

## Capítulo 5

### **Plantaciones forestales y ambiente: su importancia ante el Cambio Climático**

*Tomás Schlichter y Pablo Laclau*

#### **1-Introducción. La forestación en el marco de las estrategias para enfrentar el Cambio Climático**

Las evidencias del Cambio Climático y los consiguientes impactos ecológicos y socioeconómicos han determinado el desarrollo de distintas estrategias que permitan a la humanidad sobrellevar o atenuar los mismos. Básicamente se pueden agrupar a las mismas en dos grandes categorías: a) Mitigación del Cambio Climático, b) Adaptación al Cambio Climático.

La primera categoría, que se orienta a enfrentar las causas del Cambio Climático, incluye alternativas que tienden a disminuir el nivel de gases de efecto invernadero a través de su captura o secuestro, y otras intentan disminuir el flujo de los mismos hacia la atmósfera a través de reducción de emisiones. La reducción se puede producir -en el caso de los combustibles fósiles-, a través del aumento de la eficiencia en el uso de los mismos, o mediante su sustitución.

La adaptación al Cambio Climático comprende aquellas iniciativas que tienden a disminuir la vulnerabilidad de las sociedades humanas y sus actividades económicas a este fenómeno. Se trata de mantener la integridad de los ecosistemas y la actividad socioeconómica, es decir sobrellevar los efectos del Cambio Climático. A diferencia de lo que sucede con la mitigación, su definición es mucho más amplia y aún no están tan acotadas las vías a través de las cuales se puede cumplir con este objetivo. En los últimos años, la adaptación al cambio climático se ha constituido en una de las prioridades de investigación para las instituciones científicas de numerosos países.

Las actividades relacionadas con la Mitigación al Cambio Climático se han formalizado a nivel internacional en el denominado Protocolo de Kyoto, en el ámbito de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas, que propone mecanismos de mercado atacar algunas causas del Cambio Climático (ver más abajo).

En general se reconoce que el uso de la tierra y los cambios en el mismo pueden constituir mecanismos importantes para aumentar o disminuir emisiones. Los vegetales, a

través del proceso de fotosíntesis fijan CO<sub>2</sub> atmosférico transformándolo en materia contenida en compartimentos como raíces, tallos, hojas o ramas. A través de los procesos de senectud y descomposición una porción de este carbono se puede almacenar como materia orgánica en el suelo.

La mayoría de los cultivos o pasturas que son en definitiva consumidos por la humanidad, tienen una producción que raramente excede el lapso de un año en área determinada. Los cultivos anuales son cosechados al cabo de unos meses, y sus productos se consumen en un período relativamente corto, con lo cual tienen un efecto neutro sobre el CO<sub>2</sub> atmosférico. Lo mismo sucede con las pasturas manejadas con fines de producción animal. El rastrojo de los cultivos o el material seco o muerto de los pastizales y pasturas sufren un proceso de descomposición que resulta en el retorno de una porción importante de CO<sub>2</sub> (y otros gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso) a la atmósfera, mientras el resto puede incorporarse al suelo.

A diferencia de los cultivos agrícolas, las forestaciones mantienen una proporción considerable de carbono en estructuras lignificadas de alta permanencia como el fuste, raíces gruesas y ramas. En algunos casos estos compartimentos de almacenamiento son de sencilla medición y ello (junto con la permanencia) ha determinado su aceptación en convenciones internacionales para el comercio de —bonos de carbono“.

Por otro lado, la permanencia del carbono en estructuras producidas a partir de la madera de plantaciones, como casas y muebles, puede ser sumamente prolongada, y ello determina otra diferencia con los cultivos anuales. La madera resultante de las forestaciones se puede utilizar para fabricar material para la construcción de casas u otros fines estructurales. La producción de estos materiales es mucho menos costosa en el uso de energía, y por lo tanto de combustibles fósiles que los usados más frecuentemente en las grandes ciudades, por lo que el reemplazo de éstas, además de implicar el secuestro de carbono en las mismas estructuras resultaría en una disminución considerable en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los residuos de las plantaciones forestales, como los provenientes de las podas o raleos no comerciales, así como los que se producen en aserraderos y en otras transformaciones de la madera pueden contribuir a disminuir el flujo de gases efecto

invernadero hacia la atmósfera mediante su uso como sustitutos de combustibles fósiles.

Sin embargo también sería posible considerar otros usos de la tierra que tienen gran capacidad para acumular biomasa y en consecuencia, de secuestrar carbono. Es el caso de los pastizales de zonas templadas a subtropicales. Si se excluye al pastoreo de ganado doméstico de estos ecosistemas, la acumulación de biomasa puede ser rápida y considerable, aunque se deberían arbitrar los mecanismos de prevención del fuego toda vez que estos ecosistemas suelen existir en zonas donde los incendios naturales constituyen disturbios comunes. La facilidad de medición y la capacidad de acumulación de biomasa han determinado que hasta el momento sean reconocidos formalmente a nivel internacional sólo las plantaciones forestales como secuestradoras de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto pasibles de generar bonos de carbono para ser comercializados a nivel internacional.

No obstante, aún es una incógnita el impacto que pueden tener las plantaciones para mitigar el Cambio Climático a nivel global. Ello depende de la cantidad de tierras aptas para forestar con esos fines, de las tasas de crecimiento de los bosques y de los impactos sociales y ambientales que esta actividad pueda ocasionar sobre los mismos ecosistemas o sobre economías externas. Todos estos temas son objeto de discusión en los foros internacionales y es muy posible que los acuerdos logrados estén sujetos a ajustes periódicos, puesto que la mitigación del Cambio Climático constituye un nuevo paradigma sobre el cual no es posible establecer límites o restricciones definitivas. Por ello, cabe esperar que ocurran ajustes sucesivos para lograr que las acciones autorizadas, como la forestación y reforestación, sean efectivas en la remoción de gases efecto invernadero, y que a la vez no ocasionen efectos adversos de tipo ambiental o socioeconómico, o estos sean mínimos.

Por otro lado, la deforestación de masas boscosas nativas produce entre el 10 y 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo. Ello ha determinado una prolongada y complicada serie de negociaciones, aún no concluidas, tendientes al reconocimiento económico del reservorio de carbono por parte de los bosques nativos. Muchos de los que apoyan esta iniciativa argumentan que la remuneración a la *deforestación evitada* también contribuiría de manera importante al mantenimiento de la integridad de los ecosistemas, incluyendo todos los bienes y servicios que los mismos

producen

## 2- Forestaciones y secuestro de Carbono

Una plantación de árboles puede asimilarse a un cultivo plurianual, cuyo objetivo principal es por lo común, la producción de madera. Como se mencionó en la sección introductoria, en el transcurso de la rotación los árboles acumulan carbono en sus distintos compartimentos: hojas y frutos, ramas, tronco y raíces. También con la caída de material herbáceo o leñoso y con la mortalidad de plantas se añade carbono al sitio plantado, que parcialmente puede ser transferido al suelo orgánico. De este modo, la totalidad del carbono de estos compartimentos a nivel agregado en un rodal, puede distribuirse entre cuatro componentes principales: la biomasa aérea viva, la biomasa subterránea, el material muerto y el suelo orgánico.

Aún cuando los suelos pueden almacenar una gran cantidad de carbono orgánico debido a procesos relacionados con su morfogénesis, la mayor acumulación durante el crecimiento de una forestación ocurre en los constituyentes básicos del leño de los árboles: celulosa, hemicelulosa, lignina y otros compuestos organocarbonados acompañantes. Aproximadamente un 50% de la materia seca de la biomasa de un vegetal está constituido por carbono orgánico. Por ello, con el crecimiento de los árboles, el carbono acumulado aumenta. En los sistemas naturales donde los árboles crecen sin intervención del hombre, se alcanza en algún momento un balance entre el carbono que se acumula y el que se pierde por decaimiento y descomposición de tejidos muertos. En cambio, en plantaciones, la silvicultura aplicada tiende a prevenir el decaimiento durante la rotación establecida, de modo que el carbono acumulado suele crecer durante todo el ciclo, y como generalmente se tiende a regular las cortas finales cuando las tasas de crecimiento aún permanecen altas, no suele alcanzarse el máximo potencial de biomasa, y carbono acumulados.

En las primeras etapas de implantación, el secuestro de carbono atmosférico puede tener un balance negativo, dado que normalmente, una plantación de árboles reemplaza, abrupta o paulatinamente, a comunidades vegetales preestablecidas. En el caso de plantaciones donde se realiza roturación de suelos, las pérdidas de vegetación y la liberación de carbono del suelo, son inmediatas, al igual que cuando se amontona y quema

material vegetal. En cambio, en los casos que esta sustitución se realiza con mínimo laboreo -como por ejemplo con el hoyado para plantación únicamente-, la vegetación persiste hasta que el cierre del dosel y la competencia por agua y nutrientes la eliminan. Plantaciones mas ralas o raleos tempranos que disminuyan la cobertura arbórea, pueden resultar en una biomasa del sotobosque estable o aún creciente, debido a los efectos de facilitación, en especial en zonas áridas, que el bosque ejerce sobre la vegetación herbácea ante situaciones de estrés hídrico (Fernandez et al, 2006, Fernández et al 2007).

Presumiblemente la pérdida de carbono de los suelos será menor en estos sistemas de baja perturbación en la implantación que en sistemas con laboreo intenso.

Por lo tanto, el balance de carbono secuestrado en un momento dado de la rotación forestal será función entonces de (1) la cantidad de biomasa almacenada en la comunidad vegetal de reemplazo y su tasa de crecimiento, (2) el sistema de preparación de suelos empleado y los laboreos subsecuentes y (3) la cantidad de árboles establecido y su tasa de crecimiento. En consecuencia, el reemplazo por plantaciones forestales de bosques o matorrales densos - cuyo almacenaje de carbono es alto-, tenderá a un balance neutro o negativo de carbono, además de generar una serie de impactos ambientales adversos. Del mismo modo, los sistemas basados en un manejo forestal altamente intensivo con remoción de suelos y eliminación total de la vegetación acompañante, tendrían una tendencia similar, en este caso no solamente por la supresión de biomasa, sino también por la cantidad de emisiones de combustibles fósiles que genera el desplazamiento de vehículos, maquinaria y el uso de fertilizantes y otros agroquímicos. Por otro lado, una baja tasa de crecimiento específico, o forestaciones muy ralas, secuestran relativamente poco carbono, por lo cual suelen preferirse especies de rápido crecimiento. Por ejemplo, en la región Patagónica, una forestación de pinos alcanza y supera aún crecimientos de  $30 \text{ m}^3$  por ha-año, al menos 5 o 6 veces mayores que los de un bosque nativo de ciprés de la cordillera de buen crecimiento en sitios comparables. En la región mesopotámica, algunas forestaciones con *Eucalyptus* spp crecen a tasas mayores a los  $40 \text{ m}^3$  por ha-año en rotaciones cortas, de no más de quince años.

Por ello, los proyectos de secuestro de carbono por plantaciones se encuentran sesgados a la preferencia de especies de rápido crecimiento como pinos o eucaliptos

(aunque esto no es totalmente aceptable desde posturas ambientalistas), a la plantación en sitios de baja biomasa actual preexistente, y a un manejo semi-intensivo que no provoque fugas importantes por emisiones debidas a las quemas o al uso de maquinarias.

Al igual que otros cultivos, la forestación requiere de un manejo específico durante la rotación esperada, que comprende tareas de preparación del terreno, la implantación de los árboles, su protección y oportunas intervenciones de poda o raleo hasta el momento de corta final. Debido a las variaciones de forma, dimensiones y calidad de los fustes y las ramas, normalmente se obtienen distintos productos maderables, que satisfacen demandas de combustible, aserrados para construcción o carpintería, postes, pastas celulósicas o diversos extractos de la madera. De acuerdo con su destino, una gran parte de estos materiales se conservan durante muchas décadas, reteniendo carbono orgánico aún por lapsos que exceden holgadamente a los de la plantación que les dio origen. Si bien los sistemas de contabilización de secuestro de carbono creados formalmente no consideran el secuestro de carbono en productos durables de la madera, así como tampoco las emisiones de carbono debidas a un proyecto forestal *fuera del área del proyecto*, una contabilización ecológicamente razonable de la remoción de carbono atmosférico debería incluir estos componentes de ganancias o pérdidas que ocurren a partir de un proyecto forestal. Una ecuación más global del carbono efectivamente secuestrado a largo plazo por efecto de una plantación sería entonces:

$$Cns = \sum [Cf + Cm + \Delta Cvp + \Delta Cs] - \sum [Cmf + Cfr + Cte + Cfe]$$

donde,

Cns: carbono neto secuestrado

Cf: carbono acumulado en la plantación forestal

Cm: carbono acumulado en mantillo y material muerto en pie

Cvp: carbono acumulado en la vegetación preexistente

Cs: carbono acumulado en la fracción orgánica del suelo

Cmf: emisiones de carbono por actividades de manejo forestal

Cfr: emisiones de carbono por factores de riesgo no controlados durante el ciclo de plantación, transporte y elaboración de la madera

Cte: emisiones de carbono por transporte y elaboración de productos de la plantación

Cfe: emisiones por fabricación de maquinarias y equipos relacionados con la plantación e industria derivada

Cada uno de los términos indicados en la ecuación, contiene un conjunto de variables determinantes del carbono secuestrado o emitido. Como se ha mencionado, el nivel de acumulación de carbono secuestrado por una plantación (Cf en la ecuación), dependerá de la densidad de plantación, la especie plantada, el régimen silvícola aplicado, los sistemas de protección implementados, etcétera, factores también vinculados con la acumulación de material muerto en pie o en el suelo (Cm). Algo similar ocurre con la vegetación preexistente ( $\Delta C_{vp}$ ), donde el almacenaje de carbono es función de su composición, estructura y dinámica, y el efecto que tiene la forestación sobre esta última. En caso que la descomposición o remoción superen al crecimiento, este valor será negativo. El carbono almacenado en suelos ( $\Delta S_o$ ), como se ha dicho previamente, depende principalmente de los procesos formadores de ese sustrato organomineral, aunque las fracciones más lábiles de materia orgánica del suelo están estrechamente relacionadas con el tipo de vegetación preexistente. Este carbón (lábil) del suelo, puede perderse o acrecentarse en el transcurso de una plantación, aunque la detección de estos cambios, suele no ser perceptible en el término de una rotación. Ello ocurre porque los cambios no son muy importantes y también porque el suelo presenta una gran variabilidad espacial, de modo que los datos obtenidos por muestreos de campo no resultan en diferencias estadísticas significativas con el control. En forestaciones instaladas sobre sistemas con una gran densidad de carbono (por ejemplo, un bosque nativo, o un malezal denso) se han detectado tendencias a la reducción de carbono lábil del suelo, ocurriendo lo contrario en suelos con muy bajo tenor de carbono orgánico.

Los términos siguientes de la ecuación (emisiones), refieren a las pérdidas de carbono secuestrado por procesos físicos y biológicos, como la remoción de biomasa resultante del manejo forestal y el consumo de combustibles por equipos y máquinas forestales (Cmf). A estas emisiones “comunes” de un proyecto forestal pueden añadirse otras de carácter estocástico, o al menos sujetas a incertidumbre, como la ocurrencia de

incendios, el ataque de plagas o enfermedades o al impacto de diferentes eventos climáticos, como huracanes, inundaciones, etc. (Cfr). Los dos últimos términos de las emisiones (Cte y Cfe) se refieren a otras pérdidas de carbono por consumo de combustibles fósiles en forma directa y también a través de emisiones relacionadas con los procesos de fabricación de herramientas de transporte y elaboración. Estas emisiones son consecuencia de la actividad forestal, ya que la forestación con plantaciones es por lo corriente, un proceso predominantemente productivo generador de materia prima industrial. En forestaciones restauradoras, o con fines puramente paisajísticos o de provisión exclusiva de servicios ambientales, estos dos últimos términos se anulan.

*Temporalidad del secuestro de C por plantaciones.* Como la duración de una forestación -a diferencia de un bosque que crece naturalmente- es limitada, al igual que los productos de la madera, este secuestro de carbono es temporal. Desde el punto de vista funcional, las forestaciones pueden considerarse amortiguadores (—buffers“) del contenido de carbono atmosférico, es decir, reservorios temporarios cuyo contenido, tarde o temprano, será devuelto a la atmósfera o transferido al suelo o al fondo del mar a través de procesos de degradación biológica, o por combustión. En ese sentido, los proyectos de secuestro de carbono difieren sustancialmente de otros proyectos de mitigación del cambio climático, que reducen emisiones en forma permanente, al sustituir el uso de combustibles fósiles por otros sistemas de producción de energía.

Por otra parte, el ataque de una plaga o una intervención de raleo, agregan una importante cuota de incertidumbre a la estimación de cuánto carbono es posible captar en el ciclo de una forestación, y cuánto tiempo durará ese secuestro. Por ejemplo, en las fases iniciales de la plantación, un ataque de hormigas o un verano seco, pueden traer pérdidas que aparejan emisiones actuales y a la vez demoran la acumulación de biomasa y carbono. Las operaciones de poda y raleo, remueven a veces una considerable cantidad de fustes, hojas o ramas de una plantación, y transfieren también parte de los desechos forestales al suelo desde donde el carbono es incorporado en la materia orgánica del suelo, o bien se pierde por lixiviación o re-emisión a la atmósfera. Algunos manejos, como por ejemplo, la quema de ramas, promueven la eliminación atmosférica; en cambio, el desparramado de materiales y el uso de escarificadores, favorece la incorporación al suelo. Asimismo, la



extracción de árboles completos (con sus copas) para proceder a su desrame fuera de la plantación, remueve mucho más biomasa que la ejecución de esta tarea *in situ*.

Las fuentes de emisiones de carbono asociadas a las plantaciones, como se ha mencionado, son varias, y corresponden a las inherentes al régimen silvícola elegido y a la forma de ejecución de actividades de manejo. En forma sucinta pueden señalarse algunos factores de emisiones durante las diferentes etapas de la rotación forestal (Tabla 1)

Las plantaciones forestales son, como se mencionó, cultivos plurianuales o de larga duración. Como cualquier cultivo implica una perturbación cuyos efectos se pueden verificar a nivel local o producir externalidades, impactando sobre otros ecosistemas y economías en lugares más o menos alejados. Los impactos locales se restringen a aquellos que afectan la fertilidad del suelo, en su dotación de nutrientes, y como se mencionó anteriormente, al contenido de materia orgánica. Si bien la biodiversidad también puede verse afectada, es de mayor utilidad tratar este proceso a nivel de paisaje considerando aspectos como la fragmentación y la existencia de corredores. Los efectos externos incluyen posibles impactos sobre el nivel de la napa freática en ecosistemas adyacentes a la plantación, eventuales disminuciones en el caudal de agua en arroyos cercanos (Jobbagy et al 2006), la calidad del agua en cursos cercanos a las plantaciones y la ya mencionada biodiversidad (Corley et al 2006, Rusch et al 2007, Lantschner et al 2008). Es evidente que la intensidad de los impactos es altamente dependiente de la escala de la plantación, su composición específica, el arreglo espacial y su manejo silvicultural. Para algunas regiones del país, como la Patagonia, existen investigaciones que documentan varios de estos impactos y establecen recomendaciones para mitigarlos de modo de compatibilizar altos niveles de producción con la conservación de la biodiversidad y servicios ambientales esenciales (Rusch et al 2004, Fernández et al 2005)

Resulta lógico pensar que cualquier actividad destinada a mejorar el comportamiento de un servicio ambiental como el secuestro de carbono no puede realizarse a costa de otros, como la conservación de la biodiversidad o el suministro de agua en calidad y cantidad necesarias para el mantenimiento de funciones ecológicas esenciales en otros ecosistemas y la consiguiente calidad de vida de las sociedades humanas que habitan las cercanías del área plantada. Es por ello que los proyectos de plantación

destinados mitigar el Cambio Climático serán cuidadosamente examinados en sus aspectos ambientales y deberán utilizar toda la información científica y tecnológica disponible en diversas regiones del país, que es creciente y adecuada a estos propósitos.

### **Adicionalidad y Línea Base**

Para que una iniciativa destinada a mitigar el Cambio Climático sea reconocida como tal es necesario demostrar que producirá una disminución en la emisión de gases mayor que la que hubiera ocurrido sin la implementación del proyecto. Análogamente, en proyectos de captura de carbono, deberá demostrarse que se secuestrará más CO<sub>2</sub> que lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto. A esta cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado en exceso sobre el nivel pre-proyecto se lo denomina *adicionalidad de carbono*. La cantidad de carbono que hubiera ocurrido según el uso más probable de la tierra, es decir en ausencia del proyecto de forestación o reforestación, se denomina *línea base de carbono*.

La *línea base* (de carbono) es un concepto dinámico que comprende el balance de carbono en ausencia del proyecto, durante un período equivalente a la duración del proyecto de secuestro de carbono con el que se compara. En la Figura 1 se representa gráficamente la adicionalidad bajo tres escenarios de evolución de la línea base durante una rotación forestal.

En los tres casos la línea llena superior refleja la marcha de la acumulación de carbono por parte de la plantación forestal en función del tiempo. Las caídas en el carbono observadas en dos oportunidades corresponden a los efectos de operaciones de raleo, como es común en la mayoría de las plantaciones forestales destinadas a la producción de madera sólida, cualquiera sea la especie o el lugar en el cual se realizan. En el primer caso (A), donde la línea base permanece constante en el tiempo, corresponde a una plantación realizada con mínimos disturbios en el suelo, por ejemplo realizando únicamente pequeños hoyos para plantar los plantines y con un manejo silvicultural que no permite que el dosel se cierre interceptando la radiación necesaria para el mantenimiento de la cobertura del sotobosque. El caso B, refleja lo que ocurriría en plantaciones en las cuales los disturbios del suelo son mayores, determinando una caída inmediata en la biomasa de la vegetación preexistente, y con cerramiento del dosel, que intercepta totalmente la radiación que debiera

llegar al sotobosque, y una buena parte de la precipitación. El caso C corresponde a la forestación en sitios de vegetación degradada (por ejemplo por sobrepastoreo extendido), en el cual la instalación de árboles y la exclusión al pastoreo disminuyen el estrés hídrico de la vegetación herbácea o arbustiva remanente y promueven la recirculación de nutrientes, generando un ambiente favorable para el crecimiento de estas plantas bajo la plantación forestal.

De los conceptos anteriores se desprende que regiones forestales en las cuales uno de los destinos probables para el uso de la tierra es la plantación de bosques con fines comerciales, no presentarían adicionalidad (dado que las forestaciones constituyen la línea base), y en consecuencia no se podrían comercializar bonos de carbono por actividades de reforestación. Por ello, en general, las tierras que se consideran elegibles para este tipo de proyectos sostienen pastizales naturales, pasturas, cultivos o estepas, es decir, ecosistemas cuyo almacenamiento de carbono a lo largo de un ciclo de forestación es generalmente bajo y por consiguiente, se puede lograr una captura adicional considerable a partir de proyectos forestales. Este sería el caso, por ejemplo, de regiones semiáridas o áridas, o en áreas más húmedas pero fuertemente impactadas, en las cuales el crecimiento forestal sea apreciable, combinando expectativas de comercialización de sus productos con la venta de un servicio ambiental como el secuestro de carbono.

Como se mencionó anteriormente, los proyectos de forestación y reforestación deben presentar evidencias de sustentabilidad, y además de *adicionalidad de carbono*, deben generar *adicionalidad social y ambiental*. Esto significa que es necesario demostrar que la ejecución del proyecto beneficiará a comunidades locales y mejorará el estado de ambiente en comparación con una línea base de estas dos dimensiones. Es por ello que la plantación en suelos altamente degradados por décadas de sobrepastoreo, como es común observar en la Patagonia, o en extensas áreas del Espinal o de la Región Chaqueña del país pueden ser mejor consideradas para realizar este tipo de emprendimientos. También en muchas áreas de la Región Pampeana, en reemplazo de cultivos agrícolas, aunque en este caso, debe fundarse en una alta competitividad económica para que los proyectos forestales sean adoptados.

La combinación de ritmos de crecimiento compatibles con la rentabilidad,

adicionalidad de carbono, social y ambiental constituye en realidad el marco de restricciones que determina las posibilidades reales de realizar plantaciones forestales para secuestrar carbono y en consecuencia el potencial real de esta actividad para mitigar el Cambio Climático.

### **3- El Protocolo Kyoto**

El Protocolo de Kyoto (PK en adelante) es un acuerdo internacional alcanzado en 1997 en una de las conferencias periódicas que mantiene la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC, siglas en inglés). Con la ratificación posterior de la mayoría de las partes (países o asociaciones de países, como la Unión Europea), este protocolo entró en vigencia a partir de 2002.

El PK constituye el fundamento formal de las acciones aprobadas por las Naciones Unidas para mitigar el cambio climático. Es un acuerdo vinculante para países que voluntariamente adquirieron compromisos de mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones o del secuestro de gases de efecto invernadero. Estos países enumerados en el Anexo I del PK, asumieron compromisos individuales de reducción de emisiones domésticas, que fueron aceptados también por los restantes países firmantes, denominados No Anexo I. Los países del Anexo I son la mayor parte de los países europeos, Rusia, China, Japón, Nueva Zelanda, Canadá, es decir, todas las naciones de mayor desarrollo, con excepción de Australia y Estados Unidos. Entre los países No Anexo I se encuentran las naciones sudamericanas, los países árabes y estados de Africa y Asia signatarios del PK.

Globalmente se propuso una meta de reducción de un 5% de las emisiones antropogénicas ocurridas al 31 de diciembre de 1989, para ser cumplida al cabo de un primer período de compromiso, establecido entre 2008 y 2012. Los mecanismos establecidos con este cometido han sido tres: (1) Comercio de Emisiones, (2) Implementación Conjunta y (3) Mecanismo para el Desarrollo Limpio. Los dos primeros se ejecutan únicamente en países del Anexo I, en tanto que en el tercero intervienen países No Anexo I. El Comercio de Emisiones habilita a países que hubieran superado su propia meta de reducción de emisiones a comercializar sus excedentes, bajo la forma de créditos de carbono, a otros países con obligaciones. La Implementación Conjunta comprende la

implementación de proyectos cooperativos de mitigación entre naciones de los países Anexo I, y la distribución de los créditos resultantes entre las naciones cooperantes. Por último, el Mecanismo para el Desarrollo Limpio o MDL, da la posibilidad de desarrollar y ejecutar proyectos de reducción de emisiones a países No Anexo I, y a vender los créditos obtenidos a los países con obligaciones. Constituye además un sistema que aspira a contribuir al desarrollo sustentable de las naciones en vías de desarrollo, para lo cual impone restricciones sociales y ambientales a los proyectos de carbono.

Dentro de los diferentes sectores en que el MDL permite considerar proyectos, se encuentra el llamado Uso del Suelo y Cambio de Uso del Suelo y Forestación (LULUCF, siglas en inglés), que comprende todas las actividades agropecuarias y forestales aplicables a la mitigación del cambio climático.

Si bien existen probadas experiencias de actividades que disminuyen emisiones de gases efecto invernadero, como por ejemplo, la agricultura bajo labranza reducida en reemplazo de la tradicional, o la conservación de bosques u otros ecosistemas naturales, por el momento en el sector LULUCF sólo son aplicables proyectos de secuestro de carbono bajo la forma de forestación y reforestación.

Estos proyectos forestales reúnen algunas características que los diferencian de proyectos tradicionales de producción de madera. En primer lugar, deben verificar durante la rotación, una acumulación de carbono *in situ* que supere a la de los sistemas ecológicos reemplazados, en general cualquier comunidad vegetal distinta de un bosque (*adicionalidad de carbono*, ver título 2). Por otro lado, debe demostrarse fehacientemente que las forestaciones se realizarán únicamente si su factibilidad económica depende la producción de créditos de reducción de emisiones (conocidos como CERs, siglas en inglés). En otras palabras, no es posible acreditar el secuestro de carbono de plantaciones de árboles que se realizarían de todas formas, por ser una de las actividades más probables cælo que suele denominarse en inglés *business as usual*-, debido a objetivos productivos o ambientales distintos del secuestro de carbono. El cambio de uso del suelo, de *no-bosque a bosque*, según la definición adoptada por cada país a los efectos del PK, es también una condición necesaria para estos proyectos<sup>1</sup>. Debe señalarse que para establecer una plantación forestal bajo el MDL, el terreno debe haber estado desarbolado al 31 de diciembre de 1989,

situación que debe documentarse a través de antecedentes cartográficos, análisis de imágenes satelitales o aerofotografías antiguas, etc.

Para la formulación de un proyecto forestal de secuestro de carbono bajo el MDL es necesario proseguir una serie de pasos formales, que atraviesan distintas instancias de evaluación y aprobación. A este conjunto de tareas se lo conoce como ciclo de proyectos MDL, y en su consecución intervienen diferentes actores, aunque básicamente intervienen un *proponente del proyecto*, responsable de su formulación y presentación, las *autoridades nacionales*<sup>2</sup>, que evalúan y avalan su presentación internacional a través de una *carta de no-objeción*, y un proceso formal internacional ante la *Junta Ejecutiva para el MDL*, que incluye la participación de entidades acreditadas en la validación del proyecto y verificación del carbono secuestrado durante el proyecto.

Por su complejidad, la formulación de un proyecto de reducción de emisiones o de secuestro de carbono (en inglés: Project Design Document o PDD) requiere de la participación de consultores expertos en distintos ámbitos: forestales, ambientales, financieros y legales. También un conocimiento adecuado de las normas de presentación ante la Junta Ejecutiva. Las mismas se encuentran disponibles junto, con numerosas herramientas orientativas, en las páginas oficiales de la Convención Marco de Cambio Climático ([www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)).

<sup>1</sup> En la Argentina, la definición de bosque adoptada fija un umbral mínimo de una hectárea de superficie con árboles que a la madurez puedan alcanzar tres metros de altura, y una cobertura de copas de al menos el 22,5%. Estos umbrales eventualmente opinables, permiten discriminar objetivamente comunidades de especies leñosas de menor tamaño o cobertura, que pueden considerarse entonces como *no-bosque*.

<sup>2</sup> La autoridad nacional de aplicación de proyectos MDL es la Dirección de Cambio Climático (DCC) de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental de la Nación. En su página web [www.medioambiente.gov.ar](http://www.medioambiente.gov.ar) se encuentra ampliamente desarrollado el ciclo de un proyecto y los requerimientos necesarios para su presentación, así como vínculos de información sobre este Mecanismo en el nivel internacional.

La Junta Ejecutiva para el MDL es la entidad que expide los CERs. Los certificados

pueden ser comercializados libremente por el proponente bajo distintas formas contractuales de uso, como ventas pactadas individualmente, actuales o a futuro, remate abierto en bolsas de comercio, etc. Los CERs para la actividad forestal pueden ser de dos tipos, *temporarios de corto plazo* (tCERs) o de *largo plazo* (ICERs), debido a la temporalidad del secuestro de carbono por árboles. Los tCERs tienen una duración de 5 años corridos, en tanto que los ICERs duran 20 o 30 años, con posibilidad de ser renovados hasta 3 o 2 períodos similares respectivamente (hasta 60 años de duración). Esta es una diferencia importante con CERs obtenidos por otras actividades MDL (como por ejemplo, la sustitución de energía fósil por energías limpias), donde las reducciones de emisiones se asumen como permanentes (los CERs mantienen su validez en forma permanente). Una consecuencia de esta diferencia de certificados será obviamente, el menor valor de mercado de los bonos forestales, ya que los países (o las empresas de países que cumplen sus obligaciones de reducción de emisiones con ellos), deberán renovarlos periódicamente.

*Limitaciones de los proyectos forestales de secuestro de carbono bajo el PK.* Las negociaciones de la UNFCC que condujeron a la formulación del PK, fueron concebidas como una concertación necesaria entre países destinada a **reducir** emisiones domésticas de gases efecto invernadero. En ese sentido toda propuesta que sugiriera la posibilidad de establecer mecanismos compensatorios alternativos, desplazando los esfuerzos de evitar la emisión de gases, fue resistida desde el inicio por varios países europeos. Otros reclamos de importancia para los países sin obligaciones de reducción de emisiones (partes No Anexo I) determinaron el desarrollo del MDL, acordándose que cualquier proyecto de mitigación de cambio climático en estos países debía contribuir simultáneamente al desarrollo sustentable, demostrando una adicionalidad social o económica de los proyectos. En este marco, las únicas actividades aceptadas para el sector de uso del suelo (LULUCF) fueron solamente marginalmente consideradas, al menos en la práctica. Algunos obstáculos para que en la actualidad la forestación pueda constituir un mecanismo de alta efectividad global para mitigar el cambio climático, son los siguientes:

- El bajo porcentaje del total de reducción de emisiones (o compensación a través del

secuestro) que puede ejecutarse bajo el MDL (aproximadamente un 5% del total comprometido por las partes del Anexo I).

- La dificultad de ejecutar proyectos forestales que reúnan requisitos de desarrollo sustentable en países de bajo desarrollo actual, que deben demostrar adicionalidad (proyectos *win-win*) en todas sus dimensiones.
- La incertidumbre acerca de un proceso de secuestro de carbono controlado principalmente por procesos biológicos, aún insuficientemente conocidos.
- La ocurrencia de fugas o escapes imprevistos de carbono durante el ciclo forestal, debido a sucesos ambientales o humanos aleatorios, como incendios, desbalances hídricos, plagas, o aún movimientos sociales o cambios políticos.
- La temporalidad del secuestro de carbono por las forestaciones, sea por decisiones de manejo a través de la corta deliberada, por destrucción imprevista, o por envejecimiento y mortalidad natural de los árboles.
- La necesidad de determinar una línea base proyectada en el tiempo que dura el proyecto forestal, solamente a título de hipótesis, ya que es un proceso que no va a ocurrir si se realiza la forestación, y es simplemente un escenario de la situación *sin proyecto* sujeto a alta incertidumbre.
- Por todo lo anterior, la mayor dificultad relativa (respecto de proyectos en otros sectores) de diseñar propuestas consistentes, evaluar los riesgos, monitorear y verificar las ganancias de carbono.
- La exclusión de la contabilización post cosecha, de productos de la madera de larga duración, que aumentaría la permanencia del carbono secuestrado.

#### 4- Zonas con potencial en Argentina

Según, a principios del siglo XX, la superficie cubierta con bosques nativos era algo mayor a cien millones de ha. En la actualidad su distribución se ha reducido a un tercio de esa área original, debido fundamentalmente a la expansión de la frontera agropecuaria, a los incendios y a la eliminación de cobertura arbórea por la extracción de leña o la explotación forestal desmedida. A grandes rasgos, las tierras forestales originales hoy sostienen bosques y matorrales nativos en estado variable de conservación, agroecosistemas de producción forestal, agrícola o ganadera, urbanizaciones y obras de infraestructura social, o áreas degradadas parcialmente cubiertas por arbustos, hierbas y pastos. Por lo tanto tan solo una parte de los suelos históricamente desboscados



mantienen su capacidad para sostener bosques en la actualidad.

Se considera que el potencial actual para instalar plantaciones forestales en el país oscila entre 18-20 millones de ha (SAGPyA, 1995, SAGPyA, 1999), en tierras de ambientes semiáridos a húmedos y de productividad variable. Estas áreas han sido establecidas a partir del Atlas de Suelos de la Argentina (INTA, 1990) para determinar las zonas de aplicación del régimen de promoción de plantaciones forestales. La superficie aproximada por provincia y por eco-región se detalla en la Tabla N° 2. Obviamente, la clasificación por aptitud de suelos, no tiene en cuenta la potencialidad real de realización de una actividad, debido a la competencia en el uso de la tierra con otras actividades. Hasta el presente se han cubierto con plantaciones forestales alrededor de un millón de ha en un lapso de poco más de cincuenta años, de modo que aún existiría un amplio margen para el desarrollo de la forestación. Sin embargo, incluso en los lugares de baja productividad existen otras opciones de uso del suelo que compiten actual o potencialmente con la perspectiva forestal. En las áreas centrales del país de mayor potencial productivo se ha consolidado la producción agrícola y ganadera como uso dominante del suelo (al igual que los emplazamientos urbanos y otros usos no agropecuarios), modelo que históricamente se ha expandido radialmente desde la pampa húmeda hacia la periferia, proceso que se ha intensificado en la última década, conforme el desarrollo tecnológico y económico permite avanzar sobre áreas no cultivadas previamente.

Por otra parte, como resultado de la aplicación de políticas de creación de recursos forestales industriales, a partir de la década de 1950 se instalaron en la Mesopotamia las primeras plantaciones de pinos, eucaliptos y otras especies, particularmente en Misiones, expandiéndose posteriormente a la provincia de Entre Ríos y algo más tardíamente a Corrientes. Junto con el Delta bonaerense, cuyo desarrollo con el cultivo de salicáceas fue aún previo al de la Mesopotamia, esta porción del país constituye el núcleo del desarrollo forestal alcanzado. En otras regiones del país como Córdoba, Cuyo, Patagonia o el Noroeste, la forestación es aún incipiente y su expansión ha sido relativamente baja. En la actualidad la actividad plantadora se concentra en las provincias mesopotámicas y en Buenos Aires, con una participación menor de otras regiones. En este contexto, la expansión del área forestal en la actualidad se realiza sobre sitios anteriormente

considerados marginales para la plantación como en gran parte de los *campos* y *malezales* correntinos o en el *espinal* entrerriano (Figura 2). Esta expansión se encuentra relacionada fuertemente con la existencia de una estructura industrial desarrollada cercana, que permite, aún en forestaciones de baja productividad, integrar económicamente la actividad.

Sin embargo, en sitios de ecológicamente marginales para la forestación, a una rentabilidad industrial baja o negativa, se suman muchas veces otro tipo de impedimento, considerados generalmente como barreras para la implementación de proyectos forestales. Solamente las grandes empresas integradas a la industria pueden trabajar en economías de escala en tales sitios. A las limitaciones ambientales, que encarecen la implantación o se traducen en bajos los rendimientos maderables se agregan obstáculos de tipo financiero, cultural, y empresarial. En algunas regiones en las que se evalúa el potencial forestal para proyectos de secuestro de carbono, las restricciones comunes encontradas en áreas donde hay potencial para la forestación son: baja productividad maderera, existencia de producciones alternativas tradicionales, bajos retornos económicos forestales y largo período sin ingresos, dificultades en la obtención de créditos e incentivos, cultura ganadera y escaso conocimiento de la actividad por parte de los productores agropecuarios. También el riesgo ambiental, debido a la ocurrencia de incendios, plagas o inundaciones, es un factor limitante en la decisión de plantar. Todos estos aspectos han sido analizado para vastas zonas con potencial forestal en Misiones (sector de *campos* al sur y *capueras* de antiguos cultivos sobre el corredor del Paraná en la Selva Paranaense); Corrientes y Entre Ríos (áreas de las regiones citadas, contiguas a los albardones del Río Uruguay o próximas a la Laguna Iberá), Santiago del Estero (vastas zonas degradadas del Chaco Seco en el centro y norte de la provincia); Buenos Aires (cordón de dunas costeras del sudeste, suelos medanosos del sudoeste; pastizales en las sierras de Tandil y Ventana); La Pampa (suelos medanosos al este y norte de la provincia con limitaciones para agricultura, Espinal al oeste) y en las provincias patagónicas de Neuquén, Río Negro y Chubut (estepas contiguas a los Bosques Patagónicos).

En todas estas regiones, y debido a las limitaciones mencionadas, existen tierras con posibilidades de implementación de proyectos forestales de secuestro de carbono. En general, en las áreas centrales del país y en la Patagonia, con ambientes dominantes

semiáridos, la ejecución de proyectos de carbono forestales, reemplazaría probablemente usos del suelo ganadero extensivos, basados en el aprovechamiento del pastizal natural. En cambio en áreas húmedas de la Región Pampeana o el NEA, los proyectos desplazarían actividades de ganadería en sitios no agrícolas, agricultura en suelos degradados, campos de arroz, etc. Además de los factores (limitantes) mencionados a la forestación actual, con o sin secuestro de carbono, la introducción de propuestas de plantación destinadas a este último fin dependerá fuertemente del precio que tomen los bonos de carbono en el futuro, que por el momento no parecen lo suficientemente atractivos como para generar iniciativas. Cabe señalar que los valores estimados en la actualidad para los CERs temporarios, oscilan entre la cuarta y la quinta parte del valor que tienen los CERs permanentes, es decir, los créditos por reducción de emisiones de proyectos de otros sectores de la economía, como los energéticos, los de transporte, etc.

#### **5- Efectos ambientales originados en la sustitución de materiales y energía fósil por madera.**

El uso de madera con fines estructurales puede tener efectos ambientales positivos, si se considera tanto la energía utilizada para producir los materiales, como el correspondiente carbono emitido en dicho proceso de construcción. Según Sutton (2003), el costo energético de la madera tratada destinada a la construcción es de 1.2 GJ/m<sup>3</sup> y la emisión neta de Carbono es de - 228 kg/m<sup>3</sup> ( el signo negativo indica captura neta). En cambio el material de concreto ( cemento) consume 7.3 GJ/m<sup>3</sup> y la emisión de C es de 182 kg/m<sup>3</sup> y en el caso del aluminio el costo energético de la producción de 1 m<sup>3</sup> alcanza los 362 GJ mientras que la mismo volumen importa una emisión neta de 6325 Kg de Carbono. Por su parte Petersen y Solberg (2005) analizaron el ciclo de vida de distintos materiales comparados con la madera y concluyeron que el ahorro en emisiones derivado de la substitución de madera por acero resultaba en un rango de 36 -530 Kg CO<sub>2</sub> equivalentes por m<sup>3</sup> de madera utilizada. Sin embargo en todos estos casos es necesario considerar también impactos negativos derivados del tratamiento de la madera con preservantes, aunque sin duda alguna el resultado ambiental neto del uso de madera en lugar de otros materiales parece ser concluyente.

El aumento del precio del petróleo se origina esencialmente en su carácter de

recurso no renovable, conjuntamente con el incremento de consumo de la población humana. Su elevado valor actual, aunque ciertos efectos especulativos determinan incertidumbres acerca de su carácter permanente, ha movilizó la investigación hacia el desarrollo de alternativas sustentables. La producción de etanol a partir de caña de azúcar, el biodiesel elaborado a partir de oleaginosas como la soja, girasol, colza u otras especies, constituyen hoy en día una realidad creciente. Sin embargo las críticas a la producción de energía a partir de granos o cultivos agrícolas se han incrementado simultáneamente, por evidenciarse una suba en el precio de los alimentos que perjudica a los segmentos más pobres de la población. La competencia en los usos de la tierra entre la producción de energía y alimentos no parece ser fácil de salvar y muy pocos países tienen capacidad para expandir su base de tierras cultivables, y si lo hacen en muchos casos es a costa de deforestación con sus consecuencias negativas a nivel ambiental.

La eficiencia energética de la producción de etanol o biodiesel a partir de granos, es decir las calorías producidas por caloría invertida, constituye también una variable a tener en cuenta para tomar decisiones, y si bien depende en gran medida de la tecnología de cultivo utilizada, pareciera que el etanol a partir de maíz tendría un balance cercano a la unidad. En un artículo reciente de la revista *The Economist* (2007) se comparan distintas alternativas de producción de energía a partir de cultivos, presentándose a la celulosa como una de las más promisorias desde el punto de vista del balance energético. Las plantaciones forestales tendrían, según el mencionado artículo, un papel muy importante en la provisión de combustibles como el etanol, en un futuro no muy lejano. El proceso de transformación de celulosa a etanol, es ciertamente más complejo que el de la sacarosa o el almidón, y por lo tanto presenta algunos interrogantes desde el punto de vista económico. Sin embargo un reciente informe del Instituto de Investigaciones de Nueva Zelanda, Scion, (2008), da por sentado que ese país, en el mediano plazo, será capaz de reemplazar todos sus combustibles fósiles utilizados para el transporte, por etanol generado a partir de la madera proveniente de plantaciones. Según el informe, la tecnología está disponible, incluyendo las enzimas de origen industrial, para transformar la biomasa en etanol y hay abundancia de tierras marginales para la agricultura, pastizales poco productivos y /erosionables que podrían ser pasibles de plantación con este objetivo. De cualquier manera esta sustitución total de

combustibles fósiles se verificaría en el mediano plazo, por cuanto se estima que en unos 25 años los bosques plantados con fines bioenergéticos estarían en condiciones de suministrar toda la biomasa requerida. Entre tanto, la producción de etanol a partir de madera puede poner en valor residuos forestales que generalmente no se remuneran, como los provenientes de podas y raleos tempranos (en ausencia de una industria de tableros o de pulpa en las cercanías), y dar más tiempo para refinar la tecnología de producción y actualizar la infraestructura necesaria para este emprendimiento.

No todos los países tienen disponibles la superficie necesaria para realizar plantaciones a la escala que se necesita para producir una sustitución de esta magnitud, (en Nueva Zelanda se estima que se deben plantar una 4 millones de has con este fin), y aunque estén disponibles es necesario realizar una cuidadosa planificación a nivel regional para evitar daños ambientales originados en el reemplazo de pastizales por plantaciones forestales (Nosetto et al 2005, Nosetto et al 2008). Se estima que Argentina podría disponer de superficies con este fin repartidas en distintas partes de país, como la Patagonia y las amplias áreas que han sido deforestadas y convertidas a pastizales de dudosa productividad en el norte de país, podrían ser objeto de replantación, incluso con especies nativas, que proveerían la biomasa al mismo tiempo que se contribuye a la restauración de ecosistemas

## **6- Perspectivas futuras**

En los próximos años comenzara a redefinirse el protocolo de Kyoto. Seguramente las nuevas negociaciones de basarán en el balance de éxitos y fracasos que presenta hasta el momento el mismo y permitirá que se presenten propuestas que le den mayor importancia a la forestación como mecanismo mitigador. Para ello es necesario por un lado agilizar y flexibilizar los procedimientos conducentes a la aprobación de proyectos MDL, incluyendo la disminución de los costos involucrados. Por otra parte el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> secuestrada puede aumentar considerablemente si se reconoce la permanencia del carbono en estructuras de madera, dando lugar a los procedimientos de trazabilidad que por otra parte se llevan a cabo de manera rutinaria en los procedimientos tendientes a la certificación de manejo sustentable de bosques. De no incrementarse el precio del carbono secuestrado por plantaciones y si no se disminuyen los costos de transacción acompañando

una simplificación del proceso de desarrollo y aprobación de proyectos es muy posible que, al menos dentro del protocolo de Kyoto la forestación y reforestación carezcan de relevancia como mecanismo tendiente a la mitigación del cambio climático.

Sin embargo, el reconocimiento de que la forestación constituye el mecanismo más barato y eficiente para el secuestro de carbono, a la vez que puede producir otros beneficios económicos y ambientales, permite ser optimistas. Determina en gran medida el interés de países desarrollados en fomentar estudios de línea base y adicionalidad de plantaciones forestales en varios países en desarrollo.

Por otro lado es evidente que el MDL, como mecanismo de mercado, favorece los emprendimientos de gran escala, relegando iniciativas que podrían llevar adelante pequeños y medianos emprendimientos forestales. El Estado tiene un amplio margen para intervenir, tanto en la colaboración con la elaboración de proyectos de pequeña escala como en las negociaciones internacionales llevando inquietudes de este tipo, sumadas a la necesidad de incluir la trazabilidad de los productos forestales, y otros mecanismos que favorezcan esta actividad para la cual el país presenta amplias ventajas, entre las cuales se encuentran amplias superficies aptas para proyectos de forestación y ritmos de crecimiento interesantes

Dentro de la Convención Marco de Cambio Climático se abren otras perspectivas para los bosques, a partir del reconocimiento de la importancia de las emisiones provenientes de la deforestación de los bosques nativos. Varios países han presentado la idea de remunerar de alguna manera el mantenimiento del enorme stock de carbono que presentan los bosques nativos en Argentina, a través de un mecanismo denominado —disminución de las emisiones debidas a la deforestación—. De aprobarse este mecanismo u otro similar podría tener efectos importantes en nuestro país frenando o disminuyendo la alarmante tasa de deforestación que se verifica actualmente, especialmente en la región de bosque Chaqueño y la transición hacia las Yungas.

También en este caso deberá fijar una posición, dada la importancia de los bosques nativos que posee y la superposición de la deforestación con regiones de pobreza y exclusión social.

El uso de madera proveniente de plantaciones como material estructural para

construcciones puede tener un efecto considerable en el ahorro de energía y la consiguiente disminución de gases efecto invernadero. Las plantaciones secuestran carbono y los productos de las mismas quedan fijados por mucho tiempo en edificios, casas, muebles y otras estructuras. Por otro lado se considera que un manejo sustentable de los bosques plantados fija todo el carbono que es liberado a partir de la combustión de etanol, leña, pellets o briquetas, u otro tipo de material bioenergético generado a partir de plantaciones forestales.

Como se desprende estas consideraciones, algunas tecnologías muy novedosas, y el estado embrionario de las discusiones que se producen en la agenda internacional indican que el camino a recorrer es amplio y otorgan a las plantaciones forestales un potencial enorme de contribuir a la mitigación del cambio climático puesto que se presentan tanto oportunidades como evidencias de dificultades que requieren de un esfuerzo continuado y trabajoso para superarlas. La planificación ecológica regional para distribuir los bosques plantados a una escala compatible con el efecto global que se pretende obtener en la mitigación ambiental y el manejo posterior de los bosques constituyen uno de los desafíos para que no se produzcan resultados negativos a escalas espaciales mas reducidas.

*\*La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

## Bibliografía

- Corley, J.; P. Sackmann; V. Rusch; J. Bettinell; y J. Paritsis. 2006. Effects of pine silviculture on the ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) of the patagonian steppe. *Forest Ecology and Management* 222: 162-166.
- Fernández, M.E.; Rusch, V.; J.E. Gyenge & T.M. Schlichter. 2005 La heterogeneidad de la vegetación en plantaciones forestales en el N.O. de la Patagonia. En: M. Oesterheld; M. Aguiar; C. Ghera; J. Paruelo (eds.) *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Ed. C. F.A.U.B.A., Buenos Aires, Argentina, págs 413-430
- Fernández, M.E.; J.E. Gyenge y T.M. Schlichter. 2006. Growth of the grass *Festuca pallescens* in silvopastoral systems in a semi-arid environment, Part 1: Positive balance between competition and facilitation. *Agroforestry Systems* 66 (3): 259-269
- Fernández, M.E.; J.E. Gyenge y T.M. Schlichter. 2007. Balance of competitive and facilitative effects of exotic trees on a native Patagonian grass. *Plant Ecology* 188 (1): 67-76.
- INTA, 1990. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Instituto de Suelos. Coordinación General: Gustavo Moscatelli. 2 Tomos, 677 pp.
- Jobbagy, E. M. Nosoetto, J. Paruelo y G. Piñeiro, 2006. Las Forestaciones Rioplatenses y el Agua. *Ciencia Hoy*, Vol 16. No 25. pp 12-21.
- Lantschner, M.V., V. Rusch y C. Peyrou. 2008. Bird Assemblages in Pine Plantations Replacing Native Ecosystems of N.W. Patagonia, Argentina. *Biodiversity and Conservation*, 17(5):969-989.
- M. D. Nosoetto, E. G. Jobbágy y J. M. Paruelo, 2005. Land use change and water losses: the case of grassland afforestation along a textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology*, 11, 1101-1117.
- M. D. Nosoetto, E. G. Jobbágy, T. Tóth y R.B. Jackson, 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biochemical Cycles*, Vol 22, 12 pp



Petersen, A. K. y B. Solberg: 2005. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of microlevel analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics*, Vol 7, March 2005, 249 -259

Rusch, V; J. Corley; J. Gyenge, M. Sarasola. 2004. Sustentabilidad ambiental de las plantaciones de coníferas en la patagonia Norte: Suelo, Agua, Dinámica del Fuego y Plagas. Informe final PIAs 02/00. SAGPyA.

Rusch, V.; A. Vila; V. Lantschner. 2007. La conservación de la biodiversidad en ambientes bajo uso forestal. *Revista AFOA*. Año LXI (1-2):4-19.

SAGPyA 1995. *Guía Forestal Argentina*

SAGPyA 1999. *Argentina: Oportunidades de Inversion en Bosques Cultivados*

Scion, 2008. Bioenergy Options for New Zealand. [www.scionresearch.com](http://www.scionresearch.com)

Sutton, W.R.J., 2003. Wood- The World's Most Important Raw Material. En: *Planted Forests. Experts Meeting*, New Zealand March 2003

The Economist, 2007. *Energy: Woodstock Revisited*. Marzo 2007

Tabla 1. Etapas de desarrollo de una forestación, actividades de manejo y emisiones asociadas.

<b>ETAPA</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>FUENTES DE EMISIONES</b>
<b>PREPARACION DEL SITIO</b>	-Desmalezado -Roturación - Combate de hormigas - Destronque, arrastre y quema de residuos vegetales -Quema de rastrojos -Alambrados - Nivelación mecánica - Apertura y consolidación de canales, caminos, cortafuegos -Construcción de obras de arte	-Muerte y descomposición de micro y macroorganismos descomponedores - Volatilización de pesticidas orgánicos - Descomposición vegetal acelerada -Extracción de postes y varillas del monte nativo -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal - Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para calefacción, suministro de energía o funcionamiento de maquinarias -Uso de cemento
<b>PLANTACION – REPOSICIONES</b>	-Transporte y viverización de plantines -Surcado u hoyado, tapado y plantación - Colocación de cebos tóxicos - Instalación de campamentos, suministro de energía, traslados del personal e insumos -En régimen de talar: selección y eliminación de rebrotes -Fertilización	-Quema de combustibles fósiles para transporte - Oxidación de componentes orgánicos del suelo (viveros temporarios) -Erosión del suelo (viveros temporarios) -Descomposición vegetal acelerada -Volatilización de fertilizantes con producción de óxido nítrico, amoníaco, etc.
<b>PODAS</b>	-Corta de ramas - Amontonado y quema de residuos -Incorporación de residuos -Instalación de campamentos, provisión de energía, traslados del personal e insumos	-Descomposición vegetal acelerada -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal - Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias
<b>RALEOS y COSECHA</b>	-Corta de árboles -Extracción de rollizos o de árboles completos -Amontonado y quema de residuos - Incorporación de residuos - Instalación de campamentos, provisión de energía, traslados del personal e insumos	- Exportación de material leñoso - Descomposición vegetal acelerada -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal - Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias
<b>PROTECCION</b>	-Vigilancia prevención de incendios -Supresión mecánica de malezas - Aplicación de pesticidas y herbicidas -Reparación y mantenimiento de alambrados -Mantenimiento de caminos y cortafuegos	-Volatilización de pesticidas orgánicos - Descomposición vegetal acelerada -Extracción de postes y varillas del monte nativo -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal - Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias

Tabla 2. Superficie promocionada bajo el régimen actual de incentivos a la forestación (Ley 25080) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación. Fuente: SAGPyA 2001 y Mapa de Eco-Regiones de la Argentina (SIAN). SD= sin información sobre la superficie promocionada en esas provincias.

REGION	ECOREGION (Mapa N° 1)	PROVINCIAS	AREA PROMOCIONADA
NOA	Monte de Sierras y Bolsones Bosque de las Yungas	Jujuy, Salta, Tucumán	2172000
	Monte de Sierras y Bolsones Chaco Seco	Catamarca, La Rioja	SD
NEA	Selva Paranaense	Misiones	1250000
	Campos y Malezales	Sur de Misiones y Nordeste de Corrientes	581000
	Delta e Islas del Paraná Esteros del Iberá	Noroeste de Corrientes	860000
	Espinal	Sudeste de Corrientes y Este de Entre Ríos	897000
	Delta e Islas del Paraná	Buenos Aires y Entre Ríos; Delta del Paraná y Uruguay	577000
CHACO	Chaco Seco	Córdoba	605000
	Chaco Seco y Chaco Húmedo	Formosa, Chaco, Santiago del Estero	SD
PAMPEANA	Chaco Húmedo y Pampa	Santa Fe; Sur y Costa del Paraná	767000
	Pampa	Buenos Aires; Norte	2000000
	Pampa	Buenos Aires, Sudeste y Sudoeste	2135000
CUYO	Monte de Llanuras y Mesetas	Mendoza	1489000
	Monte de Llanuras y Mesetas	San Juan, San Luis	SD
	Espinal		
PATAGONIA	Monte de Llanuras y Mesetas	Río Negro y Neuquén; Valle del R. Negro y Neuquén	511000
	Estepa Patagónica	Oeste de Neuquén, Río Negro y Chubut	3360000
	Estepa Patagónica	Santa Cruz y Tierra del Fuego	SD
<b>TOTAL</b>			17204000

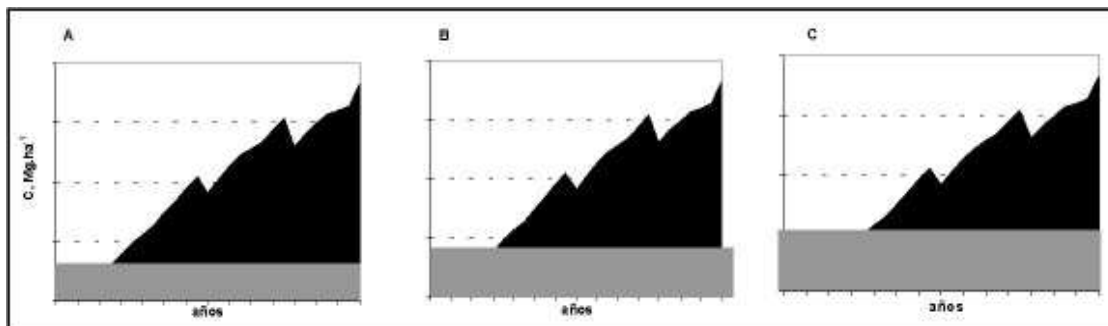


Fig. 1. Evolución del secuestro de carbono en plantaciones forestales de la línea base y de la adicionalidad bajo tres casos teóricos. En el caso (A), la línea base permanece constante, en (B) decrece, y en (C) aumenta a lo largo del tiempo. La línea superior refleja el carbono acumulado en la plantación, el área gris inferior corresponde a la línea base y la diferencia entre ambas, el área punteada, es la adicionalidad.



Figura 2. Mapa de Eco-regiones de la Argentina. Las regiones más importantes para la plantación forestal en la actualidad se encuentran en la Selva Paranaense, Campos y Malezales de Corrientes, el Espinal Entrerriano y, en menor medida el, ecotono entre Estepa Patagónica y los Bosques de esa región. En la región Pampeana, el Noroeste, en las yungas y en el Espinal de Córdoba también hay importantes masas forestales plantadas