

Mitigación del cambio climático en el sector forestal

El cambio climático está causando impactos en los sistemas naturales y humanos de todos los continentes; se está produciendo un cambio en el clima, y se va a seguir produciendo, con mayor o menor intensidad en función de los esfuerzos que se haga para mitigarlo. El sector forestal es clave en esa mitigación, ya que los bosques son sumideros de carbono. La gestión que se haga puede incrementar o reducir la mitigación; medidas como la defensa de los montes, la reforestación, el fomento de productos forestales duraderos o las actuaciones selvícolas tienen una relación directa con la mitigación del cambio climático, que es preciso tener en cuenta en la toma de decisiones.

Palabras clave: Mitigación del cambio climático; gestión forestal



Álvaro Enríquez de Salamanca
Ingeniero Técnico Forestal
y Doctor
en Ciencias Ambientales
DRABA Ingeniería y Consultoría
Medioambiental, S. L.

INTRODUCCIÓN

El clima no ha sido constante a lo largo del tiempo, pero desde la década de 1950 se está produciendo un calentamiento del sistema climático inequívoco, con cambios que no tienen precedentes en los últimos milenios (Stocker et al. 2013); la atmósfera y los océanos se han calentado, la cantidad de nieve y hielo ha disminuido, el nivel del mar ha subido y la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) se ha incrementado. Se trata de un suceso anómalo que solo puede atribuirse a la acción humana, por incremento de GEI por emisiones antropogénicas; el efecto invernadero natural se ha intensificado por acciones como la quema de combustibles fósiles, la agricultura, la ganadería o la deforestación.

En los últimos decenios, los cambios en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes

y océanos, afectando a la población y las especies de flora y fauna, y poniendo de relieve la vulnerabilidad y la exposición de algunos ecosistemas y muchos sistemas humanos a la actual variabilidad climática (IPCC 2014).

En la Región Mediterránea (OECC 2013) se prevé: (i) un incremento de temperatura superior a la media europea, más pronunciado en los meses estivales (en el escenario climático más desfavorable a finales del siglo XXI el incremento medio sería de 3,8 °C en invierno y 6,0 °C en verano); (ii) una reducción de la precipitación anual en la Península Ibérica, más acusada cuanto más al sur, con una fuerte reducción en los meses estivales (para el supuesto más desfavorable, la reducción media sería del 12 % en invierno y del 24 % en verano a finales del siglo XXI); (iii) un aumento de extremos relacionados con precipitaciones de origen tormentoso.

Para evitar que se cumplan estas previsiones tan desfavorables es precisa una mitigación muy intensa.

CONCEPTO DE MITIGACIÓN

Mitigar en un sentido lingüístico es moderar, aplacar, disminuir o suavizar. Sin embargo, en el ámbito ambiental, y sobre todo en referencia al cambio climático, ese concepto es más amplio, e incluye también prevenir y compensar. Se establecen así tres tipos de medidas de mitigación:

- **Mitigación preventiva**, para evitar los impactos antes de que se produzcan. En el caso del cambio climático se busca evitar o reducir las emisiones de GEI y evitar la destrucción de sumideros. Es el tipo de mitigación más deseable, ya que evita la generación de impactos.
- **Mitigación correctiva**, cuyo objetivo es corregir, atenuar o minimizar impactos inevitables. Respecto al cambio climático su uso es limitado porque una vez se emite un GEI no hay corrección posible. Su aplicación se centra en la recuperación de sumideros vivos afectados.
- **Mitigación compensatoria**, cuyo objetivo es crear nuevos valores o medidas positivas para un recurso que compensen una pérdida inevitable de dicho recurso. Se pueden compensar la emisión de GEI con la creación de nuevos sumideros.

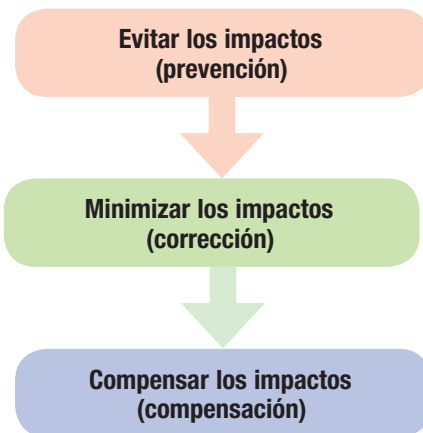


Fig. 1. Jerarquía de la mitigación

Estas medidas siguen una jerarquía, que establece un orden de prioridad, de manera que primero se deben evitar los impactos, luego minimizarlos y finalmente compensarlos (Fig. 1).

ALMACÉN Y SECUESTRO DE CARBONO

Los vegetales absorben CO_2 mediante la fotosíntesis y lo fijan en sus tejidos mediante el crecimiento. A su vez, al morir esos tejidos se descomponen en el suelo, liberándose CO_2 por el proceso de respiración de este, más intenso cuanto mayor sea el aporte de carbono y el crecimiento de la vegetación (Schlesinger & Andrews 2000).

Existen dos conceptos básicos para entender el papel de los bosques en la mitigación del cambio climático, el

almacenaje de carbono y el secuestro de carbono. El almacén es la cantidad de carbono fijado por la vegetación en un determinado momento. El secuestro de carbono es la cantidad de carbono que está fijando la vegetación en un determinado momento. El almacén y el secuestro de carbono difieren; los bosques maduros, con árboles de gran edad, disponen de un gran almacén de carbono, pero su crecimiento suele ser moderado, por lo que la tasa de secuestro es poco intensa. Los bosques jóvenes tienen menor carbono almacenado pero un crecimiento más vigoroso, a la vez que una elevada tasa de secuestro. Ambos factores están determinados por la especie, la edad y la estructura de la masa.

Existe un número creciente de trabajos donde se valora el potencial de fijación de carbono de la vegetación en España, tanto de los bosques como de los matorrales, que sirven de base para determinar la pérdida tanto de carbono fijado (almacén) como de capacidad de absorción. Algunos ejemplos son Montero et al. (2005), Agudo et al. (2007), CITAA (2008), Alías et al. (2009) o Muñoz-Rojas et al. (2011). Estos últimos autores, por ejemplo, aportan valores de densidad de carbono (*stock*) para Andalucía de 3,04 t/ha en pastizales, 8,22 t/ha en dehesas, 17,74 t/ha en matorrales, 28,24 t/ha en bosques de frondosas o 59,48 t/ha en bosques de coníferas.



MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR FORESTAL

De todos los sectores incluidos en los inventarios de GEI, el único que es un sumidero neto, con balance positivo entre el almacenamiento y la emisión de carbono (EEA 2014), es el de las actividades de uso del suelo y selvicultura o LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*). En 2014 el sector LULUCF en España tuvo una emisión de GEI de 3.014 kt CO₂-eq y una absorción de 34.515 kt CO₂-eq, con un balance neto de -31.501 kt CO₂-eq (MAPAMA 2016), casi el 10 % del total de emisiones del país. Dentro de las actividades LULUCF, el sector forestal es esencial.

Los bosques europeos se han recuperado después de siglos de degradación, incrementando su superficie y volumen de madera (EEA 2008), aunque con signos de saturación (Nabuurs et al. 2013). En España, los bosques crecen anualmente 20.911.786 t de materia seca, y solo se extrae el 25,5 %; solo en las principales especies arbóreas, los bosques españoles fijan anualmente 75.143.536 t CO₂ (Montero et al. 2005). Hay diversas recomendaciones sobre cómo mitigar el cambio climático a través de actividades LULUCF, en especial en el sector forestal (Tabla 1).

INFLUENCIA DE LA GESTIÓN FORESTAL EN LA MITIGACIÓN

La gestión forestal y los tratamientos selvícolas y culturales aplicados a las masas tienen una repercusión directa en el almacenado de carbono y en el potencial de secuestro. En España, y en general en todos los países desarrollados, el objetivo prioritario en la gestión de las masas forestales es su preservación y continuidad, no existiendo riesgos de deforestación asociados a la gestión (aunque sí a los incendios forestales), al existir una legislación y una larga tradición forestal que lo evita.

Sin embargo, dentro de esa conservación y mejora de la masa, hay distintas actuaciones que influyen positiva o negativamente en el almacenado de carbono y en la capacidad de secuestro (Tabla 2).

El que algunas medidas influyan negativamente no quiere decir que deban ser evitadas, ya que pueden tener otras ventajas. Por ejemplo, las actuaciones preventivas frente a incendios forestales implican una reducción de la carga

Medidas	Referencias
Incremento de la cubierta forestal, restauración de la vegetación y reforestación	1, 2, 3, 4, 5
I+D sobre el papel del sector forestal en la captura de GEI	1
Medidas de prevención de incendios forestales	1, 4, 5
Gestión forestal sostenible y cambios en la gestión	1, 2, 3, 4
Protección de los bosques y evitar la deforestación	2, 3, 4
Uso de la madera: productos de larga duración y uso en la construcción	2, 5
Uso de la biomasa para reemplazar combustibles fósiles	2, 3, 4, 5
Asegurar el empleo de turnos óptimos y reducción de la intensidad de corta	4
Sacar el ganado fuera de los bosques	4
Utilizar diversas especies en la reforestación	4
Plantar y proteger áreas vulnerables	4
Prevención de plagas y enfermedades	5
Maximización de los productos forestales	4
Fertilización sostenible	5
Fomentar la participación del sector privado	1
Promover el Fondo del Patrimonio Natural	1
Desarrollar un sistema de información sobre el C absorbido en el sector LULUCF	1

Tabla 1. Medidas de mitigación del cambio climático en el sector forestal.

Fuente: Enríquez de Salamanca et al. (2017b) [1 MMA (2007); 2 MAGRAMA (2015); 3 Trines (2006); 4 Vickers et al. (2012); 5 COSE (2008)]

de combustible, y con ello del carbono almacenado, con influencia negativa en cuanto a la mitigación; pero no acometer estas actuaciones implica un mayor riesgo de incendio, que si se produce da lugar a la eliminación de todo el almacén de la masa, convirtiéndolo mayoritariamente en GEI por medio de su combustión. Por otra parte, medidas que influyen positivamente pueden tener efectos indeseados. Por ejemplo, la fertilización y el riego incrementan los crecimientos de la vegetación, pero en el primer caso se emite N₂O del fertilizante y CO₂ en su fabricación (ambos GEI), y en el segundo se pueden generar impactos en la obtención del agua.

No hay por tanto reglas fijas en su aplicación, pero el gestor forestal debe ser consciente de las repercusiones de sus decisiones sobre el almacenado y secuestro de carbono, para incorporar esas consideraciones dentro del proceso de toma de decisiones.

MITIGACIÓN COMPENSATORIA EN EL SECTOR FORESTAL

Tipos de mitigación compensatoria

La compensación ambiental consis-

te en la adopción de medidas ambientales positivas para corregir, equilibrar o remediar la pérdida de recursos ambientales (Cowell 2000) o crear nuevos valores iguales a los perdidos (Kuiper 1997). La mitigación compensatoria del cambio climático en el sector forestal se puede acometer desde dos grandes perspectivas: secuestrar carbono o evitar nuevas emisiones (Fig. 2).

Secuestro de carbono en sumideros vivos

El secuestro de carbono por medio de sumideros vivos se basa en fomentar el desarrollo de vegetación, que absorba CO₂ atmosférico mediante la fotosíntesis transformándolo en materia vegetal. Existen diferentes posibilidades de actuación.

Gestión forestal

Como se ha señalado, existen numerosas actuaciones de gestión forestal que incrementan o reducen el almacén y el secuestro de carbono. Aplicar de forma premeditada medidas que incrementen ambos aspectos, obteniendo beneficios añadidos que

Medida	Influencia en el stock de carbono	Influencia en el secuestro de carbono	Influencia en otros factores
Cambio del turno de corta	En general, mayor almacenado con turnos largos	Los turnos largos reducen el crecimiento medio de la masa con la edad	Influencia en el tipo de madera obtenida
Cambio del turno de claras o podas	En general, menor almacenado a mayor frecuencia de cortas	Dependerá del crecimiento inducido	Influencia en calidad madera y crecimiento de la masa
Intensidad de cortas y claras	En general, menor almacenado a mayor intensidad de cortas	Depende de crecimiento inducido. Normal: reducción	Influencia en el crecimiento de la masa y su edad media
Cambio de densidad de la masa	En general, mayor almacenado con densidad alta, aunque pueden ser pies finos (poco volumen)	Más competencia con alta densidad: crecen en altura pero menos en diámetro	Influencia en riesgo incendio y regeneración de la masa
Desbroce de matorral, fajas y cortafuegos	Pérdida de almacén	Pérdida de vegetación con capacidad de secuestro	Reducción del riesgo de incendio y de pérdida súbita de almacén y secuestro
Retirada del ganado de zonas forestales	Aumento del almacenado a medio y largo plazo	Mejora de la regeneración y crecimiento del matorral	Mejor regeneración, mayor riesgo de incendio
Uso cinegético	Más presión en vegetación sin uso cinegético	Más presión en vegetación sin uso cinegético	Influencia positiva/negativa en la comunidad animal
Escamonda (poda de ramas muertas)	Pérdida de almacén	Sin influencia (ramas muertas)	Reducción del riesgo de incendios
Poda de ramas vivas	Pérdida de almacén	Pérdida de crecimiento en ramas bajas y mejora apical	Menor riesgo de incendios, mejor crecimiento apical
Plantaciones y siembras	Aumento del almacén, sobre todo a medio y largo plazo	Aumento del secuestro, sobre todo a medio plazo	Apoyo a la regeneración, aumento de la diversidad, aumento de la densidad
Erradicación de especies invasoras	Pérdida de almacén, al menos a corto y medio plazo	Pérdida de secuestro de invasoras; reducción de competencia a espontáneas	Evita cambios en ecosistema por la invasión biológica
Eliminación de residuos: quema	Pérdida de almacén	Sin influencia (residuo muerto)	Contribución al cambio climático por emisión CO ₂
Eliminación de residuos: trituración	Incorporación al suelo con cierta pérdida de carbono	Sin influencia (residuo muerto)	Mejora fertilidad de suelos; reduce emisión de CO ₂
Fertilización	Aumento del almacén a medio y largo plazo	Mayor crecimiento y fijación de carbono en plantaciones	Emisión N ₂ O del fertilizante y CO ₂ en su fabricación
Riego	Aumento del almacén a medio y largo plazo	Mayor crecimiento y fijación de carbono, mayor garantía de arraigo en plantaciones	Impactos consumo de agua (ecosistemas, biodiversidad)
Control de plagas y enfermedades	Mayor garantía de mantenimiento del almacén	Crecimiento menor con plagas o enfermedades	Reducción de mortandad o de la pérdida de vigor

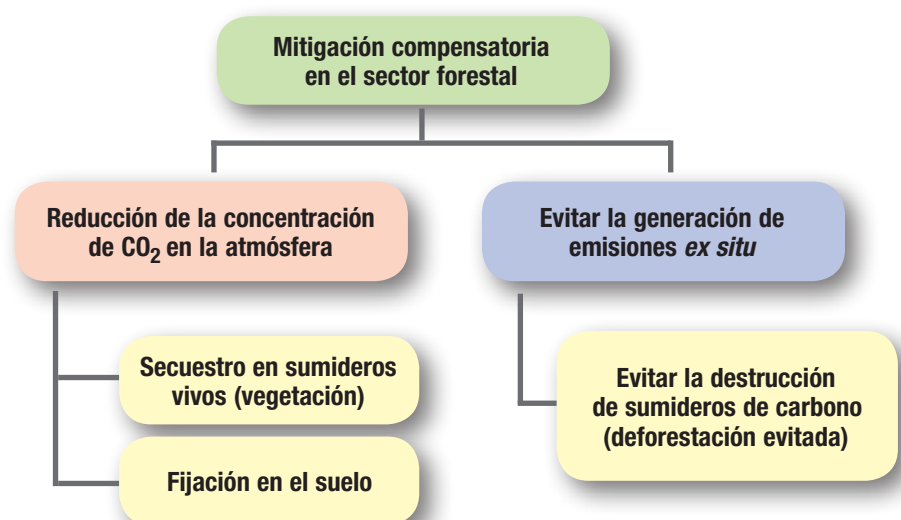
Tabla 2. Influencia de la gestión forestal en el almacenado y secuestro de carbono. Fuente: Adaptado de Enríquez de Salamanca (2017)

Abajo: Fig. 2. Mitigación compensatoria en el sector forestal

no ocurrirían sin su aplicación (lo que se denomina adicionalidad), es una forma de realizar una compensación ambiental.

Reforestación

La reforestación puede utilizarse como medida compensatoria para crear nuevos bosques o mejorar los existentes, incrementando su densidad o composición. Es importante aunar secuestro y biodiversidad, ya que maximizar el primero (por ejemplo, plantaciones de especies exóticas) puede generar impactos ecológicos indeseados. En



España, un problema para la compensación mediante reforestación es el lento crecimiento de los árboles en clima mediterráneo, que limita el potencial forestal (Nabuurs & Schelhaas 2002); eso ha llevado a un creciente interés por el matorral y la agricultura como sumideros (Agudo et al. 2007, CITAA 2008, Alías et al. 2009).

La reforestación para compensar GEI puede competir con la agricultura; alternativas basadas en usos del suelo pueden contribuir un 13 a 52 % del objetivo de reducir un 20 % los GEI en 2020, pero requerirían que el 8 a 30 % de tierras agrícolas de la UE-25 fueran reforestadas o destinadas a cultivos bioenergéticos (Ovando & Caparrós 2009). En Estados Unidos, pagos por encima de USD 50 por t CO₂ podrían reducir las emisiones de GEI más de 700 millones t CO₂-eq por año, pero implicaría la reducción de la superficie agrícola un 10 % o más (Jackson & Baker 2010).

España tiene una gran superficie de tierras agrícolas marginales y eriales susceptibles de ser reforestadas, y se esperan altas tasas de abandono en los próximos 25 años en Europa (EFTEC et al. 2010). También es favorable el tamaño del país, la gran superficie agrícola y forestal y la densidad de población menor que la media de la UE-28. Con una adecuada planificación es posible reforestar amplias superficies de territorio sin que eso suponga un conflicto con la agricultura.

Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales combinan el uso agrícola o ganadero con la presencia de arbolado, permitiendo la

producción agropecuaria y el secuestro de carbono de forma simultánea, sin requerir la transformación total del terreno (Flugge & Abadi 2006, Trines 2006, Balderas et al. 2010, Bryan et al. 2014). En España existe un sistema tradicional, la dehesa, formada por cultivos o pastos con una cubierta clara de arbolado con densidad de 20-100 pies/ha (Olea & San Miguel 2006); ocupó amplias extensiones, pero la intensificación agraria ha llevado a su reducción.

Una forma de secuestrar carbono es plantar arbolado en zonas agrícolas o ganaderas, con ventajas ecológicas, paisajísticas y edáficas, incrementando el contenido de carbono y facilitando el movimiento de agua y nutrientes. Los sistemas agroforestales son difíciles de promover por razones sociales y culturales (FAO 2001); los árboles dificultan el laboreo y cosecha, y si hay ganado se deben proteger al menos de jóvenes.

Setos vivos y bosquetes

El paisaje agrario ha sufrido una intensificación, perdiéndose arbolado progresivamente. La baja productividad del secano mediterráneo hace precisos terrenos amplios de explotación barata; setos y bosquetes suponen una molestia. Además, la concentración parcelaria ha sido muy negativa.

Las ventajas de setos y bosquetes son grandes: refugio de flora y fauna; cambio visual del paisaje; fijación de carbono en suelo y vuelo; bombeo de agua y nutrientes; protección contra viento; sombreado, e incremento de humedad. Son razones suficientes para su recuperación, plantando hileras de

setos entre cultivos, pastos y prados. Rey et al. (2016) abordan este tema.

Potencial de secuestro

El potencial de secuestro en las plantaciones (reforestación, dehesas o setos) depende de la especie empleada y su crecimiento, la densidad de plantación o, un aspecto esencial, la supervivencia (la cantidad de marras que se tengan). En la Tabla 3 se incluyen ejemplos de potencial de secuestro mediante plantaciones basados en Enríquez de Salamanca et al. (2017a), con diferentes densidades y especies, en un plazo de 35 años, empleando planta de dos savias, y con unos porcentajes de marras estimados según la especie,

Secuestro de carbono en el suelo

El uso agrícola de los terrenos, en especial el laboreo, lleva a una progresiva pérdida de carbono orgánico del suelo, que alcanza hasta dos tercios de las reservas originales (Rasmussen & Collins 1991, Loveland & Webb 2003, Lal 2004). Para aumentar la cantidad de carbono es posible aplicar agricultura de conservación (no laboreo, laboreo reducido y mantenimiento de residuos). La transformación de suelos agrícolas a plantaciones forestales favorece la fijación de carbono, por abandono del laboreo y permanencia de residuos, ayudando a su secuestro.

Deforestación evitada

Una medida de compensación del cambio climático es la “deforestación evitada”, consistente en evitar la destrucción de sumideros amenazados y con ello de su almacenaje y capacidad

Especie	DN37 cm ^(a)	Biomasa kg/pie	Carbono %	Carbono kg/pie	CO ₂ fijado kg/pie	CO ₂ fijado en 35 años		
						pies/ha	Marras	t CO ₂ /ha
<i>Pinus pinaster</i>	23 ^(b)	166,70 ^(f)	51,1 ^(f)	85,18	312,62	625	30 %	136,77
						1 111	30 %	243,12
<i>Quercus ilex</i>	14 ^(c)	135,14 ^(f)	47,5 ^(f)	64,19	235,58	100	50 %	11,78
						625	50 %	73,62
						1 111	50 %	130,86
<i>Quercus pyrenaica</i>	13 ^(d)	76,78 ^(f)	47,5 ^(f)	36,47	133,85	100	50 %	6,69
<i>Fraxinus angustifolia</i>	23 ^(e)	446,02 ^(f)	47,8 ^(f)	213,20	782,44	100	30 %	54,77

Tabla 3. Fijación de carbono en diferentes tipos de plantaciones en un plazo de 35 años

Fuente: Adaptado de Enríquez de Salamanca et al. (2017a). [a Diámetro normal con 37 años; b Río et al. (2006); c Ximénez de Embún (1963); d Delgado (2009); e Modrego & Cisneros (2008); f Montero et al. (2005)]

de secuestro. Es preciso considerar varios aspectos: (i) para ser una compensación debe tener adicionalidad y permanencia; (ii) en países desarrollados el marco legal garantiza la preservación de las masas forestales, por lo que no hay beneficios añadidos en evitar la deforestación, y (iii) solo hay deforestación evitada cuando existe un riesgo de destrucción de los bosques y no hay un marco legal sólido.

El ejemplo más claro es la financiación de proyectos en países en desarrollo, como los REDD+, un mecanismo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático destinado a incentivar a los países en desarrollo para reducir las emisiones de carbono causadas por la deforestación y la degradación forestal (UN 2016). Su ventaja es la economía, con costes por t CO₂ inferiores a la reforestación en España, y la existencia de organizaciones que facilitan esta compensación. Sin embargo, aplicar este mecanismo de forma sistemática lleva a una situación poco deseable donde los países ricos compran contaminación y los pobres venden compensación. Si compensar emisiones de GEI es caro, es un aliciente para mitigar, no para compensar barato.

OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DE LA MITIGACIÓN EN EL SECTOR FORESTAL

El uso de las actividades LULUCF (en especial forestales) como herramienta para la captura de carbono

tiene oportunidades interesantes, pero también retos importantes (Tabla 4).

Las actividades forestales pueden mitigar el cambio climático mediante absorción y almacenamiento de CO₂ o evitando la deforestación, procesos que se pueden acelerar mediante una adecuada gestión. Si se puede demostrar que esos esfuerzos se traducen en el secuestro de carbono sería posible crear unos “créditos” potencialmente comercializables (Vickers et al. 2012). Funk et al. (2014) demuestran que en Gisborne (Nueva Zelanda) la mayor parte de los terrenos podría obtener mayores ingresos de la “agricultura del carbono” que del pastoreo. Balderas et al. (2010) indican que en México los pagos en los primeros años y los costes de transacción bajos tienden a favorecer el desarrollo de proyectos de forestación en sistemas agroforestales.

Maximizar el secuestro de carbono tiene riesgos de daños a la biodiversidad: reemplazar vegetación natural por especies exóticas de crecimiento rápido (Caparrós & Jacquemont 2003, Canadell & Raupach 2008, O'Connor 2008, Hall et al. 2012); cambio en poblaciones de aves (Matthews et al. 2002); efectos inesperados en secuestro de carbono en suelos (Xiong et al. 2014).

El secuestro de carbono mediante sumideros puede implicar una reducción de tierras agrícolas, reduciéndose

la seguridad alimentaria, incrementando los precios de los alimentos y forzando la ocupación de tierras menos productivas, que retienen la mayoría de la biodiversidad (Huston & Marland 2003, Canadell & Raupach 2008, Ovando & Caparrós 2009, Jackson & Baker 2010), pero bien enfocado puede ligar secuestro y suministro de productos sostenibles, generando ingresos adicionales que favorezcan el desarrollo rural (Canadell & Raupach 2008).

Un problema para adaptar la gestión forestal a la mitigación del cambio climático, y para el fomento de la reforestación y los sistemas agroforestales, es la falta de incentivos económicos; los propietarios no ven ventajas en esas prácticas. Es preciso, por tanto, movilizar fondos desde los sectores que contribuyen al cambio climático (como industria o transporte) y destinarlos a una gestión forestal encaminada a la mitigación (Enríquez de Salamanca 2017a). Los pagos por servicios ambientales pueden ser claves para fomentar una selvicultura de uso múltiple (Ovando et al. 2017); esos servicios, por ejemplo, compensarían las inversiones públicas para apoyar la reforestación (Ovando et al. 2016). También sería muy favorable establecer un mercado único de compensación ambiental, ligando biodiversidad y carbono (Enríquez de Salamanca 2017b).

Oportunidades	Mitigar el cambio climático por absorción y almacenamiento de CO ₂ o deforestación evitada
	Los procesos se puede acelerar y traducir en créditos de C potencialmente comercializables ⁽¹⁾
	Unir el secuestro de C con el suministro de productos sostenibles y con mayores ingresos ⁽²⁾
	Fortalecer el valor de los ecosistemas y ligarlo a los pagos por servicios ambiental (PES)
Desafíos	Reducción de la pobreza (y desempleo) a través de PED, incluyendo mercados de C ^(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
	Credibilidad, necesitando estándares internacionales que den legitimidad a la compensación ^(10, 11)
	No existen beneficios añadidos (adicionalidad) en la deforestación evitada en países desarrollados
	La maximización del secuestro de C tiene el riesgo de causar daños a la biodiversidad ^(2, 12, 13, 14, 15, 16)
	Reducción de tierras agrícolas, con menor seguridad alimentaria e incremento de precios ^(2, 17, 18)
	Ocupación de las tierras menos productivas, donde se mantiene la mayoría de biodiversidad ⁽¹⁹⁾
	La permanencia es esencial para la compensación ambiental.

Tabla 4. Oportunidades y desafíos del secuestro de carbono mediante actividades LULUCF

Fuente: Enríquez de Salamanca (2017b) [1Vickers et al. (2012), 2Canadell & Raupach (2008), 3Landell-Mills (2002), 4Pagiola et al. (2005), 5Grieg-Gran et al. (2005), 6Wunder (2008), 7Engel et al. (2008), 8Muradian et al. (2010), 9Milder et al. (2010), 10GS (2013), 11VCS (2013), 12Caparrós & Jacquemont (2003), 13O'Connor (2008), 14Hall et al. (2012), 15Matthews et al. (2002), 16Xiong et al. (2014), 17Ovando & Caparrós (2009), 18Jackson & Baker (2010), 19Huston & Marland (2003)]

CONCLUSIONES

El sector forestal tiene un enorme potencial para la mitigación del cambio climático. Muchas medidas de gestión influyen en el almacenado y capacidad de secuestro de carbono de los montes, de manera positiva o negativa, siendo preciso tener este criterio en cuenta en la toma de decisiones.

Sin duda, el mayor potencial del sector forestal es su capacidad de secuestro de carbono a largo plazo, retenido en los árboles o en la madera. Esto abre la posibilidad de compensar



Ismael Muñoz

Referencias

- Agudo R, Muñoz M, Pino O. 2007. *Primer inventario de sumideros de CO₂ de Andalucía*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Alías JC, García M, Valares C, Sosa T, Chaves N. 2009. El matorral como sumidero de carbono. *5.º Congreso Forestal Español*.
- Balderas A, Marchant R, Lovett JC, Smart JCR, Tipper R. 2010. Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation. *Ecol. Econ.* 6: 469–477.
- Bryan BA, Nolan M, Harwood TD, Connor JD, Navarro J, King D, Summers DM, Newth D, Cai Y, Grigg N, Harman I, Crossman ND, Grundy MJ, Finnigan JJ, Ferrier S, Williams KJ, Wilson KA, Law EA, Hatfield S. 2014. Supply of carbon sequestration and biodiversity services from Australia's agricultural land under global change. *Global Environ. Chang.* 28: 166–181.
- Canadell JG, Raupach MR. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science* 320 (5882): 1456–1457.
- Caparrós A, Jacquemont F. 2003. Conflicts between biodiversity and carbon sequestration programs: economic and legal implications. *Ecol. Econ.* 46: 143–157.
- CITAA. 2008. *Estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de CO₂: existencias y potencialidad (estimación cuantitativa y predicciones de fijación)*. Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- COSE. 2008. *Guía de buenas prácticas para mitigar el cambio climático*. COSE.
- Cowell R. 2000. Environmental compensation and the mediation of environmental change: making capital out of Cardiff Bay. *J. Environ. Plan. Manage.* 43: 689–710.
- Delgado S. 2009. *Revisión histórica y tipificación dasométrica de los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.) del monte de U.P. n.º 1 'Matas de Valsáin' de la provincia de Segovia. Influencia de la cepa en el crecimiento del árbol individual*. UPM.
- EEA. 2008. *European forests—ecosystem conditions and sustainable use*. <http://www.eea.europa.eu/publications>.
- EEA. 2014. *Trends and projections in Europe 2014. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets for 2020*. EEA Report. No 6/2014. <http://www.eea.europa.eu/publications>.
- EFTEC, IEEP, Stratus & UICN. 2010. The use of market-based instruments for biodiversity protection – The case of habitat banking. Technical Report. http://ec.europa.eu/environment/enveco/pdf/eftec_habitat_technical_report.pdf.
- Engel S, Pagiola S, Wunder S. 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecol. Econ.* 65: 663–674.
- Enríquez de Salamanca Á. 2017. *Consideración del cambio climático en la evaluación de impacto ambiental de infraestructuras lineales de transporte*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Enríquez de Salamanca Á, Martín-Aranda RM, Díaz-Sierra R. 2017a. Potential of land use activities to offset road traffic greenhouse gas emissions in Central Spain. *Science of the Total Environment* 590–591: 215–225.
- Enríquez de Salamanca Á, Martín-Aranda RM, Díaz-Sierra R. 2017b. Towards an integrated environmental compensation scheme in Spain: Linking biodiversity and carbon offsets. *J. Environ. Assess. Pol. Manage.* 19(1): 1750006.
- FAO. 2001. *Soil carbon sequestration for improved land management*. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96e.pdf>.
- Flugge F, Abadi A. 2006. Farming carbon: an economic analysis of agroforestry for carbon sequestration and dryland salinity reduction in Western Australia. *Agroforest. Syst.* 68: 181–192.
- Funk JM, Field CB, Kerr S, Daigneault A. 2014. Modeling the impact of carbon farming on land use in a New Zealand landscape. *Environ. Sci. Policy* 37: 1–10.
- Grieg-Gran M, Porras I, Wunder S. 2005. How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. *World Dev.* 33(9): 1511–1527.
- GS. 2013. *Afforestation/Reforestation (A/R) Requirements*. The Gold Standard. <http://www.goldstandard.org>.
- Hall JM, Van Holt T, Daniels AE, Balthazar V, Lambin EF. 2012. Trade-offs between tree cover, carbon storage and floristic biodiversity in reforesting landscapes. *Landscape Ecol.* 27: 1135–1147.
- Huston MA, Marland G. 2003. Carbon management and biodiversity. *J. Environ. Manage.* 67: 77–86.
- IPCC. 2014. *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra. 40 pp.
- Jackson RB, Baker JS. 2010. Opportunities and constraints for forest climate mitigation. *BioScience* 60(9): 698–707.
- Kuiper G. 1997. Compensation of environmental degradation by highways: a dutch case study. *Eur. Environ.* 7: 118–125.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1–22.
- Landell-Mills N. 2002. Developing markets for forest environmental services: an opportunity for promoting equity while securing efficiency? *Philos. T. Roy. Soc. A* 360: 1817–1825.
- Loveland P, Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* 70: 1–18.



emisiones de GEI de otros sectores -como la industria o el transporte- en el sector forestal por medio de la reforestación de terrenos agrícolas marginales o poco productivos, la creación de sistemas agroforestales (dehesas) o la plantación de setos o bosquetes entre cultivos y prados. Estas actuaciones podrían movilizar fondos hacia el sector forestal mediante pagos por servicios ambientales o créditos de carbono, con un beneficio múltiple, de mitigación del cambio climático, mejora de la biodiversidad y el paisaje y mejora de rentas y fomento del desarrollo rural. **F**

- MAGRAMA. 2015. *Cambio climático. Mitigación: políticas y medidas. Instrumentos y opciones tecnológicas. Sectores de actividad*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA. 2016. *Inventario de gases de efecto invernadero de España. Serie 1990-2014. Informe resumen*. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Matthews S, O'Connor R, Plantinga AJ. 2002. Quantifying the impacts on biodiversity of policies for carbon sequestration in forests. *Ecol. Econ.* 40: 71–87.
- Milder J, Scherr S, Bracer C. 2010. Trends and future potential of payment for ecosystem services to alleviate rural poverty in developing countries. *Ecol. Soc.* 15(2): 4.
- MMA. 2007. *Estrategia española de cambio climático y energía limpia. Horizonte 2007-2012-2020*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Modrego MP, Cisneros O. 2008. Relación entre incremento diametral y parámetros ecológicos para *Fraxinus excelsior* L. en el noroeste de Castilla y León. *Cuad. Soc. Esp. Ci. For.* 25: 301–308.
- Montero G, Ruiz-Peinado R, Muñoz M. 2005. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. INIA, Madrid.
- Muñoz-Rojas M, De la Rosa D, Zavala LM, Jordán A, Anaya-Romero M. 2011. Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956–2007). *Sci. Tot. Environ.* 409: 2796–2806.
- Muradian R, Corbera E, Pascual U, Kosoy N, May P. 2010. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecol. Econ.* 69: 1202–1208.
- Nabuurs GJ, Schelhaas MJ. 2002. Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecol. Indic.* 1: 213–223.
- Nabuurs GJ, Lindner M, Verkerk PJ, Gunia K, Deda P, Michalak R, Grassi G. 2013. First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nat. Clim. Change* 3: 792–796.
- O'Connor D. 2008. Governing the global commons: Linking carbon sequestration and biodiversity conservation in tropical forests. *Global Environ. Chang.* 18: 368–374.
- OECC. 2013. *Cambio climático: bases físicas. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC grupo de trabajo I*. Oficina Española del Cambio Climático, Madrid.
- Olea L, San Miguel A. 2006. The Spanish dehesa. A Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Grassland Sci. Eur.* 11: 3–13.
- Ovando P, Caparrós A. 2009. Land use and carbon mitigation in Europe: a survey of the potentials of different alternatives. *Energ. Policy* 37: 992–1003.
- Ovando P, Oviedo JL, Campos P. 2016. Measuring total social income of a stone pine afforestation in Huelva (Spain). *Land Use Policy* 50: 479–489.
- Ovando P, Caparrós A, Díaz-Balteiro L, Pasalodos M, Beguería S, Oviedo JL, Montero G, Campos P. 2017. Spatial valuation of forests' environmental assets: an application to Andalusian silvopastoral farms. *Land Econ.* 93(1): 87–108.
- Pagiola S, Arcenas A, Platais G. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Dev.* 33(2): 237–253.
- Rasmussen PE, Collins HP. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy* 45: 93–134.
- Rey JM, Gómez JI, Mesa AV. 2016. *Guía para la plantación de setos e islotes forestales en campos agrícolas mediterráneos*. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, Madrid
- Río M, López E, Montero G. 2006. *Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de Pinus pinaster Ait., Pinus sylvestris L. y Pinus nigra Arn. en Castilla y León*. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Schlesinger WH, Andrews JA. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48: 7–20.
- Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. Cambridge University Press, Cambridge-New York.
- Trines E. 2006. *Second informal dialogue on the role of LULUCF in the climate change response*. http://www.mapama.gob.es/va/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/lulucf_02_tcm35-12392.pdf
- UN. 2016. UN-REDD Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)-United Nations Development Programme (UNDP)-United Nations Environment Programme (UNEP). <http://www.un-redd.org>.
- VCS. 2013. *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements v3.4*. Verified Carbon Standard. <http://www.v-c-s.org>
- Vickers B, Trines E, Pohnan E. 2012. *Community guidelines for accessing forestry voluntary carbon markets*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3033e.pdf>.
- Wunder S. 2008. Payments for environmental services and the poor: concepts and preliminary evidence. *Environ. Dev. Econ.* 13: 279–297.
- Ximénez de Embún J. 1963. *Diez temas sobre los árboles*. Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Xiong X, Grunwald S, Brenton D, Wade C, Harris WG, Comerford NB. 2014. Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration. *Sci. Tot. Environ.* 493: 974–982.