



COMUNICACIÓN

LOS SISTEMAS FORESTALES Y LA PROVISIÓN DE BIENES AMBIENTALES

Luis Díaz Balteiro

Departamento de Economía y Gestión Forestal
Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la creciente importancia que hoy en día representan los bienes ambientales dentro de los ecosistemas forestales, esta comunicación ha pretendido centrarse en un caso, el carbono capturado por los bosques, que últimamente está teniendo una gran difusión y que presenta unas características que le convierten en un subrogado de los bienes ambientales dentro de los sistemas forestales.

Después de centrar este output dentro de los bienes ambientales y relacionarlo con la realidad económica y forestal, se abordará un caso muy cercano a la realidad agrícola actual como es el cambio de uso en la tierra. Es decir, y por poner el ejemplo más sencillo, pasar de un sistema agrícola a un sistema forestal. Esta transformación, que generalmente está ligada a decisiones de ámbito financiero y apoyada por ciertos incentivos europeos, se va estudiar introduciendo una componente ambiental como es carbono capturado. En concreto, se abordarán dos casos en los que se incluye una especie de turno corto, las choperas en el Valle del Duero, y otra especie de turno medio, el pino radiata en el País Vasco.

2. EL CARBONO CAPTURADO Y LOS BIENES AMBIENTALES

Como es fácilmente demostrable, los ecosistemas forestales están caracterizados como sistemas que proporcionan múltiples bienes y servicios, dada la diversidad en cuanto a sus producciones. Dentro de esta multiplicidad de funciones, es preciso destacar aquellos bienes que presentan un precio de mercado, donde se incluiría la madera como el aprovechamiento tradicional de casi todos los espacios forestales, y también lo que se conoce como los productos forestales no madereros (resinas, corcho, frutos, etc.). Siguiendo con esta división, hay otra serie de funciones que carecen de un precio de mercado. Aquí hablaríamos de servicios como los paisajísticos, los recreativos, el aspecto de protección, la biodiversidad, etc. Dejando a un lado otros productos que se pueden obtener en los ámbitos forestales y que estarían entre las dos categorías planteadas (caza, agua, setas, etc.), parece sencillo encuadrar inicialmente la captura de carbono dentro de este segundo grupo de bienes que carecen de un precio de mercado. Esto no es óbice para que en un futuro próximo, como se explicará en el próximo apartado, se disponga de un precio de mercado para cada tonelada de

carbono y este output pase a formar parte de los bienes forestales que presentan esta cualidad.

Por otro lado, es preciso apuntar que esta simple división que hoy en día parece muy natural no ha estado tradicionalmente asumida en los modelos de gestión forestal. En efecto, la relación del hombre con los sistemas forestales hasta hace relativamente poco tiempo, ha sido una relación puramente extractiva. Es decir, únicamente se extraían las materias primas necesarias para diferentes actividades industriales, ya sea la madera, el corcho, la resina, etc. La gestión únicamente se ocupaba de que existiera en el futuro una persistencia del recurso.

Sin embargo, en los últimos años se está produciendo o se ha producido ya un cambio notable de la sociedad en su relación frente a los montes. Es decir, hoy en día la sociedad ya no ve un sistema forestal como una especie de despensa de madera, si no que lo percibe como un sistema multifuncional que proporciona a los ciudadanos un gran número de utilidades. Este cambio de percepción está suscitando problemas dentro de la gestión forestal, fundamentalmente debido a dos cuestiones: la valoración de estas externalidades positivas, y su integración dentro de la gestión forestal, tradicionalmente orientada hacia un único producto: la madera. Además, hay que señalar el hecho de que la Legislación actual que rige todos estos aspectos (Ley de Montes, Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes Arbolados, etc.), son normas antiguas que no recogen las demandas que la sociedad exige en la gestión de los sistemas forestales. Sin embargo, es preciso apuntar que el recientemente aprobado Plan Forestal Español¹ recoge explícitamente la multifuncionalidad de los ecosistemas forestales, y como funciones de los montes destaca la ecológica y la social, además de la productiva.

Finalmente, es preciso apuntar el hecho de que aunque la captura de carbono sea vista como un sustituto de los bienes ambientales de los montes, máxime si en un futuro cercano presenta un precio de mercado, esta circunstancia no debe ocultar en la toma de decisiones la existencia de otras externalidades positivas presentes en estos sistemas. Es decir, en general no se debiera reducir el problema a un caso de dos producciones, ya que esto podría perjudicar las características de los demás bienes y servicios de los ecosistemas forestales.

3. LA FIJACIÓN DE CARBONO Y LOS SISTEMAS FORESTALES

Dado que por razones de tiempo y espacio no es posible abordar conjuntamente todos los bienes ambientales asociados a los bosques, en este trabajo se ha elegido únicamente al carbono capturado. Algunas de las razones que justifican esta elección han sido ya aportadas en el apartado anterior, pero existen otros argumentos de gran relevancia. En primer lugar, parte del carbono capturado bruto (el situado en el tronco de los árboles, y únicamente asociado al crecimiento de la masa) es fácilmente medible y, por lo tanto, su valoración no resulta complicada, a diferencia de otros servicios ambientales. Por otro lado, resulta evidente de que esta función es universal a todos los sistemas forestales, ya que es inherente al crecimiento de los mismos. Otra razón que justifica esta elección es la importancia que presenta el CO₂ dentro del conjunto de gases que anualmente se emiten a la atmósfera y que, según numerosos autores, está provocando un cambio climático global.

Así, en los últimos años se han esbozado principios de acuerdo transnacionales para reducir las emisiones de ciertos gases contaminantes a la atmósfera. El motivo que subyace en estos acuerdos radica en la perentoria necesidad de tomar medidas ante la posible existencia de un cambio climático a escala global. En el llamado Protocolo de Kyoto (1997) se sentaron las bases para establecer un compromiso para reducir las emisiones de CO₂, principalmente de países desarrollados, y estos acuerdos han sido perfilados en reuniones posteriores (Bonn, Marrakech, etc.). Sin embargo, a pesar de haber transcurrido un cierto tiempo desde su

¹ http://www.mma.es/conserv_nat/planes/planifor/pfeindex.htm#Documentos

aprobación todavía no ha entrado en vigor, ya que debe ser ratificado por al menos aquellos países industrializados responsables del 55% de las emisiones.

En el caso de España, el protocolo admite que pueda aumentar sus emisiones, comparándolas con las de 1990, hasta un máximo del 15%. Esta circunstancia podría justificar la poca atención que desde algunas administraciones públicas se le ha venido dando a este problema. Sin embargo, y tomando datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente² se puede apreciar que hasta el año 2001 las emisiones han aumentado un 35% con respecto al año base (1990), con lo cual el objetivo a cumplir en el primer período de aplicación de estos acuerdos (2008-2012) se complica. Los datos existentes, aunque la actualización de la información recogida es muy pobre (sólo incluye el carbono asociado a parte del estrato aéreo y se basa en la comparación de los inventarios nacionales, que debido a su periodicidad no permiten extraer balances anuales), confirman que en nuestro país los bosques son un sumidero de carbono, aunque dicha fijación neta sólo alcanza a una parte pequeña de las emisiones anuales (según diversos autores esta cifra oscila entre un 10 y un 25%).

En esta tesitura, cabría preguntarnos qué papel pueden jugar las plantaciones que desde principios de los años 90 se han venido realizando en nuestro país, a través de los sucesivos programas europeos de forestación de tierras agrarias. Tomando algún trabajo publicado sobre la cuantificación de estas forestaciones (Herruzo, 2001) y siguiendo el procedimiento utilizado por la Agencia Ambiental Europea para cuantificar el carbono capturado, se observa que en los primeros años de vigencia de estos programas (hasta el año 1998, inclusive) el carbono asociado a estas forestaciones supone un porcentaje pequeño (alrededor del 10%) de la captura total.

Con toda esta información, y aunque algunas fuentes utilizadas son incompletas y/o inexactas, se puede afirmar que la captura de carbono en los ecosistemas forestales no va a suponer la solución al problema. Simplemente va a mitigar en mayor o menor grado las emisiones anuales y, en definitiva, nos va a permitir, siguiendo a Cannell (1999), "comprar tiempo" hasta que se encuentren soluciones que verdaderamente resuelvan el problema. Además, hay que tener en cuenta las limitaciones recogidas en las últimas cumbres de Bonn y Marrakech para la contabilización del carbono almacenado gracias a mejoras en la gestión de los montes.

A la hora de incluir en el análisis el carbono capturado es necesario tener en cuenta diversas circunstancias. En primer lugar, habría que definir la forma que se elige para medir el incremento en la captura de carbono o, dicho de otra forma, cómo pueden los sistemas forestales contribuir a la fijación del carbono atmosférico. Por un lado estaría el carbono acumulado por los árboles en su proceso de crecimiento (carbono bruto), cuya mayor o menor dificultad en la medición radica en la precisión elegida en el análisis. Así, mientras que el carbono almacenado en los troncos es fácil de medir, no ocurre lo mismo con el carbono dispuesto en otros estratos (raíces, hojarasca, leñas, etc.). La segunda forma tiene que ver con la eficiencia de ese proceso de acumulación de carbono. Si se promueve que el uso final de la madera se destine a productos que presenten una dilatada vida útil, se logrará que la re-emisión de CO₂ a la atmósfera sea lo más tardía posible. Es decir, en este caso se mediría no el carbono bruto, sino el carbono neto calculado como diferencia entre el carbono capturado por la masa y el carbono emitido según los diferentes usos a los que se ha destinado la madera obtenida en la forestación. En este caso habría que tener en cuenta el carbono en los distintos productos obtenidos a partir de la madera, con independencia de su uso y de su cualidad de producto final o intermedio. También aquí habría que contabilizar los productos susceptibles de ser reciclados. Estas dos formas responden a un proceso doble que se produce en la fijación del carbono: no basta con capturarlo de la atmósfera, sino que hay que conservarlo en forma terrestre el mayor espacio de tiempo posible. Por último, existe una tercera forma que tienen los sistemas forestales de incidir en la captura de carbono que consistiría en sustituir el uso de combustibles fósiles por la potenciación de la biomasa como fuente energética.

² http://reports.eea.eu.int/technical_report_2002_75/en

Desde el punto de vista de la gestión forestal, y teniendo en cuenta las dos primeras formas de captura consideradas, hay que tener presente que aspectos como la elección del turno de la masa resultarán básicos por un doble motivo: por un lado al incrementar el carbono total capturado, y por otro, redistribuyendo dicho carbono de los bosques a otras fuentes y sumideros, en función de la aptitud de los productos obtenidos a esa edad de corta. Por la misma razón, la programación de ciertas actividades selvícolas como las claras influirá en la cantidad de carbono acumulado.

Finalmente, es preciso apuntar el hecho de que este servicio no sólo se mira con atención en una escala agregada, sino que algunos autores lo sitúan dentro del término "trees aside the forest", en el que se situarían todos los bienes y servicios producidos por los árboles fuera de los bosques. Aquí se englobarían aspectos como el arbolado urbano, la captura de carbono bruta realizada por dichos árboles, o la forestación de tierras anteriormente agrarias.

4. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA FIJACIÓN DE CARBONO

En este apartado se pretende realizar unas breves consideraciones acerca de algunos aspectos económicos y empresariales relacionados con la fijación de carbono. En primer lugar, es preciso tener en cuenta que, a priori, nos encontramos ante un caso de lo que en economía se llama producción conjunta, es decir, con los mismos factores de producción obtenemos varios outputs. El caso más sencillo puede ser, por ejemplo, la obtención de madera, y a la vez, el carbono capturado. Sin embargo, al hacer esta hipótesis estamos admitiendo que el propietario está empleando la misma cantidad de uno de los factores de producción (esfuerzo de gestión) para ambos outputs. Hoy en día puede ser así, pero es preciso apuntar que si se forma un mercado global de créditos de carbono, es probable que haya que modificar esta hipótesis. También es preciso apuntar que posibles cambios en el precio del otro output considerado (madera) pueden modificar sensiblemente la gestión con respecto al carbono.

En esta línea, es factible augurar la existencia de un mercado de este tipo a nivel global. Este tipo de mercados ya han comenzado su andadura en algunos países de la UE [Dinamarca, Reino Unido], con resultados muy prometedores, sobre todo en el caso británico. De hecho se espera que en los próximos años a nivel comunitario se tome una iniciativa conjunta en este sentido. En otros países (Estados Unidos, Australia, etc.) existen iniciativas parecidas y algunos autores (Foroohar, 2001) auguran que se convierta a nivel global en uno de los mayores mercados de "commodities". Es preciso apuntar que también existen evidencias a nivel empresarial: algunas multinacionales (Shell) están promoviendo cambios en sus tecnologías para reducir las emisiones de este gas.

Si se consuma esta hipótesis, es fácil pensar que se producirán cambios dentro de los usos del suelo, dentro del sector forestal y también en la agricultura, promoviéndose por ejemplo ciertas prácticas más conservadoras en relación a la fijación de CO₂. El precio que tendrá cada tm de carbono será un elemento clave para la realización de estos cambios. En efecto, cuanto mayor sea el precio, mayor incentivo existirá para reducir las emisiones. En definitiva, desde el lado de la oferta se puede observar que los factores que más directamente influirán en la fijación del precio serán el coste de reducción de las emisiones y el coste de actuaciones competitivas con estas reducciones (forestaciones). Por el lado de la demanda habría que tener en cuenta los incentivos promovidos por diferentes políticas (nacionales, supranacionales, etc.) y por otros agentes (ONGs) para incentivar la captura de carbono. Finalmente, es preciso apuntar que este mercado se prevé muy diferente al de la madera en cuanto a aspectos como su transparencia y su vinculación a distintos estamentos de la sociedad, ya que se trata de un mercado mucho más dinámico y con grandes posibilidades de extensión (futuros, opciones, etc.).

5. EL CARBONO Y EL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA

Es preciso tener en cuenta que a la hora de plantarse un cambio de uso (por ejemplo de agrícola a forestal), un propietario se enfrenta a un proceso de decisión complejo y que muchas veces no es monocriterio (por ejemplo, maximizar el VAN asociado a la inversión), sino que influyen otros objetivos (precisamente los aspectos ambientales). A continuación se va a analizar la provisión de este bien bajo una perspectiva dual: por un lado, y desde un punto de vista privado, cómo influiría en el propietario la consideración de la captura de carbono, y por otro lado, desde el punto de vista social, cómo afectan a la provisión óptima de este bien la existencia del sistema actual de ayudas a la forestación. Para simplificar los cálculos, se obviará la cantidad de carbono fijada en los terrenos anteriormente agrícolas.

Aunque, como se ha comentado con anterioridad, en el proceso de decisión de iniciar una forestación se pueden o han podido tomar opciones pensando sólo en un tipo de producción (madera), esta circunstancia no excluye que se pueda contabilizar este otro output ambiental. Así, bajo la óptica de un propietario privado o un posible inversor en esta clase de activos forestales, estas circunstancias sitúan al centro decisor ante un problema de producción conjunta, prácticamente homotética, frente al único objetivo que existía hasta hace poco tiempo. Admitiendo este hecho, en primer lugar es preciso señalar las marcadas diferencias entre ambos bienes. Mientras que la madera es un bien privado, con un mercado perfectamente definido, el CO₂ capturado actualmente todavía es preciso catalogarlo como un bien público, por lo que en principio no existe un mercado para el mismo y por tanto no se le puede asignar un precio. Desde un punto de vista económico, la presencia de este bien público genera un fallo de mercado provocando una divergencia entre el óptimo privado y el óptimo social, desconocido en principio.

Aunque no está clara la forma en que el propietario puede beneficiarse de esta circunstancia, si se contabiliza el carbono capturado parece que puede aumentar sus ingresos sin alterar ninguno de los inputs, además de obtener otros efectos positivos como puede ser el posible incremento del precio de la tierra. En esta tesitura, el propietario pensará en cómo ajustar sus factores de producción para obtener el máximo rendimiento a ambas producciones.

Una hipótesis habitualmente empujada en este tipo de análisis sería la de suponer que el propietario maximiza el ingreso derivado de la corta final. Sin embargo, hay que tener presente que en la decisión de cortar una masa forestal intervienen, en muchas ocasiones, otras variables además de las puramente financieras. En España no abundan estudios precisos sobre el comportamiento de los propietarios forestales, pero investigaciones similares realizadas en otros países (Kuuluvainen *et al.*, 1996; Karppinen, 1998; Kline *et al.*, 2000) confirman la idea de que intervienen otros factores (ambientales, estéticos, edad y renta del propietario, utilización de los diversos beneficios proporcionados por la masa, etc.) en esta decisión. Incluso algunos otros autores (Stavins, 1999) apuntan otra serie de razones (restricciones debidas a la falta de liquidez, incertidumbre, otros costes y beneficios marginales de usos alternativos de la tierra) que podrían explicar las preferencias de los propietarios ante cambios del uso agrícola al forestal.

A continuación se van a describir los dos casos estudiados, comenzando por la metodología empleada, que nos va permitir responder a una serie de preguntas. La primera sería como podemos integrar la captura de carbono en esta decisión. Es decir, si podemos calcular una rentabilidad a la plantación incluyendo la cantidad de carbono como output, y cómo varía el turno óptimo al considerar ambos outputs. Otra cuestión directamente relacionada sería ver para qué situaciones se justificaría pasar de un cultivo agrícola a una plantación forestal. Por último, se considera importante ver, desde un punto de vista tanto privado como social, el efecto de las vigentes ayudas de forestación de tierras agrarias.

6. METODOLOGÍA EMPLEADA

Para realizar este análisis se ha considerado la metodología habitualmente empleada para el cálculo del turno económicamente óptimo. Aunque en la literatura se citan diversas formas de establecer el turno óptimo de una masa forestal, según se consideren criterios biológicos, forestales o económicos, bajo una perspectiva financiera está admitido que la solución correcta es la propuesta por Faustmann (1849). Esta metodología asocia la vida óptima de una masa a aquella edad en la cual el valor actual neto asociado a la inversión subyacente es máximo, pero teniendo en cuenta el coste de oportunidad de tener el suelo ocupado. En Romero (1997) se puede encontrar una amplia y clara exposición de los turnos más utilizados en el ámbito forestal, así como del análisis y extensiones de la solución propuesta por Faustmann.

Para introducir en la fórmula de Faustmann los diversos cobros y pagos asociados a la vida de la forestación, se ha seguido un procedimiento similar al mostrado en Díaz Balteiro y Romero (1995) o en Mutke *et al.* (2000). Para ello, se asimila el producto $P \cdot f(t)$ con una función de ingreso temporal $I(t)$ que representa el ingreso obtenido por la venta de madera (producto del precio P por la producción $f(t)$) a los t años. Además del coste de forestación (K), existen otros cobros y pagos que es necesario introducir en el análisis. Así, G representa los pagos anuales de explotación; Y_s serían los pagos debido a labores culturales (labores de mantenimiento, clareos, etc.) y C_l serían los cobros derivados de las posibles claras efectuadas. Las ayudas comunitarias se han introducido del siguiente modo: P_m representa la prima de mantenimiento que se percibe durante los primeros cinco años; P_c se corresponde a la prima compensatoria percibida durante veinte años por cambio de uso del suelo y K_1 sería la subvención para los gastos de forestación. Este sería el caso más general, donde se supone que la forestación cumple los requisitos incluidos para participarse de los tres tipos de ayudas y que estas primas se cobran de forma escalonada en el año correspondiente. Para el cálculo del turno óptimo no son aplicables ni la metodología de Faustmann, al no incorporar otros bienes y servicios no madereros, ni la de Hartman (Hartman, 1976), al requerir este enfoque la estimación de un flujo de servicios medidos en unidades monetarias. En este trabajo se ha seguido una metodología similar a la propuesta en Romero *et al.* (1998) a la hora de integrar el carbono capturado. Así, se introducirá una subvención (A €) por cada tm de carbono capturado por la masa. De igual forma, se aplicará un impuesto (también de A €) por cada tm de carbono que se emite a la atmósfera a partir de los productos obtenidos de la citada plantación. Introduciendo todas estas componentes, y considerando que las subvenciones sólo se reciben en la primera forestación, el VAN asociado a la inversión sería el siguiente:

$$VAN = \frac{I(t) \cdot e^{-i \cdot t} - K - G \cdot \alpha - \sum_{\forall s} Y_s \cdot e^{-i \cdot s} + \sum_{\forall l} C_l \cdot e^{-i \cdot l} + A \sum_{\forall r} C_a \cdot e^{-i \cdot r} - A \sum_{\forall v} C_e \cdot e^{-i \cdot v}}{1 - e^{-i \cdot t}} + K_1 + P_m \cdot \beta + P_c \cdot \gamma$$

con:

$$\alpha = \frac{e^{(-i \cdot 1)} \cdot (e^{(-i \cdot t)} - 1)}{(e^{(-i \cdot 1)} - 1)}$$

$$\beta = \frac{e^{(-i \cdot 1)} \cdot (e^{(-i \cdot 5)} - 1)}{(e^{(-i \cdot 1)} - 1)}$$

$$\gamma = \frac{e^{(-i \cdot 1)} \cdot (e^{(-i \cdot 20)} - 1)}{(e^{(-i \cdot 1)} - 1)}$$

En donde C_a representaría el carbono capturado a la edad r , mientras que C_e sería el carbono emitido en el momento v . En principio únicamente se ha estimado el carbono almacenado obtenido a lo largo de la vida de la plantación a través de la madera comercializable, tanto de la corta final como de las claras efectuadas. No se ha considerado el

carbono capturado en otro tipo de biomasa, ni la variación del carbono del suelo. En principio se va a aplicar una tasa de descuento del 7%, y no se va a considerar ningún pago de impuestos. Tanto el turno óptimo como la rentabilidad de las distintas plantaciones quedarían definidos maximizando la ecuación anterior.

Para estimar el carbono contenido en el monte, se ha seguido el procedimiento descrito en Díaz Balteiro (1999). Mediante una serie de cálculos se evalúa el carbono futuro que se capturará en cada año, incluyendo no sólo el relativo al crecimiento de la masa, sino también el carbono retenido en productos obtenidos a partir de la madera de las cortas de regeneración. En este modelo, y atendiendo a los usos más habituales para las dos especies consideradas, se van a considerar tres tipos de destinos para la madera: chapa, sierra y tableros, descartándose otros posibles usos. El cálculo del carbono según cada posible destino se realiza asumiendo las hipótesis efectuadas por Row y Phelps (1996), y se asume que todo el carbono retorna a la atmósfera pasados 150 años. Además, en cuanto al precio del carbono, aunque en la literatura se han enunciado diversas metodologías (Díaz Balteiro, 2000), que básicamente pretenden conocer cuánto estaría dispuesto a pagar la sociedad por cada tm de C atmosférico que pasa a forma terrestre, en este trabajo se ha optado por igualar el óptimo privado y social a través de una subvención al precio de la madera. Por último, es necesario apuntar que se ha considerado la misma tasa de descuento para ambos productos. Esta circunstancia se justifica por la cercana posibilidad de que el carbono capturado se convierta en un bien privado.

En los distintos casos estudiados se ofrecerán resultados (VAN, turno óptimo y cantidad de carbono capturado) considerando diversos óptimos. Así, por un lado se mostrará el óptimo privado, definido por aquel turno para el cual el VAN es máximo. Contrapuesto a este punto sería el óptimo ambiental, correspondiente al turno para el cual la captura de carbono es máxima. Entre ambos óptimos se situaría el óptimo social, u óptimo que refleja las preferencias de la sociedad por ambos bienes.

Finalmente es preciso resaltar que se ha considerado un entorno perfectamente determinista en el análisis. Esto implica que no se han tenido en cuenta ni la existencia de variaciones en las hipótesis iniciales (precio de la madera, existencia de perturbaciones de cualquier tipo que puedan afectar los rendimientos madereros de las plantaciones, etc.), ni posibles cambios en la gestión (motivados por avances tecnológicos, cambio en el precio de los outputs, etc.) a lo largo de los sucesivos turnos incluidos en el análisis.

7. CASOS CONSIDERADOS

En primer lugar se ha considerado una plantación de chopos (*Populus sp.*), cultivo forestal abundante en regiones como Castilla y León, y que presenta un manejo muy intensivo, con unos turnos que generalmente oscilan entre 12 y 15 años. Los detalles técnicos referidos a la función de producción utilizada, tratamientos culturales, precio de la madera y cuantía de las subvenciones están recogidos en Díaz Balteiro (2002).

Un segundo caso estudiado lo constituyen las plantaciones de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don), abundante en diversas zonas del norte de España, especialmente en el País Vasco. Hasta hace pocos años el turno habitualmente empleado en estas plantaciones oscilaba entre los 25-30 años, aunque últimamente se está observando un alargamiento de los mismos con el fin de obtener mejores escuadrías. Al igual que en el caso anterior, en Díaz Balteiro (2002) se hallan recogidos los aspectos técnicos necesarios para emplear la metodología anteriormente descrita.

No se ha considerado ningún caso relativo a una forestación con especies de crecimiento lento, debido a su menor interés desde un punto de vista privado. No obstante, en Díaz Balteiro y Romero (2001) se recoge un análisis similar para una forestación con *Pinus sylvestris* L.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar conviene resaltar la importancia del plazo considerado en el análisis, sobre todo para el caso del carbono capturado. A pesar de las múltiples incertidumbres que todavía rodean a este output, y teniendo en cuenta la duración media de este tipo de inversiones, es necesario fijar un plazo en el análisis para poder realizar ciertas comparaciones. Es decir, la pregunta sería, ¿para contabilizar el carbono capturado consideramos un solo turno, un plazo de 100 años, un plazo de 200 años...? Dado que no se tiene respuesta a esta pregunta, ya que implicaría conocer la evolución del avance tecnológico, en el análisis se han considerado 2 horizontes a largo plazo, 100 y 200 años. Al considerar más de un ciclo, el máximo carbono capturado se obtendrá en el óptimo técnico, que por tanto fijará el óptimo ambiental de nuestro análisis. Para el caso de las choperas, se demuestra que el óptimo técnico se produce a los 17 años. En la Figura 1 se muestra el carbono capturado para un rango de edades en donde se puede comprobar este hecho.

Otra circunstancia que se debe tener en cuenta a la hora de presentar los resultados será cómo se presenta el carbono capturado, si como carbono bruto o como carbono neto. Como se puede apreciar en la Figura 1, en términos de carbono bruto la diferencia es notable, pero no así en cuanto al carbono neto. Si repitiéramos el mismo razonamiento para el otro caso considerado, la forestación con el pino radiata, se obtiene est óptimo ambiental a los 33 años, y con unos niveles de captura de carbono bastante similares.

Si ahora analizamos la rentabilidad de las plantaciones, nos encontramos que para el caso de los chopos el turno óptimo se produce a los 14 años, en ausencia de subvenciones a la forestación de tierras agrarias, y 15 si se consideran éstas. Esta edad constituiría el óptimo privado, y supone una rentabilidad 17.290 €/ha. Esta cantidad equivale, asumiendo las hipótesis anteriormente consideradas, a una renta perpetua de 1.200 €/ha *año. Es preciso hacer constar que estas cantidades tan elevadas en el ámbito forestal se explican por la conjunción de dos factores: uno sería el aumento medio durante los últimos años y en términos reales del precio de la madera de chopo, y el otro vendrían dados por los costes utilizados en el análisis, que proceden de datos de la Confederación Hidrográfica del Duero, organismo que gestiona varios miles de ha en régimen de consorcios y convenios y que, lógicamente, dispone de unas economías de escala fuera del alcance de los propietarios privados. Comparando el resultado financiero de situarse en el óptimo ambiental frente al privado se observa que alargar el turno hasta los 17 años supone una pérdida de rentabilidad cifrada en un 16% del VAN en el caso en que no exista subvención, y un 12% si la hubiera.

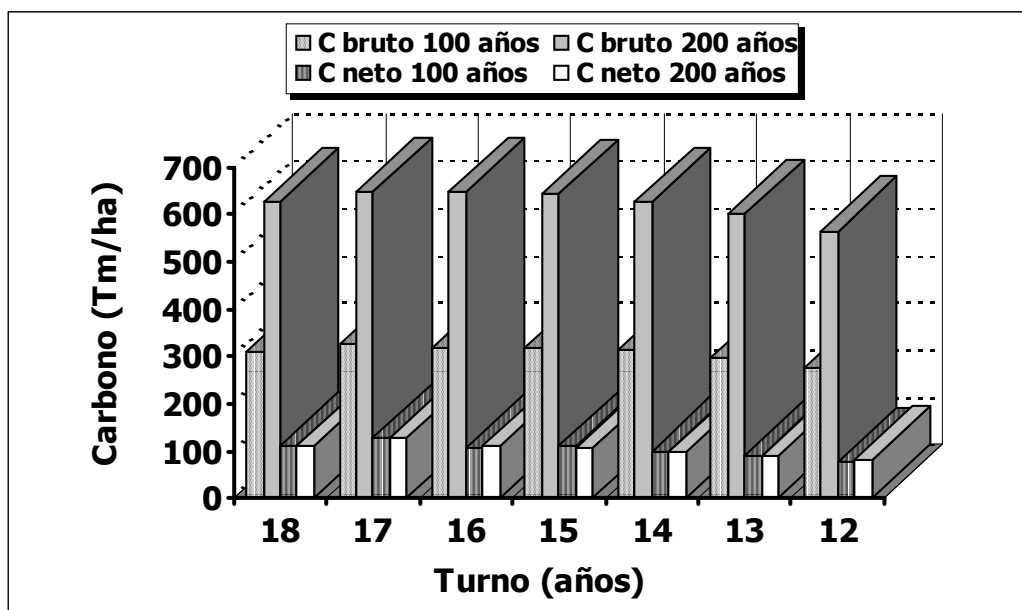


Figura 1: Carbono capturado por *Populus* sp.

En el caso del pino, se observa que con las hipótesis admitidas, este tipo de forestaciones no es rentable con las hipótesis aquí planteadas en ausencia de subvenciones. Así, se obtiene un VAN de -744 €/ha a los 30 años, edad en la que se sitúa el óptimo privado. La inclusión de las subvenciones no influye en el turno óptimo, pero permite alcanzar un VAN positivo que se estima en 2.965 €/ha. Esta cantidad equivale a una renta perpetua anual superior a los 207 €/ha. A diferencia del caso anterior, conviene subrayar la importancia que tienen los ingresos procedentes de las claras, sobre todo en el caso no subvencionado. Incluso cuando se introducen las ayudas comunitarias estos ingresos suponen el 16% del VAN, con el evidente atractivo de que constituyen cobros que se obtienen mucho antes de la corta final.

Llegados a este punto, nos podríamos preguntar si a través de un mecanismo de compensación a los propietarios por cada tm de carbono capturada se podría lograr un óptimo social que acercara los óptimos anteriormente descritos. Para ambos casos considerados se ha parametrizado un precio (A)³ entre 20 y 200 € por cada tonelada de carbono capturado, suponiendo que el propietario maximiza el ingreso de ambas producciones utilizando la misma tasa de descuento. Los resultados muestran que el turno óptimo no varía, independientemente de que se considere el carbono bruto o el neto. Este abanico de precios no consigue elevar la captura de carbono pero a cambio proporciona pingües ingresos a los propietarios, que ven cómo el VAN se eleva hasta en un 30% si se considera el carbono bruto para el caso de las choperas, mientras que en el caso del pino el incremento es mucho mayor.

Para el pino, si se parametriza una subvención para intentar acercar ambos óptimos a través de un óptimo social, se aprecia que el turno óptimo se mantiene imperturbable, tanto en el escenario no subvencionado como en el subvencionado. Esta nueva prima puede provocar, si supera un cierto umbral, que la inversión se vuelva rentable cuando se considere únicamente el carbono bruto y la ausencia de ayudas comunitarias a la forestación. En el caso del carbono bruto este punto de equilibrio se obtiene a partir de una prima de 80€/tm C. Por el contrario, si se considera el carbono neto en vez del bruto, es preciso que dicha ayuda supere los 100€/tm C. Los resultados correspondientes a cada especie y para cada prima por tonelada de carbono capturado se recogen en la Tabla 1.

³ Ver Ecuación (1)

Tabla 1. Resultados obtenidos para ambas especies

Tm/C	Sp.	VAN sin subv.	VAN +C bruto	VAN sin subv. + C neto	Turno	VAN con subv.	VAN con subv. + C bruto	VAN con subv. + C neto	Turno
0 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	16,968.4	16,968.4	14	18,242.5	18,242.5	18,242.5	15
	P. radiata	-881.2	-780.7	-780.7	30	2,964.8	2,964.8	2,964.8	30
25 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	17,640.8	17,296.4	14	18,242.5	19,086.0	18,758.0	15
	P. radiata	-881.2	-629.9	-688.6	30	2,964.8	3,079.1	3,020.3	30
50 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	18,313.3	17,624.4	14	18,242.5	19,748.6	19,092.7	15
	P. radiata	-881.2	-378.6	-496.0	30	2,964.8	3,330.4	3,213.0	30
100 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	19,658.2	18,280.5	14	18,242.5	21,073.9	19,762.2	15
	P. radiata	-881.2	124.1	-110.8	30	2,964.8	3,833.1	3,598.2	30
150 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	21,003.1	18,936.6	14	18,242.5	22,399.2	20,431.6	15
	P. radiata	-881.2	626.8	274.4	30	2,964.8	4,335.7	3,983.4	30
200 €/Tm	Populus sp.	16,968.4	22,348.0	19,592.6	14	18,242.5	23,724.5	21,101.0	15
	P. radiata	-881.2	1,129.4	659.7	30	2,964.8	4,838.4	4,368.6	30

Si se efectuara un análisis de sensibilidad para ciertos parámetros utilizados en el modelo, se puede apreciar que los resultados varían de forma muy ligera. Por ejemplo, en el caso de la tasa de descuento utilizada se puede comprobar cómo en el caso del chopo los resultados son bastante inelásticos ante variaciones de dicha tasa. Así, para tasas de descuento entre el 4 y el 8%, el turno no se modifica y únicamente cuando alcanza un 9%, el VAN sin subvención máximo se alcanza a los 13 años, con lo que aumenta la distancia con respecto al óptimo ambiental. Resultados similares se obtienen para el pino radiata.

Analizando los resultados presentados en la Tabla 1 se puede apreciar cómo las subvenciones proporcionadas a través de los programas de forestación de tierras agrarias provocan un ligero acercamiento entre el óptimo privado y el óptimo ambiental en el caso del chopo, motivado por la posibilidad de cobrar la prima de mantenimiento, mientras que en el caso del pino no se modifica la distancia existente entre ambos óptimos. En cuanto a la prima por cada tonelada de carbono capturada, con independencia de la especie estudiada y de la forma de carbono analizada, no se observa ningún acercamiento entre ambos óptimos, sino solamente un incremento en la rentabilidad que reciben los propietarios. Lógicamente, este incremento será más importante en el caso del pino, debido entre otras razones al creciente efecto del descuento cuando nos encontramos ante turnos más largos.

También conviene precisar que con las hipótesis consideradas, una forestación sin posibilidad de ayudas comunitarias para el caso del pino sólo tendría sentido con valores por cada tonelada de carbono capturada bastante elevados (en torno a los 100€/tmC). Desde un punto de vista empírico estos umbrales son hoy en día muy elevados, ya que los incipientes mercados de carbono existentes hoy en día en algunos países aportan valores que como mucho alcanzan los 10€/tmC.

Es preciso señalar que pueden existir otras formas de incentivar la captura de carbono con el fin de que cada forestación sea lo más eficiente posible en términos de captura. Un ejemplo posible pudiera ser el establecimiento de ayudas más diferenciadas, como por ejemplo al precio de la madera. Es decir, primar el alargamiento del turno con un sobreprecio de la madera vendida. Sin entrar en cómo se debería aplicar esta medida, en los ejemplos mostrados dada la cercanía entre ambos óptimos no supone unas cantidades elevadas. Así, en el caso de la forestación con *Pinus radiata*, y en un contexto subvencionado, únicamente supondría del entorno de 3€/m³.

Si ahora procedemos a comparar los resultados obtenidos con ambas especies, se podría analizar cuál sería la influencia en la elección de la especie a reforestar a la hora de maximizar la captura de carbono. Si fijamos horizontes temporales amplios, la captura de carbono es bastante similar con independencia de la especie utilizada, aunque el carbono capturado bruto es ligeramente superior en el caso del Pino radiata. Una razón inmediata que

puede justificar el hecho que el chopo, a pesar de tener una frecuencia en cuanto a la corta muy superior al pino, presente este balance inferior radica en la densidad de ambas maderas (0.30 kg/m^3 del chopo frente a 0.385 kg/m^3 del pino) . Por el contrario, si se analiza el carbono neto, se observa en primer lugar cómo se mantiene relativamente constante a partir de los 100 años en ambas especies. Comparando los valores para ambas especies, es en este caso el chopo el que presenta una mayor proporción de carbono neto, aunque las diferencias se sitúan entre un 10-15%.

CONCLUSIONES

Aunque el análisis se ha centrado en una externalidad positiva inherente a los ecosistemas forestales, es preciso destacar la creciente importancia que presentan los bienes ambientales dentro de los montes. Esta importancia comienza a integrarse en los modelos de gestión forestal habitualmente empleados.

Por otro lado, la captura de carbono se prevé como un bien que un futuro próximo tendrá un precio de mercado, lo que podría ocasionar cambios en el uso del suelo, así como en las prácticas agrícolas y forestales. A pesar de su importancia, en este trabajo se han aportado datos que inducen a pensar que como mucho sólo puede disminuir las emisiones anuales en un porcentaje reducido, pero nunca convertirse en la solución única al problema del cambio climático.

El análisis efectuado con dos especies habitualmente empleadas en los cambios de uso de la tierra agraria a forestal, muestran la importancia de definir tanto el plazo al que se trabaja, como el tipo de carbono que se mide y cuándo se contabiliza ese carbono capturado. Con las hipótesis habitualmente admitidas en los análisis de rentabilidad efectuados en la economía forestal, se ha mostrado como salvo que el precio de cada tonelada de carbono capturado alcance valores muy elevados, no va a influir sustancialmente en las decisiones de los propietarios sobre un posible cambio de uso de la tierra. Además, se ha comprobado cómo las subvenciones comunitarias que favorecen la forestación de tierras agrarias no actúan a favor de conseguir que las plantaciones se sitúen en el óptimo técnico con el fin de maximizar el carbono capturado (óptimo ambiental). Tampoco se produce este hecho al incrementar el precio de cada tonelada de carbono capturada.

BIBLIOGRAFÍA

- Cannell, M.G.R. (1999). Growing trees to sequester carbon in the UK: answers to some common questions. *Forestry* 72 (3): 237-247.
- Díaz Balteiro, L. (1999). La captura del carbono como subrogado a la gestión sostenible de los montes. Aplicación al monte de Navafría. I Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes. Santiago de Compostela.
- Díaz Balteiro, L. (2000). Aspectos económicos de la captura de carbono por parte de las masas forestales. CD Rom Anales de Economía Aplicada. XIV Reunión ASEPELT-España. Oviedo, 22 y 23 de Junio de 2000.
- Díaz Balteiro, L. (2002). Influencia de políticas ambientales en la captura de carbono por parte de las masas forestales. *Revista de Economía Agraria y Recursos Naturales* (en prensa).
- Díaz Balteiro, L. y Romero, C. (1995). Rentabilidad económica de especies arbóreas de crecimiento medio y lento: algunas reflexiones de política forestal. *Revista Española de Economía Agraria* 171 (1): 85-108.
- Díaz Balteiro, L. y Romero, C. (2001). Forest management and carbon captured: Analytical aspects and policy implications. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales Fuera de Serie* nº 1: 153-165.
- Faustmann, M. (1849). Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung*, 15. Reimpreso en: Faustmann, M. (1995). Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. *Journal of Forest Economics* 1 (1): 7-44.

- Foroohar, R. (2001). The new green game: Tradable allowances for greenhouse gases may one day become the world's biggest commodities market. *Newsweek*, August 27: 62.
- Hartman, R. (1976). The harvesting decision when a standing forest has value. *Economic Inquiry*. 16: 52-58.
- Herruzo Martínez, A.C. (2001). La forestación de tierras agrarias y el desarrollo rural en la Unión Europea. Una visión desde España. I Congreso Iberoamericano de Economía y Gestión Forestal, Serie Técnica IPEF nº 34: 121-138.
- Karpinnen, H. (1998). Values and objectives of non-industrial private forest owners in Finland. *Silva Fennica* 32(1): 43-59.
- Kline, J.D., Alig, R.J. y Johnson, R. (2000). Forest owner incentives to protect riparian habitat. *Ecological Economics* 33: 29-43.
- Kuuluvainen, J., Karpinnen, H. y Ovaskainen, V. (1996). Landowner objectives and nonindustrial private timber supply. *Forest Science* 42(3): 300-309.
- Mutke Regneri, S., Díaz Balteiro, L. y Gordo Alonso, J. (2000). Análisis comparativo de la rentabilidad comercial privada de plantaciones de *Pinus Pinea* L. en tierras agrarias de la provincia de Valladolid. *Investigaciones Agrarias: Serie Recursos y Sistemas Forestales* 9 (2): 270-303.
- Romero, C. (1997). *Economía de los recursos ambientales y naturales* (2ª ed.). Alianza Economía, Madrid.
- Romero, C., Ríos, V. y Díaz-Balteiro, L. (1998). Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: Theory and applications. *Journal of the Operational. Research Society* 49: 121-131.
- Row, C. y Phelps, R.B. (1996). Wood carbon flows and storage after timber harvest. In Sampson R.N. y Hair, D.: *Forests and Global Change, Volume 2: Forest Management Opportunities for Mitigating Carbon Emissions*. American Forests, Washington: 27-58.
- Stavins, R.N. (1999). The costs of carbon sequestration: A revealed-preference approach. *American Economic Review* 89(4): 994-1009.