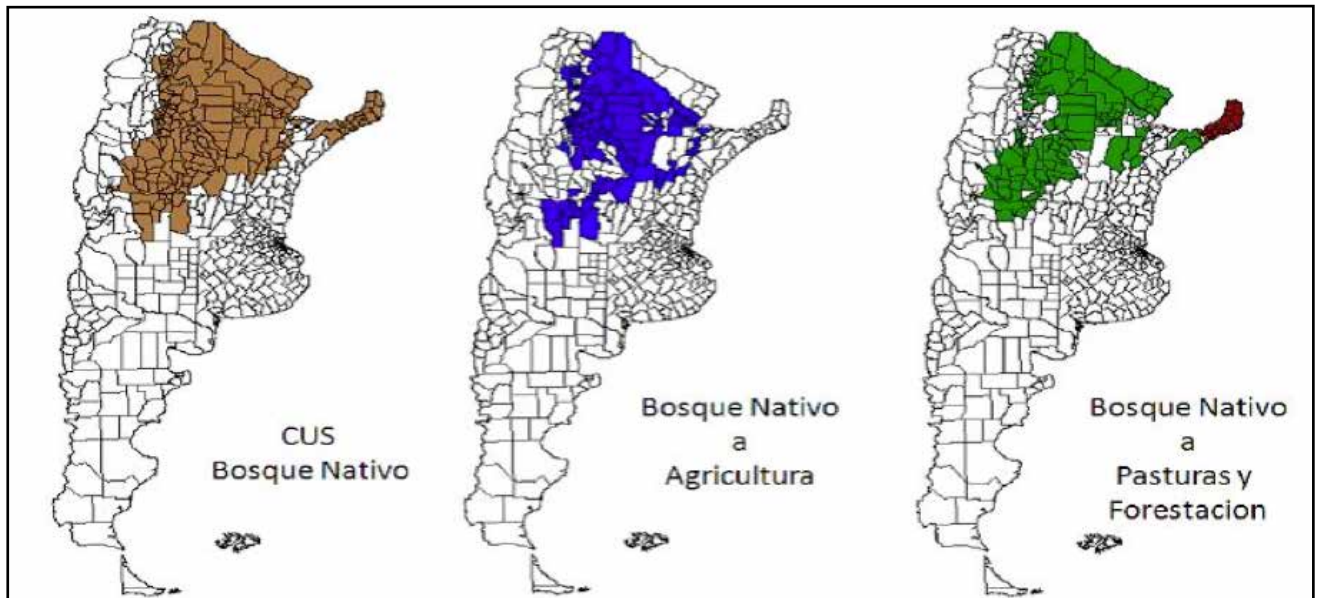


Figura 4. Departamentos que registraron CUS por deforestación de bosque nativo (2002-2010). Fuente: SAyDS, 2015. Inventario de GEI de la República Argentina, 2012. TCNCC.

de la frontera agrícola hacia el norte y el oeste. Como consecuencia, el sector Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura tuvo el mayor crecimiento anual promedio, de un 4,34%. Esto ha provocado la pérdida de carbono almacenado en la vegetación y en los suelos. En la Figura 4 se muestran los departamentos principalmente afectados por el cambio en el uso del suelo (CUS).

En la Figura 5 pueden observarse las emisiones estimadas debido

al CUS y la quema de vegetación natural (Bosques o pastizales) para la implantación de cultivos de grano o pasturas para uso ganadero. Según estos datos el ritmo de CUS ha disminuido entre el 2010 y el 2012. Parte de ello puede relacionarse con la sanción de las leyes de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos que restringen las áreas deforestables. En base a ello se prevé una disminución en las emisiones para el 2030.

Actualmente, una de las principales estrategias para la mitigación del cambio climático, se basa en el fomento de las prácticas de forestación-reforestación-aforestación debido al potencial que estos sistemas presentan para el secuestro de carbono en el suelo y en la vegetación, y el subsecuente efecto paliativo sobre el incremento del CO₂ atmosférico. En base a ello es de fundamental importancia desarrollar estrategias de gestión que promuevan prácticas de conservación de las áreas forestales y fomento al desarrollo de esta actividad (Figura 6).

Como posibles estrategias de mitigación se destacan aquellas dirigidas a incrementar las áreas con plantaciones forestales, la restauración de bosques degradados, la restitución de árboles en zonas antiguamente forestadas, la diversificación de los sistemas a través de la incorporación de árboles en sistemas ganaderos (sistemas silvopastoriles), la gestión de incendios, el establecimiento de áreas protegidas, y principalmente el establecimiento de leyes que acompañen estas medidas.

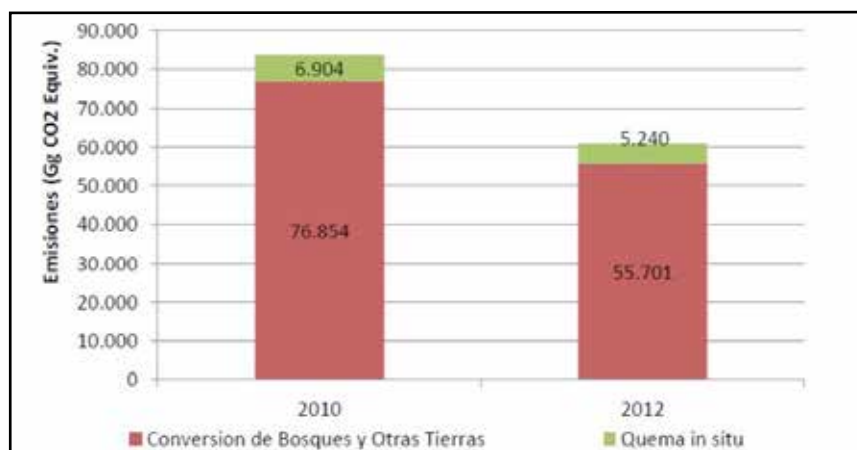
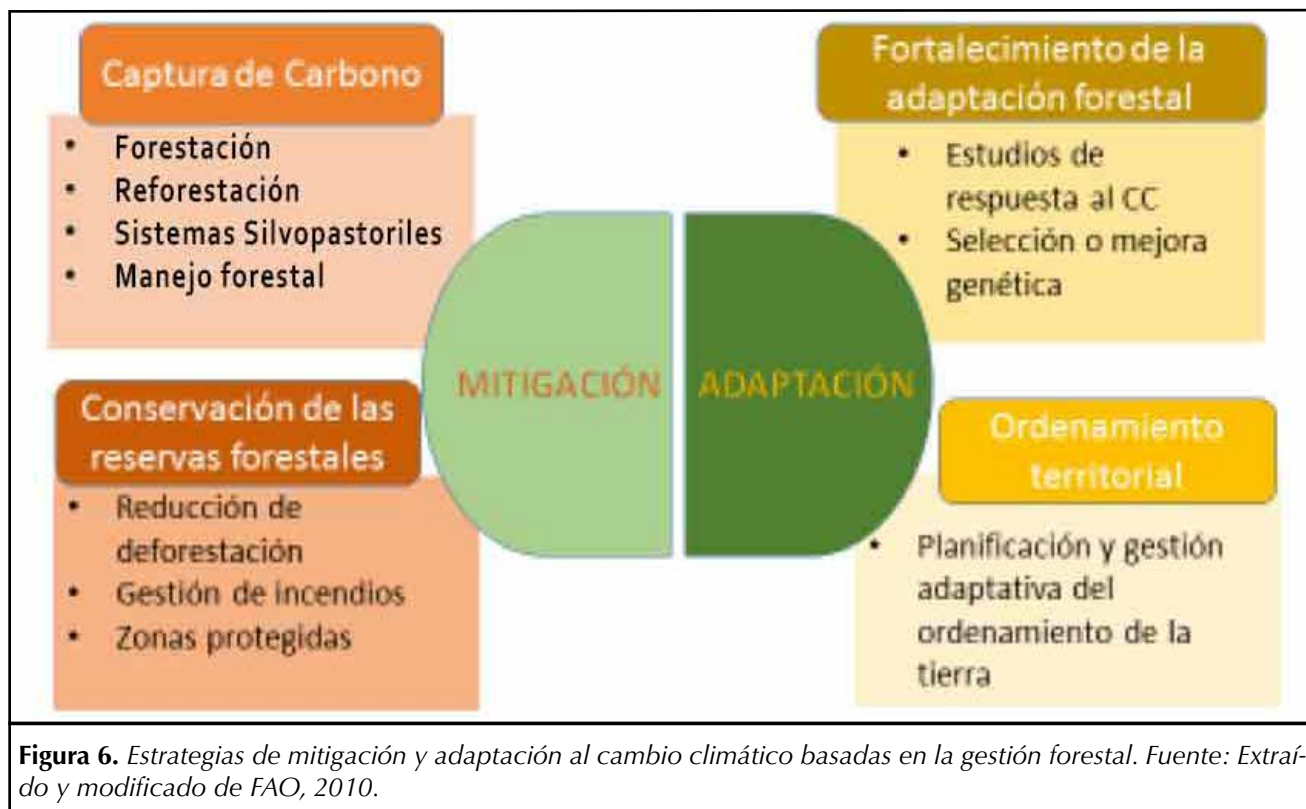


Figura 5. Estimación de emisiones por conversión de bosques y pastizales (2010-2012). Fuente: SAyDS, 2015. Inventario de GEI de la República Argentina, 2012. TCNCC.



El desafío que nos toca es saber cómo podemos mantener la productividad de nuestros bosques frente al cambio climático. En el caso de los bosques cultivados seguramente será necesario desarrollar estrategias que complementen una silvicultura por ambientes y una selección genética desarrollada bajo criterios específicos de adaptación a condiciones de estrés. En una primera etapa es necesario entender los mecanismos de respuesta de los árboles a los eventos climáticos extremos, y tener herramientas que permitan cuantificar caracteres genéticos claves de la amplitud de la variación genética, de la plasticidad y herencia de los mismos dentro de las especies.

La disponibilidad de la información sobre bosques y recursos forestales, constituye una condición indispensable para el manejo forestal sostenible. La cobertura y calidad actual de la información forestal no es lo suficientemente buena como

para alimentar los procesos de toma de decisiones (FAO, 2001). A su vez, debe considerarse que la información generada se basa en estimaciones usando factores de emisión por defecto propuestos por el IPCC, que no son de carácter local. Muchos de los trabajos publicados que comparan emisiones de GEI medidos a campo con los valores calculados según el IPCC, han mostrado que los valores medidos difieren de aquellos calculados.

Actualmente, existen numerosos trabajos de medición in situ de GEI en sistemas forestales en diversos países, principalmente en bosques de Europa y Estados Unidos de Norteamérica. Sin embargo, aún son escasos los trabajos que cuantifican las emisiones de GEI en sistemas forestales en la Argentina. A nivel local, es necesaria la medición in situ de GEI para obtener estimaciones globales más precisas. Si bien en nuestro país, la cuantificación de las emi-

siones de GEI desde los suelos de los sistemas forestales es muy reciente se ha observado que tanto bosques cultivados de Pinus como Eucaliptus en la Provincia de Buenos Aires sequestran más metano que los herbáceos y, dentro de éstos, los pastizales más que los suelos sometidos a agricultura. Otro grupo de investigadores del Instituto de Suelos del INTA Castelar, junto con investigadores de la Facultad de Agronomía de la UBA han realizado aportes recientes sobre las emisiones de N_2O desde suelos en sistemas forestales de Eucaliptus Grandis en la provincia de Entre Ríos. Los resultados indican que las emisiones son bajas a muy bajas, independientemente del tipo de suelo, inclusive comparando con otros usos de la tierra. La generación de información local representa una herramienta irremplazable para un verdadero conocimiento de la situación forestal y, por ende, conduciría a una adecuada toma de decisiones (FAO, 2001).

A partir de todo lo expuesto, queda clara la importancia de promover estrategias de manejo silvícola que promuevan una mayor acumulación del C en el tiempo. Esto debe ser acompañado de la cuantificación por ambientes de los almacenes de C y las emisiones de GEI de cada componente del sistema. Para ello, es esencial la implementación de planes de monitoreo a nivel regional y nacional que permitan brindar información clara sobre la evolución de los GEI en los sistemas forestales.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Barth S.R., Giménez A.M., Joseau M.J., Gauchat M.E., Fassola H.E. (2016). Compartimentalización de la biomasa aérea de *Grevillea robusta* A. en función a la densidad inicial de plantación. *Scientia Forestalis* 44, 653-664.
- Davis M.R., Allen R.B., Clinton P.W. (2003). Carbon storage along a stand development sequence in a New Zealand *Nothofagus* forest. *Forest Ecology and Management* 177, 313-321.
- Dixon R., Brown S., Houghton R., Solomon A., Trexler M.C., Wisniewsky J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*. 263: 185-190.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación). (2001). Monografía de países. Volumen 1. Información para el desarrollo forestal sostenible. Estado de la información forestal en Argentina. 278 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación). (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma. 146 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación). (2010). La gestión de los bosques ante el cambio climático. www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf
- Frangi J, Pérez C, Goya J, Tesón N, Barrera M, Arturi M. (2016). Modelo empírico integral de una plantación de *Eucalyptus grandis* en Concordia, Entre Ríos. *Bosque*. 37, 191-204.
- Grace J., Morison J.I.L., Perks M.P. (2014). Forests, forestry and climatic change. *Forestry Sciences*. 81: 241-266.
- IPCC (Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático). (2014). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- MAGyP. (2012). Sector Forestal. Año 2011. Ing. Agr. Susana Brandán Ing. Agr. Liliana Corinaldesi Cristina Frisa. Área de Economía e Información de la Dirección de Producción Forestal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- MAGyP. (2017). Datos Agroindustriales. Inventario nacional de plantaciones forestales por superficie. <https://datos.agroindustria.gov.ar/dataset/inventario-nacional-de-plantaciones-forestales-por-superficie/archivo/147acbc6-2048-4d2b-9cd7-df13efe328fa>
- Ministerio de Ambiente y desarrollo sustentable de la Nación (MAyDS) (2017). Ambiente Bosques. <http://bosques.ambiente.gov.ar/geomaps>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmí, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chem. Erde-Geochem*. 76, 327-352.
- Peri, P.L., Gargaglione, V., Martínez Pastur, G., Lencinas, M.V. (2010). Carbon accumulation along a stand development sequence of *Nothofagus antarctica* forests across a gradient in site quality in Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management*. 260, 229-237.
- Peri P.L., Ormaechea S., Martínez Pastur G., Lencinas M.V. (2013). Inventario provincial del contenido de carbono en bosques nativos de ñire en Santa Cruz. *Actas del Cuarto Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. 23 al 27 de septiembre de 2013. Iguazú.
- Schimel D.S., House J.I., Hibbard K.A., Bousquet P., et al. (2001). Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*. 414, 169-172.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, UMSEF. (2007). Monitoreo de la superficie de bosque nativo de Argentina. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires, Argentina.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2005). Informe Nacional del Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Préstamo BIRF 4085 AR, (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS)

- de la Nación. 1998-2005. 126 pp.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2015). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina –Volumen 3 - Agricultura, Ganadería, y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura.
- Sione S.M.J., Wilson M.G., Andrade H.J., Rosenberger L.J., Sasal M.C. y Gabioud E.A. (2018). Carbono almacenado en la biomasa arbórea de los bosques nativos del Espinal (Argentina). VIII Congreso sobre uso y manejo del suelo. 25 al 27 de junio. Libro de resúmenes, página 32. Coruña. España.
- Vega J. y Martiarena R. (2010). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de araucaria (*Araucaria angustifolia* -Bert.- O. Ktze). Revista Ciencia y Tecnología. Nro 13. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100011&lng=es&nrm=iso. ISSN 1851-7587.