

# Resultados del Sector, Cambio de Uso de los Suelos y Forestal

*Sergio González Martineaux  
Aquiles Neuenschwander Alvarado  
Claudio Salas Figueroa  
Roxana Tessada Sepúlveda*

## 1. ASPECTOS GENERALES

El Sector "Cambio de Uso de los Suelos y Forestal" es el único sector de los que componen un inventario nacional de gases de efecto invernadero, que contabiliza capturas de carbono desde la atmósfera. En la gran mayoría de los países, este sector presenta un balance neto favorable a la captura aunque, también en la gran mayoría de los casos, no se acerca a contrarrestar las emisiones desde los otros sectores, en especial las del Sector "Energía".

Como se explicó en el Capítulo 2, la metodología aplicada a este sector fue la publicada en 1996 por el IPCC, no considerándose las guías de buenas prácticas publicadas el año 2003 por el IPCC, principalmente debido a carencia de los datos de actividad requeridos. Básicamente, el inventario incluyó las siguientes categorías:

- A. Gestión forestal: captura y emisión de carbono por expansión de biomasa (crecimiento) y extracción de la biomasa (cosecha, disturbios), respectivamente,
- B. Conversión de biomasa boscosa: emisión de carbono y otros gases invernadero, producto del cambio de uso de suelos forestales a agrícolas, tanto para cultivos como para cría de ganado (como caso especial, se incluyó aquí la sustitución de bosque nativo por plantación forestal),
- C. Abandono de suelos: captura de carbono, por cambio de uso de suelos agrícolas a forestal,

- D. Cultivación de suelos: captura de carbono y emisión de gases invernadero, por la cultivación de suelos,
- E. Incendios forestales: emisiones de gases invernadero y captura de carbono, por incendios forestales de origen antrópico; en el caso de los incendios que afectan la vegetación natural, aunque se trata de áreas no manejadas <sup>A</sup>, a raíz de este disturbio se genera un cambio de uso del suelo, y
- F. Urbanización: captura de carbono y emisión de gases invernadero, por el cambio de uso de los suelos, de cualquier uso a urbano.

La metodología IPCC 1996 pone su énfasis en los procesos que afectan la biomasa aérea, tanto viva como muerta, pero dejando espacio para incluir la biomasa bajo la superficie del suelo si el país cuenta con los datos de actividad y factores de emisión que la metodología pide; en este caso, se trabajó con la biomasa aérea, excluyendo la subterránea por carencia de factores de emisión adecuados. La metodología exige que las emisiones sean contabilizadas con signo positivo, en tanto que las capturas lo sean con signo negativo. Cabe señalar que, en las figuras, se identifica este sector con la sigla "LUCF", que corresponde a la sigla en inglés del nombre original del sector <sup>B</sup>; su empleo se hace sólo para facilitar la titulación de las figuras, evitando la reiteración de un nombre tan largo.

Finalmente, es preciso dejar establecido que este sector es, junto con el de "Desechos", el más débil, en cuanto a datos de actividad, por la incidencia de los siguientes factores:

- el país no cuenta con estadísticas de los cambios anuales de uso de los suelos, por lo que se debió trabajar sobre estimaciones aportadas por la CONAF, tanto para esta oportunidad como para la elaboración de la serie temporal 1984-1998,

---

<sup>A</sup> De acuerdo al PICC, se debe contabilizar flujos de gases invernadero solo desde áreas intervenidas por el ser humano, dejando fuera las no intervenidas a menos que el país tenga antecedentes para actuar en forma diferente.

<sup>B</sup> Land Use Change and Forestry. Después de la publicación de las Guías de Buenas Prácticas para este sector, en 2003, este sector pasó a denominarse "Land Use, Land Use Change and Forestry" (LULUCF). La metodología 2006 lo fusionó con Agricultura, generando un gran sector llamado "AFOLU" (Agricultura, Forestry and Land Uses)

- de acuerdo a la CONAF, la información oficial sobre superficie de bosque nativo manejado, o sea, con planes de manejo forestal aprobados por ella, es inferior a la superficie total de bosque nativo bajo algún tipo de manejo,
- el país no cuenta con datos de actividad paramétricos que permitan contabilizar los cambios en bancos de carbono distintos de la biomasa forestal aérea,
- la información sobre cosecha forestal está agregada a nivel nacional, por lo que su desagregación a un nivel regional puede conllevar un cierto grado de error, y
- finalmente, no existe información objetiva acerca del origen de la leña, aunque a juicio de expertos proviene del bosque nativo mayoritariamente.

## 2. VISIÓN GLOBAL DEL SECTOR

La **Figura 6.1.** muestra la evolución de las emisiones y capturas brutas, además del balance global, dentro de la serie temporal construida. Puede verse que, tanto las emisiones como las capturas brutas manifiestan tendencias crecientes, con un balance neto que, no obstante importantes variaciones interanuales, tiende a mantenerse en un mismo nivel de captura neta. El balance neto se mantuvo siempre en el área de las

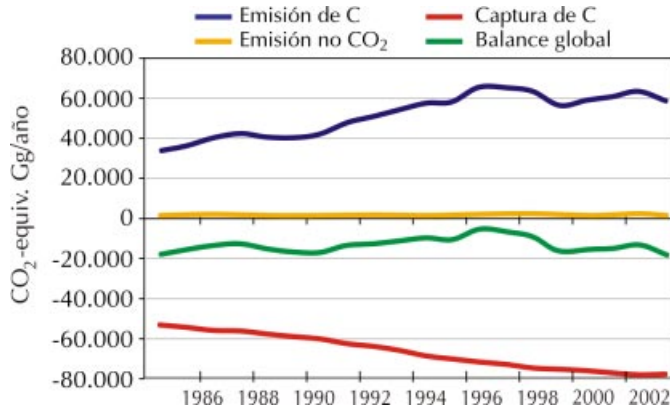


Figura 6.1. Balance del flujo de gases invernadero en el sector LUCF

capturas, fluctuando entre -18.317 y -18.182 Gg CO<sub>2</sub>-equiv, entre 1984 y 2003, con un mínimo de -5.046 Gg CO<sub>2</sub>-equiv, en 1996.

No obstante, este balance prácticamente inalterado está conformado por dos curvas antagónicas que manifiestan crecimiento dentro de la serie temporal: por un lado, la emisión de CO<sub>2</sub>, que creció de 33.773 a 58.542 Gg CO<sub>2</sub>-equiv, con un máximo de 65.290 Gg CO<sub>2</sub>-equiv, en 1996, y por el otro, la captura de carbono, que también creció entre -53.288 y -77.796 Gg CO<sub>2</sub>-equiv. Queda en evidencia que la emisión de gases no-CO<sub>2</sub> (básicamente, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), producidas en la quema de biomasa, es una fuente menor de gases invernadero, con contenidos fluctuantes entre 1.072 y 2.109 Gg CO<sub>2</sub>-equiv

La alta variabilidad interanual -mostrada por la curva de las emisiones y reflejada en la de balance global- es explicada mayoritariamente por los incendios forestales, cuya incidencia varía substancialmente entre años consecutivos.

La **Figura 6.2.** muestra que la principal fuente de emisión de gases invernadero es lejos la gestión comercial (léase, la cosecha forestal), con un significativo incremento de su importancia relativa del 52 al 82%, entre el inicio y el término de la serie temporal. Como consecuencia de este incremento, las otras categorías contribuyentes reducen sus aportes relativos, especialmente los incendios forestales -la segunda fuente de emisión- reducen su aporte del 28%, en 1984, al 8%, en 2003. De

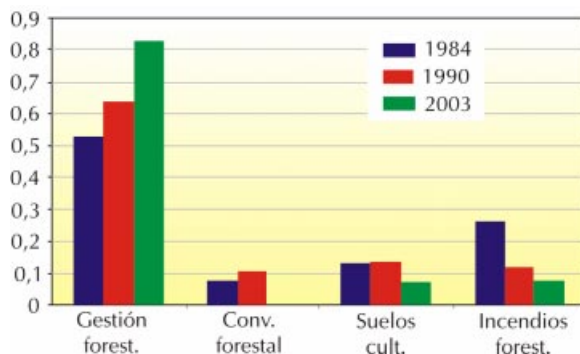
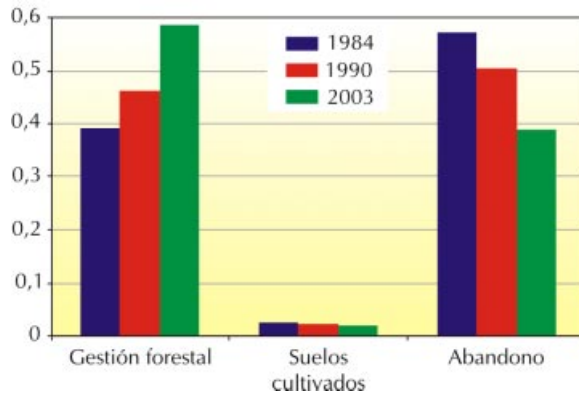


Figura 6.2. Contribución de categorías a las emisiones del sector LUCF

esta figura, se excluyó las emisiones de la categoría "Urbanización" debido a que su importancia relativa, en los tres años mostrados, estuvo por debajo del 1%.

En cuanto a la captura de carbono atmosférico <sup>A</sup>, la **Figura 6.3.** indica que, si se toman los años extremos de la serie construida, hay dos situaciones distintas: mientras en 1984, la principal categoría capturadora fue la de "Abandono de suelos" (aporte relativo del 57%), en 2003 esta condición la asumió la categoría de "Gestión Forestal", fundamentalmente, la expansión de la biomasa aérea en plantaciones forestales (59% de participación relativa). Las restantes categorías que capturan carbono -conversión de bosques, cultivación de suelos e incendios forestales- participan con aportes menores, a tal grado que dos de ellas no fueron incluidas en la figura, por aportar con menos del 1% de las capturas totales del sector.



*Figura 6.3. Contribución de categorías a las capturas del sector LUCF*

Al hacer el mismo análisis con el balance, la **Figura 6.4.** muestra que, en 2003, todas las categorías para las que se contabilizan flujos de carbono en ambos sentidos, presentaron balances netos favorables a la emisión, situación distinta de 1984 y 1990 para la gestión forestal y que empezó a revertirse a contar de 1991. También, llama la atención

<sup>A</sup> El PICC no considera la captura de gases distintos al anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>)

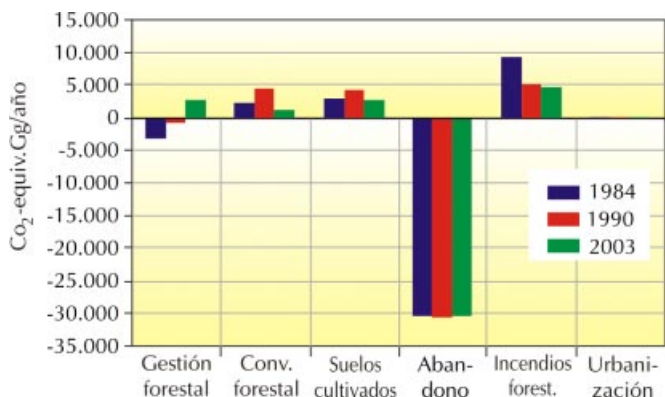


Figura 6.4. Balance neto por categoría del sector LUCF

el decrecimiento en el tiempo de la condición de emisora neta de la conversión forestal hacia el año 2003, luego de un ascenso entre los años 1984 y 1990; ello está indicando una tasa anual decreciente de habilitación y sustitución de bosques.

Vistos desde la perspectiva del balance neto, los incendios forestales, no obstante su alta variabilidad interanual, son la principal fuente emisora neta de gases invernadero, en tanto que la mayor captura neta de carbono desde la atmósfera radica claramente en la categoría que agrupa los suelos cuyo uso revierte a forestal, por abandono de las actividades agrícolas; para esta categoría, la metodología de cálculo no contempla emisiones de gases invernadero.

### 3. ANÁLISIS POR CATEGORÍA

#### 3.1. Gestión forestal

El nombre oficial de esta categoría -"Cambios en la biomasa forestal y de otros recursos leñosos"- fue sintetizada como "Gestión Forestal". Reconoce dos instancias contrapuestas en sitios con manejo o influencia antrópica: por un lado, la expansión de la biomasa forestal (crecimiento de plantaciones forestales y recuperación del bosque nativo manejado) y, por otro, la reducción de la biomasa forestal, equivalente a la cosecha

anual y a disturbios antrópicos o naturales, como serían los incendios forestales; por su importancia, los incendios fueron contabilizados separadamente. Por tanto, se trata de una categoría que contabiliza:

- captura de carbono atmosférico, expresada como  $\text{CO}_2$ , por la expansión de la biomasa forestal (plantaciones forestales, bosque nativo manejado, árboles urbanos, árboles rurales no forestales),
- emisión de carbono a la atmósfera, también expresada como  $\text{CO}_2$ , por la cosecha forestal,
- emisión de gases trazas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NOX}$ ,  $\text{COVNM}$ ), por la quema de leña, y
- emisión de gases trazas por la disposición de los residuos generados durante la explotación forestal <sup>A</sup>.

Dado que este último tema no está considerado explícitamente en la metodología del PICC de 1996, se decidió abrir una nueva categoría - la de "Gestión de Residuos Forestales"- donde se concentran las emisiones de gases trazas estimadas por la incidencia del fuego sobre la esta biomasa residual. Para evitar dobles contabilidades, las emisiones de  $\text{CO}_2$  -que la quema genera físicamente- son informadas pero no contabilizadas.

Cabe hacer notar que el concepto de expansión de biomasa es aplicable no solo a la aérea sino que también, a la biomasa radicular y al carbono del suelo; sin embargo, por falta de factores de expansión por defecto o nacionales, estas últimas dos clases de biomasa o carbono orgánico quedaron fuera de consideración.

### **A. Expansión de la biomasa forestal**

Esta subcategoría contabiliza la captura de carbono atmosférico, a través de la fotosíntesis vegetal. En esta sub-categoría, debe informarse la captura desde la superficie forestal manejada; en el caso de Chile, esta superficie manejada está compuesta por las plantaciones forestales y el bosque nativo manejado, a la que se agregan los huertos frutales y los

---

<sup>A</sup> Ello no considera los residuos generados en aserraderos, ya que es una actividad que queda fuera del alcance de la gestión forestal

árboles urbanos. Con relación a los huertos frutales, es necesario puntualizar que se contabiliza solo el incremento anual neto, correspondiente al fuste de los árboles, excluyéndose todo lo que se renueva año a año y que corresponde básicamente a residuos de poda y hojarasca, biomasa muerta que es contabilizada en el Sector de Agricultura.

Como muestra la Figura 6.3., en 2003 esta categoría subió su importancia relativa entre 1984 y 2003, de 39 a 59%, llegando a ser la importante. La **Figura 6.5.** muestra que la captura por la expansión de la biomasa forestal es creciente a lo largo de la serie temporal, en tanto que la de abandono de suelos se mantiene constante. Este último hecho no debe extrañar ya que los datos de actividad que la sustentan corresponden a un valor constante, a lo largo de la serie temporal, que identifica a la superficie cubierta de renovales, indicada por el Catastro del Bosque Nativo, elaborado por la CONAF. Por otra parte, la figura también refleja que el aporte de otras categorías (conversión forestal, incendios forestales, suelos cultivados) es menor y prácticamente irrelevante.

Puede verse que la captura total muestra una tendencia creciente, entre -51.876 y -76.038 Gg CO<sub>2</sub>-equiv por año, aunque pareciera ir tendiendo hacia un equilibrio hacia los años finales de la serie. Básica-

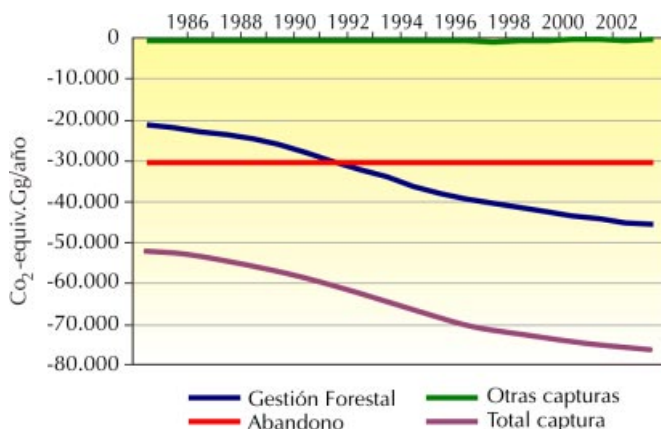


Figura 6.5. Evolución de las capturas de C por las dos categorías más contribuyentes



mente, el crecimiento se debe al incremento experimentado por la expansión de biomasa forestal, la que más que se duplica entre 1984 y 2003 (de -20.983 a -45.631 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año). Los suelos abandonados aportan una importante cantidad Las otras categorías, de C capturado pero que permanece prácticamente constante a lo largo de la serie temporal (variando entre -30.325 y -30.685 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año). Las otras categorías, para las que es posible contabilizar capturas, hacen en conjunto un aporte menor fluctuante entre -345 y -502 CO<sub>2</sub>-equiv/año.

La **Figura 6.6.** indica que claramente la principal fuente de captura corresponde a las plantaciones forestales que, en conjunto, aportaron entre el 95 y 97% del carbono atmosférico capturado. El aporte del bosque nativo manejado, así como el de los huertos frutales y los árboles urbanos, es mínimo, repartiéndose entre el 3 y el 5% restante del carbono capturado. Se recuerda que los datos de actividad sobre bosque nativo manejado tienen una alta incertidumbre y, a juicio de expertos, están subestimando fuertemente la real superficie del bosque nativo bajo manejo antrópico.

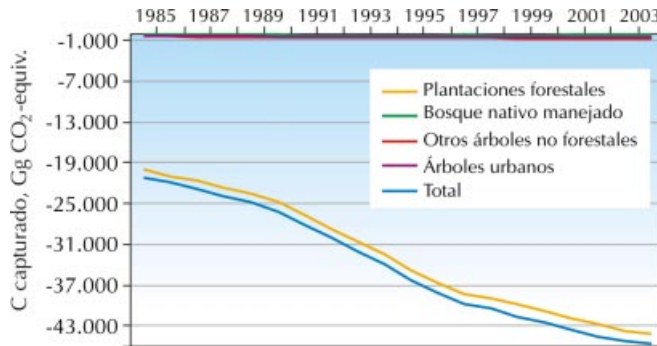


Figura 6.6. Contribución de las sub-categorías a la captura de C por Gestión Forestal

La **Figura 6.7.** muestra que, dentro de las subcategorías menores, el bosque nativo manejado es la de menor impacto, lo cual se contradice, de alguna forma, con la percepción que tiene la sociedad chilena res-

pecto de la gestión productiva que se hace de este recurso natural; esta es otra evidencia de una posible -y altamente probable- subestimación del área de bosque nativo manejado, por parte de la autoridad forestal nacional. La tendencia creciente mostrada por las otras dos subcategorías se explica por la expansión en la superficie de huertos frutales y patronales, por una parte, y por el crecimiento constante de la superficie urbanizada, por la otra.

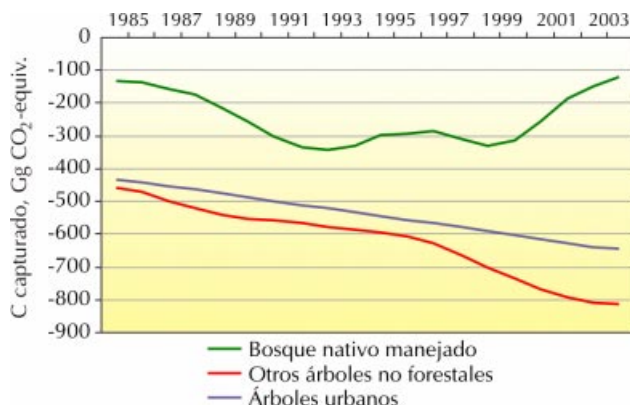


Figura 6.7. Contribución a la captura de C de las sub-categorías menores de la gestión forestal

La captura de carbono de las plantaciones forestales aumentó entre 1984 y 2003, de -19.951 a -44.052 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año, con una tasa de incremento del 121% (Figura 6.8). No obstante ser la especie arbórea forestal más importante y que mantiene una tendencia creciente, aunque con una clara desaceleración a contar de 1992, la captura de carbono por el pino insignie es la que manifiesta la menor tasa de incremento a lo largo de la serie temporal (46%).

Por el contrario, la captura de carbono de las plantaciones de eucalipto es la que más crece en la serie temporal: 840% de incremento, significando un aumento de -1.686 a -15.841 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año. No obstante que las otras especies (álamos, especies nativas, otras especies) mantienen una baja captura, su incremento a lo largo de la serie temporal no deja de ser importante: +291%, con un incremento entre -602 y -2.357 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año.

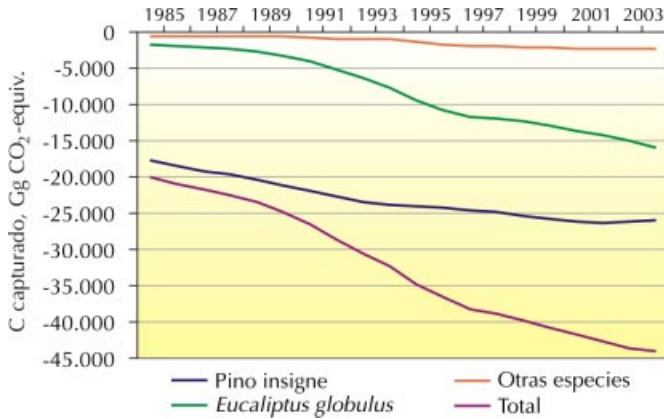


Figura 6.8. Contribución de las especies de árboles forestales, a la captura de C por la gestión forestal

La **Figura 6.9.** muestra como se distribuye la captura de carbono, por la gestión forestal, a lo largo del país. De acuerdo a esta figura, la captura máxima de carbono se da en la VIII Región, con una importancia creciente en el tiempo, seguida de sus regiones vecinas; al 2003, ellas tres acumulan el 74% de la captura forestal. Se trata de las tres regiones con mayores superficies de plantaciones forestales; es interesante señalar, además, que la captura en la X Región es debida, fundamentalmente, al bosque nativo manejado.

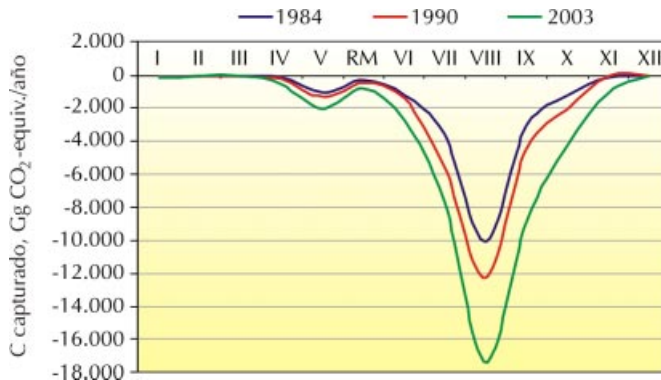


Figura 6.9. Distribución regional de la captura de carbono, por la gestión forestal

## B. Cosecha forestal

A contar de los 80's, Chile ha venido experimentado una fuerte expansión de la cosecha forestal. De acuerdo a las estadísticas oficiales, la cosecha aumentó 158%, entre 1984 y 2003, pasando de 14,88 a 38,46 millones m<sup>3</sup> de biomasa forestal comercial; la biomasa eliminada es mayor, ya que debe considerarse los factores de expansión <sup>A</sup> que, para efectos de este estudio, fluctuaron entre 1,56 (eucalipto) y 1,75 (bosque nativo). Otro elemento que queda en evidencia, aún asumiendo la alta incertidumbre de los datos de actividad asociados, es la baja y descendente participación del bosque nativo en la generación de productos forestales, lo cual es debido al incremento sostenido de la superficie plantada con árboles forestales exóticos, mayoritariamente.

Según la **Figura 6.10.**, la mayor contribución a la cosecha forestal -y también, la que muestra la mayor expansión temporal- proviene de las plantaciones de pino insignie; su incremento global en la serie temporal alcanzó al 206%. Llama la atención que aún en 2003 y no obstante el fuerte incremento de la superficie en los últimos años, el eucalipto sigue teniendo una participación secundaria, aunque es evidente que subirá su importancia relativa en el tiempo; su tasa de incremento alcanzó al 301%, lo mismo que creció la cosecha de leña, la que corres-

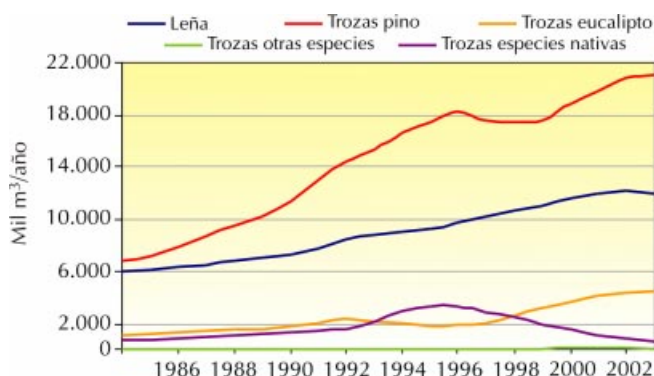


Figura 6.10. Evolución temporal de los productos de la cosecha forestal

<sup>A</sup> Aplicados para estimar la biomasa total (esto es, comercial más residual o no comercial)

ponde al segundo producto forestal, después de las trozas de pino insigne. Las trozas de especies nativas, al 2003, equivalen al 90% de lo producido en 1984 y al 21% de lo producido en 1995, año a partir del cual se inició una sostenida disminución en su producción.

Las tendencias mostradas en esta figura se reproducen al calcular el CO<sub>2</sub> emitido por cada componente de la cosecha forestal, lo que se muestra en el **Cuadro 6.1**. De acuerdo a la metodología del PICC aplicada, se debe asignar toda la cosecha forestal, como carbono emitido el mismo año de la cosecha, además de contabilizar las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub>, producto de la combustión de la leña, no obstante que ella ocurre a nivel domiciliario.

*Cuadro 6.1. Emisión de CO<sub>2</sub> por los productos forestales cosechados  
(en Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año)*

Producto	1984	2003	Valor máximo
Trozas de pino	8.903	27.229	27.229 (en 2003)
Trozas de eucalipto	2.229	8.904	8.904 (en 2003)
Trozas de otras especies	95	263	263 (en 2003)
Trozas de especies nativas	1.248	1.124	5.454 (en 1995)
Leña	5.521	10.983	11.175 (en 1992)

### C. Balance de la Gestión Forestal

La **Figura 6.11**, muestra el balance global de la categoría "Gestión Forestal", a lo largo de la serie temporal construida. De acuerdo a esta figura, existe un paralelismo entre el crecimiento de las emisiones de gases invernadero y las capturas de carbono atmosférico, lo que hace que tiendan a anularse; por ello, el balance neto entre ambos flujos tiende a mantenerse constante alrededor de un balance cero. En los últimos años, pareciera consolidarse una leve tendencia a la emisión neta, lo que significaría que la cosecha forestal estaría excediendo la expansión de la biomasa arbórea; sin embargo, ello podría estar reflejando una situación irreal, producto de la subestimación de la masa boscosa nativa con planes de manejo forestal, cuestión aludida precedentemente.

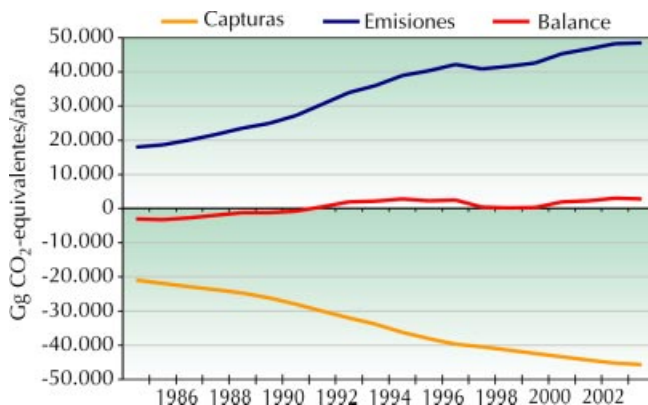


Figura 6.11. Balance global de la gestión forestal

Cuando el balance se hace para las plantaciones forestales, se obtiene el resultado que muestra la **Figura 6.12**. En este caso, el balance neto es favorable a la captura de carbono, el que fluctúa entre -5.852 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año, en 1984, y -6.279 CO<sub>2</sub>-equiv/año, en 2003, con un valor máximo de -10.796 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año, en 1997. Para conformar las emisiones, se excluyó las trozas de especies nativas y se consideró el 50% de la leña cosechada; no existiendo mejor información disponible sobre el origen de la leña, se asumió que la mitad proviene del bosque nativo y la otra mitad, de las plantaciones forestales. En todo caso, aún asumiendo que la totalidad de la leña provenga de las plantaciones forestales (situación no real), el balance neto seguiría siendo favorable a la captura.

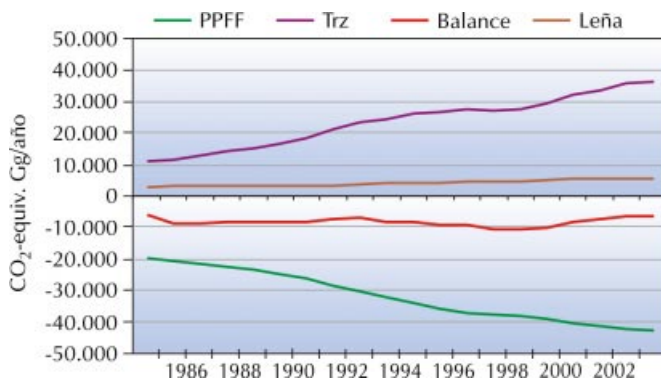


Figura 6.12. Balance neto de las plantaciones forestales

### 3.2. Gestión de residuos forestales

Bajo esta categoría, se considera la disposición de los residuos biomásicos que se generan durante la explotación forestal. De acuerdo a los algoritmos creados, para las plantaciones forestales y el bosque nativo manejado (ver Capítulo 3), hay dos fuentes de residuos forestales, a saber:

- podas y raleos, efectuados durante el período de crecimiento de las plantaciones y bosque nativo manejado, y
- biomasa no comercial residual, producida a la cosecha.

La gestión de los residuos forestales conduce a la estimación de emisiones de  $\text{CO}_2$  (no incluidos en el inventario) y gases no- $\text{CO}_2$ , correspondientes a metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), como gases de efecto invernadero, y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NOX}$ ), como gases precursores, todos ellos generados por una combustión incompleta. Las emisiones de estos gases se producen como consecuencia directa del uso del fuego, como medio para una rápida eliminación de la biomasa forestal no comercial o residual.

Como muestran las figuras 3.6. y 3.7. (en Capítulo 3), los residuos generados por la gestión productiva del bosque nativo no son eliminados con el fuego, lo que significa que las emisiones de los gases trazas, identificados arriba, sólo se producen en las plantaciones forestales; de acuerdo al algoritmo correspondiente (en Capítulo 3), el 20% de la biomasa total sintetizada en una plantación forestal es eliminada por el fuego. La **Figura 6.13.** indica que las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) son sostenidamente crecientes, lo que es debido a una creciente generación anual de residuos.

### 3.3. Conversión de bosques

Esta categoría fue compuesta por las siguientes sub-categorías:

- habilitación de suelos forestales, y
- sustitución del bosque nativo.

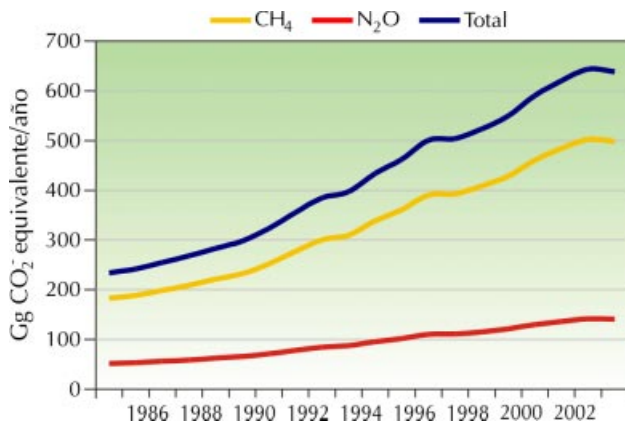


Figura 6.13. Evolución de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por la disposición de residuos forestales

Cabe hacer notar que la habilitación de suelos involucra una reducción real de la superficie forestal puesto que contempla el cambio de uso de forestal a agrícola. En cambio, la sustitución no involucra una reducción real de la superficie forestal pero si una reducción real de la superficie forestal nativa ya que significa el reemplazo de la formación vegetal boscosa natural por plantaciones con especies arbóreas exóticas. La superficie anual habilitada y substituida se presenta en la **Figura 6.14.**

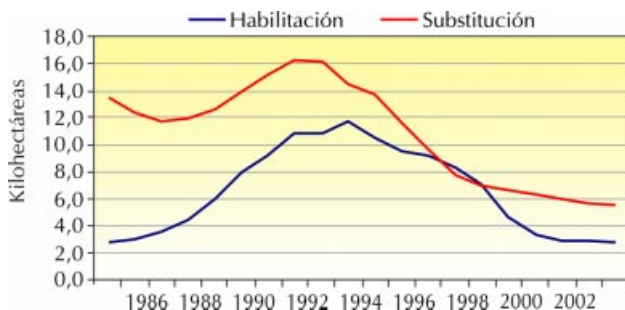


Figura 6.14. Superficie habilitada y substituida anualmente, en kha y como promedio de tres años



Tanto la habilitación como la sustitución son acciones que ocurren mayormente en suelos cubiertos con bosque nativo fuertemente degradado por acción antrópica; por ello, tienen un fuerte rechazo por parte de la población y, en especial, de organizaciones no gubernamentales ambientalistas. Ambas acciones, en todo caso, muestran una clara tendencia decreciente iniciada hacia los primeros años de los 90's. Según la Corporación Nacional Forestal (CONAF), la superficie anual habilitada creció hasta 1993, cuando alcanzó una cifra de 11,72 kha, para luego descender hasta alcanzar las 2,82 kha en el 2003, significando una reducción del 76,0%, respecto de 1994. Por su parte, la sustitución alcanzó un valor anual máximo en 1991, con 16,27 kha, para luego iniciar un sostenido descenso hasta las 5,55 kha, en 2003, con una reducción del 66%, respecto de 1991.

### A. Habilitación de suelos forestales

La **Figura 6.15.** muestra que el perfil regional de la superficie habilitada viene cambiando en el tiempo desde un máximo en la X Región de Los Lagos, los años 1984 y 1990, afectando al bosque nativo perennifolio y multiespecífico, hacia otro perfil con máximos en las regiones V, RM y VI, afectando fundamentalmente al bosque esclerófilo. En este último caso, una fracción importante de la superficie habilitada de bosque esclerófilo debe haber tenido, como destino, el establecimiento de huertos frutales, especialmente paltos y parronales en lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa.

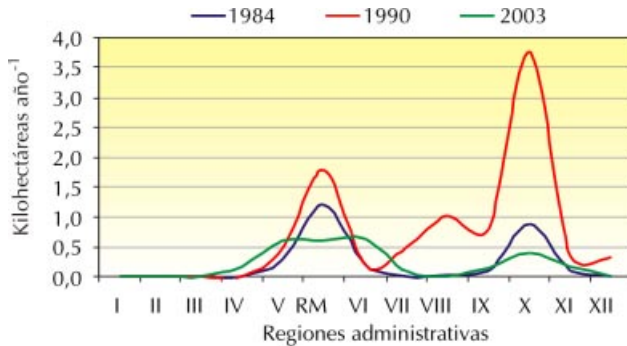


Figura 6.15. Distribución regional de la superficie habilitada anualmente

Según el algoritmo correspondiente (presentado en el Capítulo 3), el 50% de la biomasa aérea existente al momento de la habilitación es quemada en el campo (generando emisiones de todos los gases), el 5% termina mineralizándose sobre la superficie del suelo (generando solo emisiones de CO<sub>2</sub>) y el 45% restante es retirado del sitio con destinos finales off-situ (generando solo emisiones de CO<sub>2</sub>). La captura de carbono, que incluye el algoritmo, está representada por la actividad fotosintetizadora del cultivo establecido inmediatamente después de la habilitación.

Con los datos de actividad disponibles y el algoritmo creado para definir los flujos de la biomasa aérea por la habilitación, se estimaron las emisiones y capturas anuales, información que se incluye en la **Figura 6.16**. Puede verse que las curvas de emisión, especialmente la de CO<sub>2</sub>, son consistentes con la curva de habilitación anual (Figura 6.14.). La principal fuente de emisión es el carbono orgánico de los suelos (promedio de 76%), seguido por el carbono de la biomasa (promedio de 26%). Las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub> son menores, no superando los 125 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año, lo que equivale al 2%, en promedio, de las emisiones brutas de la sub-categoría. En este análisis, se excluyó el carbono contenido en la biomasa retirada del sitio y usada para otros fines, con el objeto de evitar duplicidades con los datos de cosecha forestal.

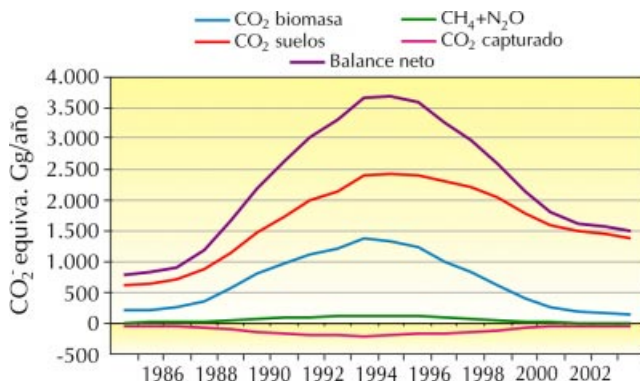


Figura 6.16. Evolución de los flujos de gases invernadero, por habilitación de suelos

## B. Substitución del bosque nativo

Para la elaboración de la serie temporal 1984/2003, la CONAF no aportó información, por lo que se debió trabajar con los datos de actividad tenidos a disposición para la elaboración de la serie 1984/1998 de inventarios anuales, estimado los valores post-1998 según análisis de tendencias.

La substitución ocurre mayoritariamente en sitios donde el bosque nativo ya ha sido degradado por acción humana y su explotación comercial ha dejado de ser rentable. Según la **Figura 6.17.**, adicionalmente a la disminución sostenida en la superficie afectada, el perfil longitudinal también viene modificándose, especialmente por la reducción experimentada por el segundo máximo, situado en la VIII Región del Bío-Bío. Todos los años, el máximo absoluto se vinculó con la X Región de Los Lagos.

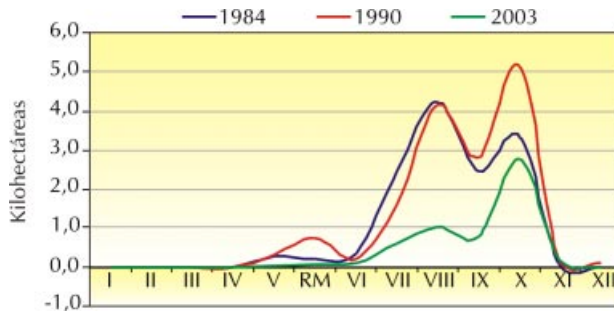


Figura 6.17. Distribución de la superficie substituida anualmente

La **Figura 6.18.** presenta las curvas de evolución temporal de las emisiones y capturas de CO<sub>2</sub> y emisiones de gases no-CO<sub>2</sub>. Las emisiones de gases invernadero de esta sub-categoría, al igual que en la habilitación, están dominadas por las emisiones de carbono orgánico de los suelos (promedio de 82%), seguidas por el carbono emitido por la biomasa (promedio de 17%). Igualmente, las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub> son menores, no superando los 100 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año, lo que no alcanza a equivaler al 2%, en promedio, de las emisiones brutas de la sub-categoría. Tal como se hizo para la habilitación, se excluyó el carbono de la biomasa retirada del sitio y usada para otros fines, con el

objeto de evitar duplicidades con los datos de cosecha forestal; como dato ilustrativo, el carbono contenido en la biomasa retirada del sitio significa una cifra cercana a los 3.000 Gg CO<sub>2</sub>-equiv/año.

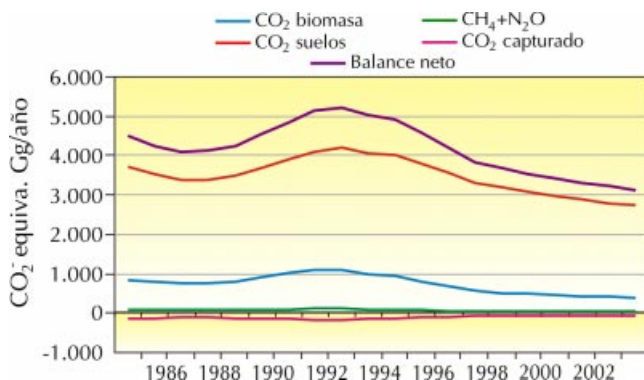


Figura 6.18. Evolución de las emisiones anuales de gases invernadero por sustitución del bosque nativo

### 3.4. Incendios forestales

La incorporación de los incendios forestales al inventario de gases invernadero, obedece al hecho que la CONAF -autoridad oficial, en relación al patrimonio forestal- considera que la totalidad de los incendios en el país son de origen antrópico. Al analizar los destinos de la biomasa forestal, por cada acción ejecutada (ver Capítulo 3), se concluyó que las acciones generadas por los incendios forestales, eran diferentes según fuere la vegetación afectada, a saber:

- " si el incendio afecta una plantación forestal, se generará una reacción inmediata conducente a restituir la plantación quemada; con ello, la superficie continuará contabilizándose como plantada con especies forestales, e
- " si el incendio afecta vegetación natural, se producirá por defecto una acción de abandono, puesto que la superficie incendiada no será objeto de acciones de recuperación y la cobertura vegetal quedará librada a un proceso de regeneración natural; por ello, esta superficie pasa a ser contabilizada en la categoría de abandono de suelos, al año siguiente del incendio.

Las emisiones netas de gases invernadero, correspondiente al balance entre las emisiones brutas (de anhídrido carbónico y gases no-CO<sub>2</sub>) y la captura de carbono atmosférico, en el primer año de recrecimiento de la vegetación, muestran una gran variabilidad interanual, no obstante haber constituido los datos anuales de superficie incendiada como el promedio de tres años consecutivos.

Como muestra la **Figura 6.19.**, las emisiones por quema de vegetación natural son permanentemente mayores a las de plantaciones forestales. Esto puede explicarse por el hecho que las empresas forestales cuentan con brigadas anti-incendios forestales, situación que no tiene parangón en lo que se refiere a la vegetación natural, sobre todo si se encuentra fuera de las áreas silvestres protegidas. Así como existe una alta variabilidad interanual a nivel nacional, también existe una alta variabilidad en la incidencia anual de los incendios dentro de una misma región administrativa. La **Figura 6.20.** muestra que la distribución longitudinal de las emisiones por incendios forestales no es la misma cada año aunque, en la mayor parte de las veces, el máximo se da en la VIII Región.

En términos de CO<sub>2</sub>-equiv, las emisiones están compuestas por anhídrido carbónico (91%), metano (8%) y óxido nítrico (1%), estos últimos vinculados exclusivamente a la combustión incompleta de la biomasa.

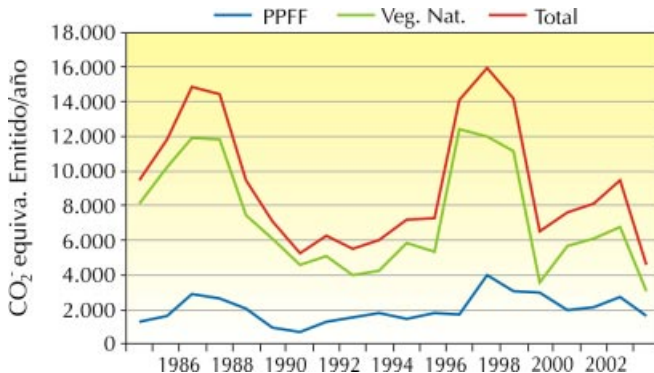


Figura 6.19. Evolución de las emisiones netas por los incendios forestales

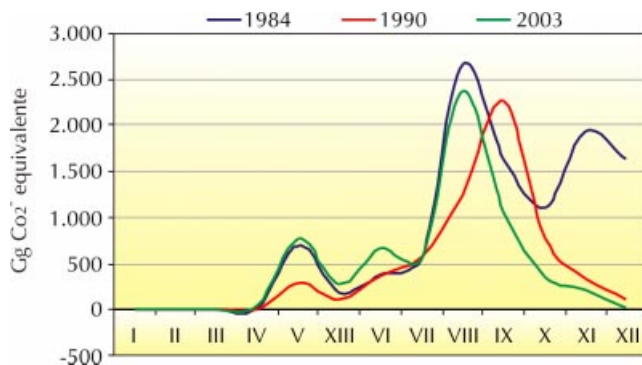


Figura 6.20. Distribución regional de las emisiones netas, por incendios forestales

Aún cuando no se muestran todas las regiones administrativas, la Figura 6.19., permite definir las regiones con mayor incidencia de incendios forestales. De acuerdo a los datos disponibles para el 2003, el ranking de las regiones con mayor incidencia es el siguiente:

VIII (37%) > IX (17%) > V (12%) > VI (10%) > VII (9%).

### 3.5. Suelos cultivados (forestales y agrícolas)

Esta categoría engloba las emisiones desde y capturas de carbono hacia los suelos, como resultado de cambios de uso de los suelos (habilitación, sustitución, abandono), de la cultivación de suelos minerales y orgánicos y aplicación de fertilizantes y/o enmiendas; en consecuencia, esta categoría solo contabiliza flujos de carbono -expresados como CO<sub>2</sub>- desde y hacia los suelos. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen como resultado de la oxidación de substratos orgánicos incorporados (composts, lodos, residuos de cosechas) no se contabilizan -aunque deben informarse- ya que volverán a ser capturados en el siguiente ciclo agrícola.

En el caso de Chile, se contabilizó emisiones por conversión de suelos forestales (léase, habilitación y sustitución, aunque fundamentalmente del primero) y por uso de cal agrícola, y capturas por abandono de

suelos cultivados. La **Figura 6.21.** muestra la evolución temporal de las emisiones y capturas de carbono por los suelos desde las fuentes ya señaladas.

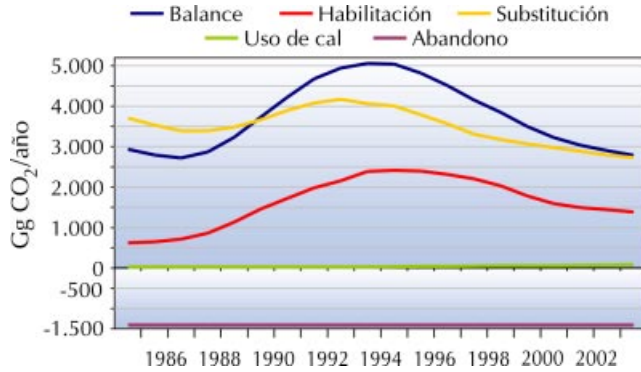


Figura 6.21. Evolución de los flujos de carbono en los suelos

Puede verse que el balance es sostenidamente favorable a las emisiones, lo que significa que el país está perdiendo carbono de los suelos, no obstante la importante captura de los suelos abandonados. El balance oscila a lo largo del período estudiado, siguiendo básicamente las variaciones de la habilitación y sustitución; las emisiones por uso de cal son mínimas y no tienen mayor impacto sobre el balance, a pesar de casi cuadruplicarse entre 1984 y 2003 (88 Gg, en 2003, versus 22 Gg, en 1984). El que las emisiones de carbono desde los suelos substituidos refleja el hecho, no está tanto vinculado a las superficies afectadas por esta acción y por habilitación sino que, fundamentalmente, el que los suelos donde ocurre la substitución se centra en la zona sur, principalmente, siendo mucho más ricos en carbono que los suelos donde ocurre la habilitación, que están centrados en las regiones centrales.

Debido a la preponderancia de las acciones englobadas en la categoría de conversión de suelos forestales, las emisiones netas de carbono de los suelos siguen la distribución regional de las emisiones de la habilitación y substitución, especialmente desde esta última. Concordantemente, los mayores volúmenes emitidos se generan desde la X Región, condición que se acentúa en 2003, seguida por las regiones VIII, IX y VII, que muestran una importancia menor en 2003, respecto del 1984.

Hay algunas regiones (XII, XI, IV y III, en orden de importancia decreciente) que manifiestan un balance favorable a la captura (ver **Figura 6.22.**).

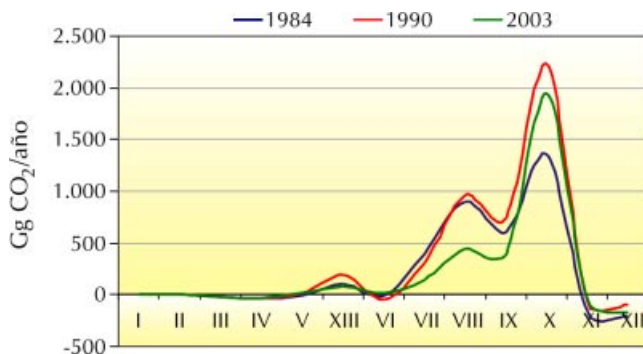


Figura 6.22. Distribución regional del balance del flujo de C en los suelos

### 3.6. Abandono de suelos

El **Cuadro 6.2.** presenta la superficie que el país puede contabilizar como abandonada, en los dos períodos que contempla la metodología:

- en los últimos 20 años, la superficie con vegetación natural incendiada, y
- en el período de 80 años, extendido entre 20 y 100 años antes, la superficie cubierta con renovales donde se mantiene el proceso de regeneración de la biomasa forestal original.

En el primer caso, para cada año de la serie la superficie fue compuesta por aquella incendiada acumulada en los 20 años anteriores, incluyendo el año inventariado. Para 1984, el valor fue compuesto por la superficie incendiada ese mismo año multiplicada por un factor 20; para el año 1985, el factor aplicado a la superficie del año fue 19 sumándosele la del año 1984 y así, sucesivamente.

Al elaborar la serie temporal 1984/98 (INIA-CONAMA, 2000), se consideró un factor de descuento, por el hecho que anualmente se vuelve a incendiar una parte de la superficie incendiada en años anteriores.



En esta oportunidad, no se aplicó el factor de descuento, ya que las buenas prácticas no lo permiten al no haber información objetiva de respaldo.

En relación a la superficie asignada a la clase "últimos 100 años", fue conformada por la superficie que el "Catastro de uso del Suelo" de CONAF/CONAMA asigna a la categoría de renovales. Esta superficie fue asignada todos los años del período de trabajo, aunque la fracción mayoritaria excede de los 100 años; sin embargo, la condición de renoval permite precisar que se encuentra aún capturando carbono atmosférico.

*Cuadro 6.2. Superficie considerada como abandonada (kha)*

Año	=< 20 años <sup>(1)</sup>	De 20 a 100 años y + <sup>(2)</sup>
1984	976,38	4447,67
1985	986,72	4447,67
1986	998,44	4447,67
1987	1019,39	4447,67
1988	1020,87	4447,67
1989	1021,30	4447,67
1990	1002,16	4447,67
1991	989,06	4447,67
1992	979,57	4447,67
1993	969,61	4447,67
1994	957,65	4447,67
1995	935,02	4447,67
1996	933,65	4447,67
1997	939,92	4447,67
1998	942,04	4447,67
1999	918,02	4447,67
2000	894,34	4447,67
2001	877,15	4447,67
2002	868,97	4447,67
2003	852,37	4447,67

<sup>(1)</sup> Superficie incendiada en los últimos 20 años

<sup>(2)</sup> Superficie cubierta con renovales de bosque nativo, según Catastro CONAF/CONAMA

Como muestra la **Figura 6.23.**, la mayor parte de la captura corresponde a los renovales, que han sido desagregadas según el porcentaje de cobertura y edad de los árboles. Si bien la relación entre ambas fuentes, en términos de superficie fluctúa entre 4 y 4,5, la relación en términos de captura de carbono es substancialmente mayor, básicamente por las mayores tasas de crecimiento de la biomasa asignadas a las formaciones de renovales.

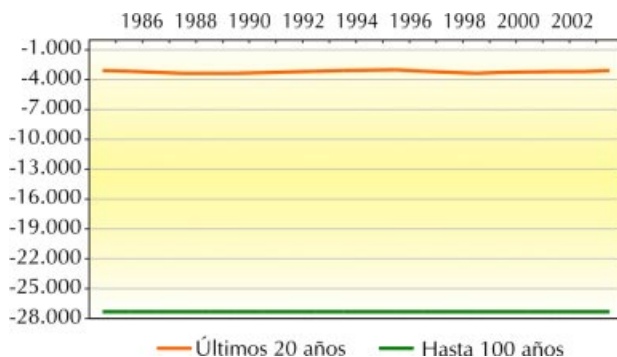


Figura 6.23. Evolución de la captura de C en suelos abandonados

La captura de carbono que ocurre en los suelos abandonados, se excluyó de la Figura 6.23., debido a que se contabiliza en la categoría de "Suelos cultivados (forestales y agrícolas)". Para esta fuente, se estimó una captura anual de 1.412 Gg  $\text{GO}_2$  los que, sumados a la captura por regresión de la vegetación natural, eleva el total de carbono capturado por abandono de suelos, de 30.500 a 32.000 Gg/año.

Se trata, en consecuencia, de la mayor fuente de captura de carbono atmosférico con que cuenta el país. A ella, se podría sumar una extensa superficie aptas para forestación o reforestación, proceso que podría implementarse fines exclusivos de captura de carbono desde la atmósfera; es el área de suelos degradados por procesos erosivos, principalmente, debido a la eliminación de la cubierta forestal o sobretalajeo animal.

### 3.7. Urbanización

Las nuevas guías metodológicas del 2006 reconocen a esta categoría como "Emplazamientos humanos <sup>A</sup>" e involucra a todas las tierras que han cambiado desde otros usos a emplazamientos humanos. Por tanto, la incorporación de esta categoría en los inventarios nacionales desde la elaboración del primer inventario en 1997, se anticipó a lo que hizo posteriormente el PICC.

La urbanización, entendida como la expansión de áreas urbanas o de residencia humana permanente, es un proceso de baja magnitud en los países desarrollados pero de gran relevancia, en los países en desarrollo.

En el caso de Chile, el inventario contabilizó las siguientes dos fuentes de emisiones de gases invernadero, en esta categoría:

- expansión de centros urbanos ya consolidados, y
- creación de áreas residenciales en sectores rurales, conocidas como condominios rurales o parcelas de agrado.

En ambos casos, se trata de contabilizar la pérdida o reducción del potencial de dichas áreas para sustentar una cubierta vegetal que, hasta el año anterior, correspondió a cultivos, praderas o vegetación natural. Para la primera alternativa, se asumió una pérdida total, en tanto que para los condominios rurales y parcelas de agrado, se aplicó un factor 0,5.

Las curvas de evolución anual de las emisiones de anhídrido carbónico (**Figura 6.24.**) indican claramente que las parcelas de agrado y los condominios rurales son más importantes que las provenientes de la expansión urbana, propiamente tal.

Cabe señalar que se trabajó con el principio básico del método PICC, en el sentido que la superficie para condominios rurales se considera construida el mismo año de la aprobación del proyecto; se sabe, no

---

<sup>A</sup> En inglés, "Settlement"

obstante, que muchos proyectos demorarán varios años en concretarse, lo que se traduce en una sobre-estimación transitoria de las emisiones; sin embargo, la falta de información estadística sobre este hecho, hace imposible aplicar un criterio más preciso.

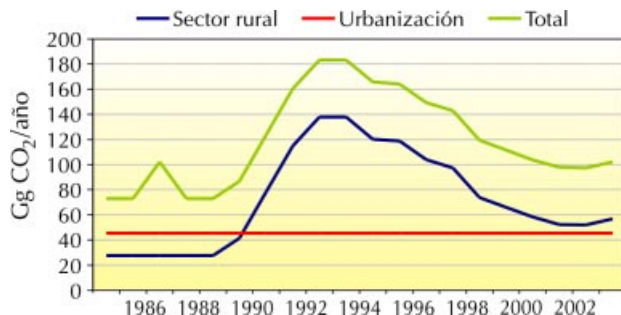


Figura 6.24. Evolución de la emisión de CO<sub>2</sub> por los procesos de urbanización

La **Figura 6.25.** indica que las regiones más incidentes en estas emisiones con aquellas con mayor población humana; por tanto, no debe extrañar que correspondan a la regiones Metropolitana (XIII) y V, con un segundo nivel en las regiones del centro-sur (VII y VIII). La importancia de la Región Metropolitana baja substancialmente entre 1984 y 2003, desde 40 a 29%; sin embargo, la situación durante 1990 fue diferente con una mayor incidencia de esta región en las emisiones por urbanización.

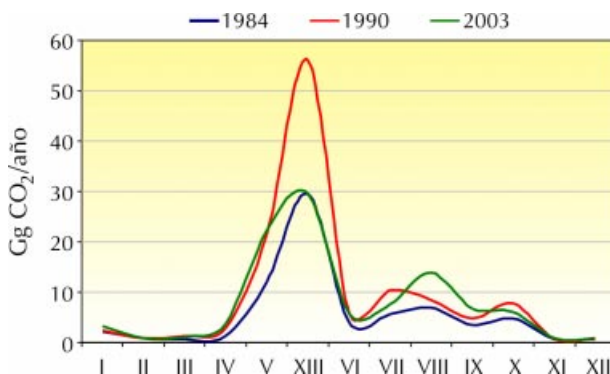


Figura 6.25. Distribución regional de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la urbanización

## 4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones alcanzadas, para este sector, son las siguientes:

- el Sector "Cambio de Uso de los Suelo y Forestería" es el único para el que se contabiliza captura de carbono atmosférico, lo que ocurre tanto por la expansión de biomasa vegetal aérea como por el incremento del contenido de carbono en suelos que han sido abandonados, forestados o reforestados,
- se trata de un sector que conduce a estimaciones de emisiones y capturas con precisión y confiabilidad relativamente bajas, principalmente debido a la debilidad de los datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos,
- es especialmente importante señalar que pocos países en el mundo, incluyendo los desarrollados, publican estadísticas anuales sobre el cambio de uso de los suelos, lo que debería obligar a los países a intentar la aplicación de herramientas de percepción remota y manejo de imágenes, para definir los cambios anuales en el uso de los suelos,
- las instancias estatales vinculadas al patrimonio forestal cuentan con estimaciones anuales sobre los diversos cambios de uso de los suelos; sin embargo, esta información no es publicada y es de difícil acceso,
- por su riqueza forestal, Chile cuenta con bastante información sobre datos de actividad paramétricos, casi la totalidad de ellos referidos a plantaciones de árboles forestales y muy poco a las formaciones de bosque nativo,
- la elaboración de algoritmos de destino de la biomasa forestal facilitó la elaboración del inventario, por cuanto hubo una asignación más precisa de la biomasa forestal a las distintas categorías y subcategorías así como, también estimar las cantidades de biomasa residual de la explotación forestal; sin embargo, se requiere validar estos algoritmos, en una forma más rigurosa,
- a lo largo de la serie temporal construida, tanto la emisión como la captura brutas experimentaron incrementos, manteniendo en todo caso un balance favorable a la captura relativamente constante; las

oscilaciones en la curva de la emisión bruta son debidas a la incidencia anual de los incendios forestales, altamente fluctuantes entre años consecutivos,

- en cuanto a las emisiones brutas, predominantemente efectuadas en la forma de  $\text{CO}_2$ , la principal categoría contribuyente es la gestión forestal (específicamente, la cosecha forestal), con un aporte que creció del 51%, en 1984, al 81%, en 2003; la segunda categoría contribuyente es la de los incendios forestales, con una participación anual relativa fluctuante entre 11%, en 2003, y 39%, en 1986,
- en cuanto a la captura bruta de carbono atmosférico, las dos principales categorías contribuyentes son la gestión forestal (expansión de la biomasa vegetal aérea, básicamente en las plantaciones forestales) y el abandono de suelos (predominantemente, la superficie cubierta con formaciones vegetacionales nativas con dominio de renovales), aunque con tendencias dispares: mientras la gestión forestal disminuyó su importancia del 59%, en 1984, al 39%, en 2003, el abandono de suelo manifestó la tendencia contraria, subiendo del 39 al 57%, en ese mismo período,
- la baja importancia de los procesos de pérdida de superficie forestal, incluyendo la reducción de aquella que sustenta el bosque nativo (habilitación de suelos para la agricultura; sustitución de bosque nativo por plantaciones forestales), está reflejando la menor presión que viene ejerciéndose sobre el bosque nativo, debido básicamente a la expansión de las plantaciones forestales, y
- la urbanización, si bien es importante desde el punto de vista de las necesidades de implementación de las áreas urbanizadas, es una categoría de menor importancia, desde la perspectiva del inventario de gases de efecto invernadero; es interesante destacar que una parte importante de las emisiones estimadas corresponden a las provenientes de los condominios rurales y parcelas de agrado.