

Influencia de políticas ambientales en la captura de carbono por parte de las masas forestales¹

Luis Díaz Balteiro²

Dept. de Economía y Gestión Forestal U. Politécnica de Madrid

RESUMEN: Desde que recientemente se ha reparado en los ecosistemas forestales como posibles sumideros del CO₂ atmosférico, se ha propuesto el establecimiento de masas forestales como medida para reducir las concentraciones de este gas. Esto llevaría a que las plantaciones forestales presentaran objetivos adicionales de carácter ambiental. 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, diferente al que existía hasta hace poco tiempo. Por otro lado, desde un punto de vista social interesará que la captura de carbono sea máxima.

Se han estudiado dos posibles casos de forestaciones, y los resultados muestran que el sistema actual de ayudas puede constituir una solución subóptima, ya que añadir nuevas subvenciones a las ya existentes no va a provocar una mayor captura de carbono, sino únicamente incrementar los ingresos de los propietarios.

PALABRAS CLAVE: Captura de carbono, Economía Forestal, Política Forestal.

CÓDIGOS JEL: Q23

The impact of environment policies on carbon absorption by forest ecosystems.

SUMMARY: Since recently forest ecosystems has been included as possible sinks of the atmospheric CO₂, the establishment of new forest plantations is mentioned as a measure to mitigate the concentrations of this gas. This capacity would take to assess environmental objectives into afforestations programs. Under the optics of a private landowner or a possible investor in this kind of assets, these circumstances turn decision-making process into a joint production case, different to the traditional management of these forestations. On the other hand, from a social point of view the capture of carbon would be at his maximum.

¹ AGRADECIMIENTOS: El profesor de la Universidad de Valladolid, D. Luis Acuña ha proporcionado los datos relativos a la densidad de la madera de *Populus euroamericana* y *Pinus radiata*. Igualmente, D. Alfonso Fernández Molowny, Jefe del Servicio del Medio Natural de la Confederación Hidrográfica del Duero, ha aportado valiosos datos acerca de los precios de la madera de chopo. Por último, D. Miguel García Rodríguez, de la Universidad de Valladolid, ha proporcionado informaciones y datos muy apreciados acerca de la problemática del chopo en Castilla y León.

² Departamento de Economía y Gestión Forestal. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. e-mail: ldbalteiro@montes.upm.es

Two possible cases of afforestations have been discussed, and the results show that the current system of European grants cannot constitute an optimal solution, since to add new grants to those existent it won't cause bigger carbon storage, but only an increase in the landowners' revenues.

KEY WORDS: Carbon sequestration, Forest Economics, Forest Policy.

1. Introducción

Desde la década de los noventa, sucesivos programas financiados con fondos públicos han propiciado un auge en las forestaciones de tierras agrarias en nuestro país. Aunque el último reglamento comunitario que regula el régimen de ayudas para las inversiones forestales en tierras agrarias data de 1999 (Reglamento 1257/99), no ha sido hasta hace unos meses cuando se ha traspuesto a la legislación española (Real Decreto 6/2001).

Estas disposiciones, con independencia del ámbito al que se refieran (europeo, nacional o autonómico) no reflejan explícitamente la captura de carbono atmosférico como un objetivo directo que se pretende alcanzar con las citadas normativas. Tan sólo el Reglamento 1257/99 se refiere a la necesidad de que estas medidas tengan en cuenta “*los problemas específicos del cambio climático*”.

Paralelamente a la implantación de estas medidas, 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. Sin embargo, a pesar de haber transcurrido un cierto tiempo desde su 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, algunos autores (Gummer y Moreland, 2000) afirman que durante la década de los 90 ya han aumentado en un 11-13%, con lo cual el objetivo a cumplir en el año 2008 se complica. Este mismo hecho se intuye en el trabajo de Cristóbal (1999), en donde se aprecia que desde 1990 a 1995 se produce un aumento de las emisiones en un 9,4%.

Bajo el punto de vista forestal, hay que tener presente que el protocolo recoge explícitamente (artículo 3.3) las actividades de ARD [*afforestation, reforestation, deforestation*] a efectos de contabilidad del carbono. Es decir, la función ecológica que realizan los bosques como sumideros de CO₂ se incluye plenamente en el protocolo como una medida para ayudar a mitigar este problema. Lógicamente este balance tendrá un sentido positivo o negativo dependiendo de la evolución de los ritmos de forestación y deforestación que se han producido desde 1990. A efectos de contabilizar el carbono no sólo se incluye el carbono almacenado en aquellas partes susceptibles de un uso comercial (e.g. los troncos de los árboles), sino también el carbono almacenado en el suelo, en hojas y ramas, etc. Incluso ciertas interpretaciones amplias del artículo 3.4 podrían admitir la acumulación de carbono en productos derivados de la madera y el carbono capturado por el crecimiento de las masas existentes (Nabuurs *et al.*, 2000).

Por otro lado, a pesar de estar incluido explícitamente este objetivo en las estrategias forestales españolas y europeas, los mecanismos de gestión usualmente no reflejan la inclusión de este objetivo en el manejo forestal. Aunque el anteproyecto de la futura Ley de Montes recoge esta función ecológica como un objetivo de la gestión forestal, no abunda en los Planes Forestales autonómicos ni en disposiciones recientes (e.g. Instrucciones Generales para la Ordenación de los Montes Arbolados en Castilla y León) que regulan la Ordenación de Montes en dichas CC.AA.

En este trabajo se va a considerar la captura de carbono como un objetivo explícito en la gestión, y la influencia que las medidas de forestación de tierras agrarias auspiciadas por la UE pueden tener en este objetivo. Para ello se han considerado dos especies de crecimiento rápido (*Populus x euroamericana.*) y medio (*P. Radiata* D.Don), habitualmente utilizadas en España en las forestaciones de superficies agrarias.

2. La captura del carbono y las políticas forestales

Resulta evidente que si la captura de carbono está directamente relacionada con el crecimiento de la masa, a mayor crecimiento de ésta, en principio la captura será mayor. Esta conclusión llevaría a favorecer la implantación de masas forestales con especies de crecimiento rápido que permitan lo que acertadamente Cannell (1999) denomina “comprar tiempo” hasta que se encuentren soluciones que verdaderamente resuelvan el problema.

Esta presión a favor de extender el establecimiento de estas plantaciones puede modificar el comportamiento de los propietarios de estas tierras y, por otro lado, acentuar el efecto de ciertas políticas supranacionales que ya auspician ese tipo de cultivos forestales. Esto significa que todas las masas acogidas a los decretos comunitarios para el abandono de tierras agrícolas se pueden contabilizar a efectos del cumplimiento de los acuerdos recogidos en este protocolo.

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 es 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. Por un lado, la elección de especie y marco de plantación, la realización de claras y otras labores culturales y, sobre todo, el momento de la corta marcarán la producción final de ambos bienes. Estas decisiones estarían influidas fundamentalmente por el precio (de mercado o subvencionado) de ambos bienes y por el coste de oportunidad del dinero por parte del propietario.

A diferencia de otras producciones agrícolas claramente excedentarias, para los productos forestales no existe una política común para todos los países europeos. De hecho, las escasas medidas existentes se encuadran dentro de las medidas agrícolas (e.g. forestación de tierras agrarias) de la UE. Además de estar incluidas indirectamente en la política agraria europea, las tierras forestales también se ven favorecidas por diversos programas ambientales (en González Gómez, 1999, se muestra una sólida revisión).

Sin embargo, no existe un conjunto de medidas específicamente dirigidas al propietario forestal (*non-industrial private forest owner* según la terminología inglesa). En efecto, a diferencia de los propietarios agrícolas, no disfrutaban de ayudas relativas al precio de diferentes bienes (madera, frutos, etc.), ni en cuanto a temas específicos como

pueden ser los seguros forestales, cuando es notorio que además de los citados outputs los ecosistemas forestales producen una serie de servicios apreciados y disfrutados por toda la sociedad. En el caso concreto de España, la normativa fiscal vigente hasta hace muy poco tiempo no hacía distinciones entre una inversión forestal con sus particularidades (vida del proyecto muy dilatada, producción de otros bienes y servicios beneficiosos para el conjunto de la sociedad, etc.) y otra en activos con horizontes de actuación menos dilatados y que no van a reportar ningún tipo de externalidades positivas. Por ello se podía deducir, siguiendo a Dans *et al.* (1998), que el tratamiento fiscal era desproporcionadamente gravoso y discriminatorio con respecto a los productos agrarios. Sin embargo, durante los últimos meses modificaciones en la tributación del IRPF y en el IVA compensatorio referido a las ventas de productos forestales intentan mitigar esta tendencia que muestra la despreocupación institucional hacia el sector forestal. Por último, se puede añadir la mutilación que ha sufrido el Reglamento 1257/99 en la legislación española que lo desarrolla (Real Decreto 6/2001). Así, mientras que esta medida comunitaria incluye un artículo (art. 32) en el que específicamente regula subvenciones para garantizar de forma duradera la función ecológica y protectora de ciertos bosques con una cuantía de 40 a 120 €/ha, el citado decreto 6/2001 no ha introducido esta subvención.

En definitiva, debido a la ausencia de otras medidas en los siguientes capítulos únicamente se va a considerar las recientes medidas traspuestas a la legislación española (Real Decreto 6/2001) como instrumentos de política forestal que pueden influir en las decisiones de los propietarios forestales. Estas medidas, al igual que disposiciones anteriores (Reglamento 2080/92, Real Decreto 152/1996) comprenden tres tipos de ayudas: ayudas al establecimiento, ayudas por costes de mantenimiento y primas compensatorias. Las ayudas al establecimiento intentan mitigar el coste de la forestación, siempre que ésta cumpla unas determinadas exigencias ambientales. La prima de mantenimiento pretende subvencionar diversos cuidados culturales necesarios en los primeros años de la vida de la plantación. Tiene una duración de 5 años. Por último, la prima compensatoria intenta compensar las pérdidas motivadas por la pérdida de ingresos causada por la forestación. Su duración es de 20 años.

Comparándola con instrucciones similares de los años noventa, algunas de las diferencias (además de la cuantía de las primas) que aporta esta nueva disposición se refieren al intento de no facilitar el llamado “cultivo de subvenciones”, ya que obliga a comunicar al Catastro el cambio de uso agrícola a forestal. Además, se establece un turno mínimo para las especies de crecimiento rápido (15 años).

3. Aspectos metodológicos

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 $P:f(t)$ 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_l 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. 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:

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

con:

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

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

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

Tanto el turno óptimo como la rentabilidad de las distintas plantaciones quedarían definidos maximizando la ecuación (1). Por último, sólo se ha considerado para este caso la existencia de subvenciones para estas plantaciones durante el primer turno, lo que implica que sucesivas reforestaciones a lo largo del tiempo no serán beneficiarias de estas ayudas.

Aunque en este análisis se va a suponer que el propietario maximiza el ingreso derivado de la corta final, 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 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 en cuanto al incremento en la captura de carbono. Por un lado estaría el carbono acumulado por los árboles en su proceso de crecimiento (carbono bruto), que sin duda sería la más fácil de medir. 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. Esto implica que aspectos como la elección del turno de la masa resultarán básicos por un doble motivo: por un lado al incrementar el carbon total capturado, y por otro, redistribuyendo dicho carbon de los bosques a otras fuentes y sumideros, en función de la aptitud de los productos obtenidos a esa edad de corta. Por las mismas razones la duración del período de regeneración y el número y peso de las claras influirán en el carbono acumulado.

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. Para ello se consideran tres tipos de destinos para la madera: chapa, sierra y tableros, descartándose un posible uso para la obtención de pasta o papel. El cálculo del carbono según cada posible destino se realiza asumiendo las hipótesis efectuadas por Row y Phelps (1996). Por último, en cuanto al precio del carbono, aunque en la literatura se han enunciado diversas metodologías (en Díaz Balteiro, 2000, se adjunta una descripción de las mismas), 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.

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. Teniendo en cuenta estas circunstancias, la ecuación (1) se transformará en:

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

con:

$$\alpha = \frac{e^{(-i \cdot 1)} \cdot (e^{(-i \cdot t)} - 1)}{(e^{(-i \cdot 1)} - 1)} \quad (2)$$

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

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

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.

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.

4. Casos estudiados

En primer lugar se ha considerado una plantación de chopos (*Populus sp.*), cultivo forestal abundante en regiones como Castilla y León. Para el cálculo de su función de producción se ha partido de las tablas de producción existentes para uno de los clones utilizados en la Meseta Central, el clon *Populus x euroamericana* “Campeador” (González Antoñanzas, 1986), correspondiente a una calidad de estación media (calidad III). Hay que hacer constar que el volumen no se obtiene directamente de la tabla de producción, sino que se ha obtenido aplicando la tarifa de cubicación para cada par de valores (diámetro y altura dominante) mostrados para cada edad en dicha tabla. Por otro lado, es necesario precisar que según las tablas de producción más recientes para esta especie en la Cuenca del Duero (Bravo *et al.*, 1995; Bravo *et al.*, 1996), los volúmenes predichos por esta relación equivalen a la producción correspondiente a la mejor calidad de estación.

En cuanto al espaciamiento y tratamientos culturales, se ha seguido la selvicultura propuesta en Fernández Molowny (1998). Básicamente, se trata de una plantación a raíz profunda, con 278 pies/ha, en la que se realizan 3 podas y diversos gradeos. Aunque ya se considera un esfuerzo de gestión elevado, otros autores describen alternativas más intensivas incorporando fertilizaciones (González Antoñanzas *et al.*, 1995; Grau *et al.*, 1997), las cuales no se han considerado en este trabajo. Además, se han considerado otros gastos anuales de 30€/ha*año. Para el precio de la madera se han considerado los datos correspondientes a las subastas realizadas por la Confederación Hidrográfica del Duero durante los últimos años (Servicio del Medio Natural de la Confederación Hidrográfica del Duero 1994-1998, recopilados por García Rodríguez (2000)). Por último, en cuanto a las subvenciones, se ha supuesto una ayuda a la forestación cifrada en 1.272€/ha y una prima de mantenimiento de 150€/ha. No se contempla la existencia de primas compensatorias, y en cuanto a las primas de mantenimiento, es preciso fijar un turno mínimo de 15 años si se quiere acceder al cobro de dicha prima.

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. Siguiendo los datos de Chauchard (2000), se ha estimado una función de producción hasta los 40 años. A diferencia del caso anterior, se exige la realización de claras cada 5 años a partir de los 10 años. Se van a considerar las repercusiones tanto económicas como en cuanto al balance del carbono asociadas a dichas claras, que además influyen en el destino principal de la madera. Debido al cambio de manejo que parece se está introduciendo actualmente, dirigido a la consecución de maderas con destino a sierra con productos intermedios que se destinan a trituración, se ha alargado la posibilidad de ejecutar cortas finales hasta los 40 años. Los valores para los gastos de plantación y labores culturales han sido obtenidos de Otazúa (1998). El precio de la madera se ha estimado a través de las publicaciones periódicas de la Confederación de Forestalistas del País Vasco. Las subvenciones aplicadas ha sido de 1.266 €/ha en cuanto a los gastos de forestación, 180,3 €/ha de prima de mantenimiento y 166,3 €/ha de prima compensatoria.

5. Resultados obtenidos para Populus SP

Atendiendo únicamente a la rentabilidad producida por la venta de madera, sin tener en cuenta las subvenciones, el cultivo del chopo bajo las condiciones anteriormente expuestas presenta un turno óptimo de 14 años para el que se obtiene un valor actual neto cercano a los 17.290 €/ha. Esta cantidad equivale, asumiendo las hipótesis anteriormente consideradas, a una renta perpetua de 1.200 €/ha *año. Esta rentabilidad supera ampliamente a la de algunos estudios similares (Díaz Balteiro y Romero, 1994; Del Peso *et al.*, 1995), situándose cercana a la ofrecida por Fernández Molowny (1998). Dos razones explican este incremento en la rentabilidad privada de esta especie: por un lado, la paulatina subida del precio de la madera de chopo en términos reales a partir del año 1994 (García Rodríguez, 2000), y, por otro lado, la estructura de costes asociada a los consorcios efectuados por la Confederación Hidrográfica del Duero es claramente más favorable que la soportada por un propietario particular. En suma, esta solución se correspondería al óptimo privado que buscaría el propietario forestal. Con respecto al objetivo ambiental, para este turno el carbono bruto capturado por la madera de esta especie se sitúa en las 44,7 tmC/ha.

En un entorno subvencionado el turno se incrementa hasta los 15 años, debido a la posibilidad de cobrar la prima de mantenimiento. La rentabilidad se incrementa ligeramente, hasta un VAN por ha de 18.745 €, lo que corresponde a una renta perpetua de 1.312 €/ha *año. A diferencia de

otras alternativas de inversión no forestales, en este caso las ayudas comunitarias sólo representan el 8% del VAN. Al desplazarse el turno óptimo aumenta el carbono bruto capturado hasta las 49,24 tmc/ha.

Hasta ahora únicamente se ha introducido un óptimo financiero bajo el punto de vista del propietario forestal. Si buscáramos aquel óptimo ambiental para la silvicultura que se ha definido, éste se situaría en aquella edad considerada en el análisis para la cual la captura es máxima. Este turno óptimo se sitúa en los 18 años, consiguiéndose una captura de 56.95 tmc/ha. Sin embargo, dado que se supone que esa plantación no va a constituir un hecho aislado, sino que es la primera de una sucesión de plantaciones similares, el óptimo no se encontraría a esta edad, sino en el óptimo técnico, edad a la cual la captura media de carbono es máxima. El óptimo ambiental se situaría entonces a los 17 años, con una captura de carbono de 55,02 tmc/ha. A esta edad el VAN asciende a 14.568 €/ha sin subvención, y 16.454 €/ha considerando las ayudas comunitarias. Es decir, el alargar el turno hasta esta edad supone renunciar al 16% del VAN en el caso en que no exista subvención, y un 12% si la hubiera. Este óptimo se mantiene si consideramos el carbono neto en vez del carbono bruto. Bajo las hipótesis arriba formuladas y suponiendo que todo el carbono almacenado se re-emite a la atmósfera pasados los 150 años se ha calculado el carbono neto, que es entre 5 y 6 veces menor que el carbono bruto correspondiente a 1 turno (12-18 años) a los 200 años después de la plantación (Cuadro 1).

Como se ha comentado anteriormente, para soslayar la diferencia existente entre el óptimo privado y el óptimo ambiental se podrían adoptar diversas medidas. Unas pasarían por soluciones vinculadas al mercado, como puede ser la posibilidad de obtener ingresos a través de la venta de créditos asociados a la captura de carbono (Cathcart, 2000). Otras, en cambio, pasan por la adopción de políticas que favorezcan la consecución de ese óptimo ambiental, pero compensando monetariamente a los propietarios. Para calcular este óptimo social se ha parametrizado una subvención (A) entre 20 y 200 €/tm 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. La subvención no consigue elevar la captura de C 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 y una prima de 200 €/tm. Además del inconveniente de su complicada aplicación, que parece casi imposible de llevar a la práctica (Nevell y Stavins, 2000), hay que tener presente que pudiera producirse un desequilibrio, si los incentivos son elevados, entre las ayudas proporcionadas a las plantaciones frente a las masas ya establecidas, más longevas, y que proporcionan otros bienes y servicios demandados por la sociedad.

Los resultados son bastante inelásticos ante variaciones en la tasa de descuento, sobre todo cuando se tiene en cuenta el caso donde existen subvenciones. Para tasas de descuento entre el 4 y el 8%, el turno no se modifica (lógicamente si lo hace el VAN asociado a cada inversión). Cuando la tasa de descuento alcanza un 9%, el VAN sin subvención se reduce a 13 años, con lo que aumenta la distancia con respecto al óptimo ambiental. Para esta tasa de descuento, la existencia de subvenciones eleva a 15 años el turno óptimo. Si la citada tasa alcanza el 10%, ambos turnos, con y sin subvenciones, se igualan a los 13 años.

6. Resultados obtenidos para *Pinus radiata*

A diferencia del caso anterior, este tipo de plantaciones no es rentable en ausencia de subvenciones bajo las hipótesis anteriormente introducidas en cuanto al precio de la madera y la tasa de descuento elegida. En efecto, el VAN obtenido asciende a -744 €/ha a los 30 años. Este resultado coincide con los resultados obtenidos en estudios similares (Díaz Balteiro y Romero, 1995). 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. Para este óptimo privado se obtiene una captura de carbono bruta de 105,03 tm/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.

Para esta calidad, y siguiendo la curva de producción anteriormente descrita, el turno técnicamente óptimo se alcanza a los 33 años. Alargar el turno hasta esta edad supone, ceteris paribus, reducir el VAN en un 13% en ausencia de subvenciones, y poco más de un 3% en un contexto subvencionado. A esa edad, que constituye el óptimo ambiental, el carbono bruto capturado asciende a 116.21 tm/ha. En cuanto al carbono neto, si se mide una vez haya transcurrido un horizonte dilatado (200 años), es similar a la cifra anterior, y muy parecida a la que se obtendría utilizando el chopo.

Si se parametriza una subvención (positiva o negativa) 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. Por ejemplo, una prima de

80€/tm C provoca que el VAN ascienda en este caso a los 60€/ha. Si se considera el carbono neto en vez del bruto, es preciso que dicha ayuda alcance los 100€/tm C.

Asimismo, se ha comprobado que los resultados son válidos para un amplio rango de tasas de descuento elegidas. Si se reduce ésta, a partir de tasas del 5% el turno comienza a descender y así, para tasas del 4% se igualaría el óptimo privado y el óptimo ambiental. Curiosamente, estos descensos no se producen si se considera el carbono bruto y la prima alcanza los 50€/tm C. En efecto, considerar en el análisis una subvención por el carbono que las masas capturan a lo largo de su vida, sin tener en cuenta el carbono re-emitido a la atmósfera una vez que la masa es aprovechada, puede llegar a contrarrestar el efecto que produciría un descenso en la tasa de descuento, es decir, alejaría el óptimo privado del óptimo ambiental. Para tasas superiores al 7%, los resultados no varían salvo que se lleguen a tasas del 12%, en cuyo caso el óptimo privado cae hasta los 25 años.

7. Discusión

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. Este hecho se muestra en los Cuadros 1 y 2. En efecto, el carbono capturado bruto es ligeramente superior en el caso de *Pinus 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/m³ del chopo frente a 0.385 kg/m³ 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. Este hecho se debe a que todavía no se ha producido un número de cortas consecutivas para el pino que hagan que éste alcance una situación de equilibrio con respecto al carbono. Por otro lado las claras provocan un aumento del carbono neto al ser unos vehículos esenciales para lograr escuadrías que presenten destinos con una vida útil más dilatada, pero este hecho se ve compensado por la mayor cantidad de carbono que se emite a corto plazo. En pura lógica, aunque este hecho sería inviable bajo un punto de vista privado, si se quisiera maximizar el carbono en estas plantaciones probablemente habría que evitar la realización de claras (Bateman y Lovett, 2000). Esto conduciría a un aumento del carbono bruto y a un alargamiento del turno. Sin embargo, esta

selvicultura sería antieconómica para el propietario, salvo que se decantara por un tipo de manejo muy poco frecuente en nuestro país (sistemas silvopastorales con marcos de plantación muy dilatados).

Si ahora se analiza no el carbono, sino la rentabilidad obtenida para cada uno de los casos contemplados en este trabajo (Cuadros 3 y 4) se puede apreciar la elevada rentabilidad que ofrecen las forestaciones con *Populus sp.* Este abultado rendimiento financiero contrasta con la fuerte dependencia que muestran las plantaciones de *Pinus radiata* con respecto a las ayudas comunitarias para ser rentables. Si se introduce una prima relativamente modesta por tm de carbono capturada, los resultados apenas varían en el caso del chopo, mientras que se producen moderados incrementos (12% para el C bruto) si se analizan las plantaciones con pinos. Tomando el óptimo ambiental para cada caso y parametrizando distintas subvenciones (Cuadro 5), se puede apreciar cómo las rentabilidades de las plantaciones con pinos son menos inelásticas que las de chopos en cuanto a posibles aumentos en la cuantía de esta prima.

La diferencia entre el VAN considerando el carbono bruto y el neto aumenta al pasar de *Populus sp* a *Pinus radiata*. Esto es lógico por la influencia de la tasa de descuento al ser los turnos notablemente más largos en el caso de los pinos. Cuanto más largo sea el turno empleado, el descuento favorece más la captura de carbono que las emisiones de carbono a la atmósfera, sobre todo cuando los productos obtenidos a partir de la madera presentan usos con una larga vida útil. Esta circunstancia ha hecho que algunos autores utilicen procedimientos diferentes para descontar el carbono en el futuro (Newell y Stavins, 2000).

Como se ha comprobado en los apartados anteriores, ni las subvenciones comunitarias para la reforestación de las tierras agrarias ni el primar con una ayuda cada tm de carbono capturado parecen medidas que provoquen acercamientos entre el óptimo privado y ambiental. Una posible solución sería establecer, siguiendo a Ley y Sedjo (1997), un sistema de subsidios diferenciales según el tipo de forestaciones, diferencias geográficas, etc. Otra opción pudiera ser establecer 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.

8. Conclusiones

Los resultados reflejados en los apartados anteriores reflejan los siguientes hechos:

- 1) Al contabilizar únicamente el carbono capturado presente en el tronco de los árboles, se aprecia la existencia de una gran disparidad entre el carbono bruto y el carbono neto.
- 2) La diferencia entre la captura de carbono realizada por *Populus x euroamericana* y *Pinus radiata* resulta escasa, tanto en términos brutos como netos.
- 3) Analizando el turno, el VAN e incluso el carbono bruto, y para las hipótesis introducidas, no existe una gran distancia entre los óptimos privados y ambientales para los dos casos estudiados. Sin embargo, si se contabiliza el carbono neto, las diferencias son más relevantes, tanto en el caso del chopo como en el del pino.
- 4) Las subvenciones que favorecen la forestación en tierras agrarias apenas varían las decisiones de los propietarios en cuanto al turno óptimo, por lo que ofrecen una relevancia menor si se considera la captura de carbono como un objetivo a perseguir. No obstante aspectos puntuales y novedosos como el establecimiento de un turno mínimo para plantaciones de crecimiento rápido (15 años) pueden retrasar el turno económicamente óptimo, y así provocar un acercamiento entre el óptimo privado y el ambiental.
- 5) Introducir una prima por cada tonelada de carbono capturado no asegura una mayor captura, ni bruta ni neta. Únicamente provoca un aumento en la rentabilidad de los propietarios, sobre todo en el caso de los pinos. Incluso con tasas de descuento reducidas (4% o inferiores) la citada prima puede adelantar el turno, si se considera el carbono bruto.
- 6) Las diferencias entre la rentabilidad obtenida contabilizando el carbono bruto y el neto se agrandan conforme se incrementa el turno de la especie elegida. Este hecho refleja la importancia del descuento en este tipo de análisis.

Bibliografía

- Bateman, I.J. y Lovett, A.A. (2000). Estimating and valuing the carbon sequestered in softwood and hardwood trees, timber products and forest soils in Wales. *Journal of Environmental Management* **60**: 301–323.
- Bravo, F. Grau, J.M. y González Antoñanzas, F. (1995). Curvas de calidad y tablas de producción para *Populus x euroamericana* en la cuenca del Duero. *Montes* **44**: 43-46.
- Bravo, F. Grau, J.M. y González Antoñanzas, F. (1996). Análisis de modelos de producción para *Populus x euroamericana* en la cuenca del Duero. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales* **5**(1): 77-95.

- Cannell, M.G.R. (1999). Growing trees to sequester carbon in the UK: answers to some common questions. *Forestry* **72** (3): 237-247.
- Cathcart, J.F. (2000). Carbon sequestration. A working example in Oregon. *Journal of Forestry* **98** (9): 32-37.
- Chauchard, L.M. (2000). *Crecimiento y producción de repoblaciones de Pinus radiata D.Don en la provincia de Guipúzcoa (País Vasco)*. Tesis Doctoral E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid (inédito).
- Cristóbal, A. (1999). Inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en España. En Hernández F. (Coordinador): *El Calentamiento Global en España. Un análisis de sus efectos económicos y ambientales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas: 57-90.
- Dans, F. Molina, F. Raposo, J.J. y Romero, A. (1998). La viabilidad de la gestión del monte privado en España: propuestas para una nueva fiscalidad forestal. *Agricultura y Sociedad* **85**: 67-94.
- Del Peso Taranco, C., Reque Kilchenmann, J.A., Bravo Oviedo, F. y Martínez Zurimendi, P. (1995). El chopo como alternativa viable al cultivo del regadío en el valle del Duero. Estudio de rentabilidades. *Montes* **42**: 20-24.
- 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. 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.
- 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.
- Fernández Molowny, A. (1998). *Guía para determinar el precio de la madera de chopo en pie. Estimación de existencias y análisis económico sobre la rentabilidad de las choperas*. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente, Valladolid.
- García Rodríguez, M. (2000). Estudio de la influencia de diferentes variables en la valoración de madera de chopo. Documento interno, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Palencia.

- González Antoñanzas, F. (1986). Crecimiento y producción, en la Meseta Central, según calidades de estación, de plantaciones de *Populus x euroamericana* Dode (Guinier)“Campeador”. *Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales* **44**.
- González Antoñanzas, F., Grau Corbí, J.M. y Montoto Quinteiro, J.L. (1995). Estudio de rentabilidad de distintas técnicas de cultivo aplicadas a jóvenes choperas, plantadas a raíz profunda, transcurrido la mitad del turno de explotación (8 años). *Montes* **42**: 25-30.
- González Gómez, M. (1999). Medio ambiente, políticas sectoriales e instrumentos financieros en la Unión Europea. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* **XXXI** (121): 501-519.
- Grau Corbí, J.M., González Antoñanzas, F. y Montoto Quinteiro, J.L. (1996). *Populicultura Intensiva*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Gummer, J. y Moreland, R. (2000). *The European Union & Global Climate Change. A Review of Five National Programmes*. Pew Center on Global Climate Change.
- Hartman R. (1976). The harvesting decision when a standing forest has value. *Economic Inquiry*. **16**: 52-58.
- 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., Karppinen, H. y Ovaskainen, V. (1996). Landowner objectives and nonindustrial private timber supply. *Forest Science* **42**(3): 300-309.
- Ley, E. y Sedjo, R. (1997). Optimal subsidies for carbon: Cost-effectiveness and distributional considerations. In: Sedjo, R.A., Sampson, R.N. y Wisniewski, J. *Economics of Carbon Sequestration in Forestry*. Lewis Publishers: S177-S184.
- 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.
- Nabuurs, G.J., Mohren, F. y Dolman, H. (2000). Monitoring and reporting carbon stocks and fluxes in Dutch forests. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* **4**(4): 308-310.
- Newell, R.G. y Stavins, R.N. (2000). Climate change and forests sinks: Factors affecting the costs of carbon sequestration. *Journal of Environmental Economics and Management* **40**: 211-235.
- Otazúa, F. (1998). Invertir en el monte. *Euskadi Forestal* **51**: 9-14.
- 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.
- Servicio del Medio Natural de la Confederación Hidrográfica del Duero 1994, 1995, 1996, 1997, 1998. *Aprovechamientos maderables de choperas propias y choperas consorciadas*. Confederación Hidrográfica del Duero. Valladolid.
- Stavins, R.N. (1999). The costs of carbon sequestration: A revealed-preference approach. *American Economic Review* **89**(4): 994-1009.

| TURNO | CARBONO BRUTO (tm/ha) | | | | CARBONO NETO (tm/ha) | | | |
|-------|-----------------------|----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|----------|
| | 100 años | 120 años | 150 años | 200 años | 100 años | 120 años | 150 años | 200 años |
| 18 | 308.12 | 376.20 | 460.92 | 626.44 | 111.33 | 119.26 | 106.85 | 112.19 |
| 17 | 328.03 | 388.85 | 488.64 | 648.89 | 129.04 | 118.52 | 130.39 | 128.02 |
| 16 | 317.35 | 382.22 | 479.88 | 645.85 | 106.01 | 109.55 | 108.35 | 110.98 |
| 15 | 318.81 | 393.91 | 492.39 | 642.79 | 111.01 | 116.76 | 118.12 | 106.69 |
| 14 | 313.39 | 371.29 | 471.08 | 627.77 | 100.77 | 100.32 | 106.98 | 99.74 |
| 13 | 297.60 | 359.55 | 448.28 | 601.94 | 92.45 | 89.54 | 93.36 | 90.18 |
| 12 | 277.06 | 345.09 | 419.44 | 565.27 | 77.02 | 88.38 | 80.06 | 83.47 |

Tabla 1. Balance del carbono acumulado, bruto y neto, en *Populus sp* a los 100, 120, 150 y 180 años

| TURNO | C BRUTO | | | | C NETO | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 100 años | 120 años | 150 años | 200 años | 100 años | 120 años | 150 años | 200 años |
| 40 | 314.99 | 388.71 | 493.74 | 647.85 | 94.73 | 107.26 | 120.32 | 110.89 |
| 37 | 339.56 | 386.92 | 505.55 | 662.76 | 111.41 | 95.75 | 110.99 | 102.07 |
| 35 | 349.16 | 397.00 | 498.74 | 692.12 | 115.61 | 92.00 | 94.90 | 117.92 |
| 33 | 348.63 | 409.72 | 510.36 | 697.27 | 100.56 | 96.05 | 96.03 | 105.22 |
| 32 | 338.34 | 415.06 | 517.45 | 681.24 | 87.77 | 101.39 | 96.85 | 85.18 |
| 31 | 329.33 | 418.76 | 522.96 | 680.52 | 76.75 | 101.85 | 100.36 | 82.61 |
| 30 | 325.59 | 420.14 | 525.17 | 686.06 | 68.98 | 88.95 | 89.08 | 78.42 |
| 28 | 325.15 | 390.44 | 492.66 | 674.77 | 74.41 | 74.05 | 74.12 | 83.03 |
| 25 | 326.16 | 381.75 | 489.25 | 652.33 | 75.30 | 72.11 | 78.38 | 78.73 |

Tabla 2. Balance del carbono acumulado, bruto y neto, en *Pinus radiata* a los 100, 120, 150 y 180 años

| TURNO | VAN sin subvenciones forestación | | | VAN con subvenciones forestación | | |
|-------|----------------------------------|-------------|------------|----------------------------------|-------------|------------|
| | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto |
| 18 | 12814.5 | 13378.3 | 13106.5 | 14700.6 | 15264.4 | 14992.6 |
| 17 | 14567.7 | 15169.2 | 14876.8 | 16453.8 | 17055.3 | 16762.9 |
| 16 | 15933.3 | 16571.7 | 16258.7 | 17819.4 | 18457.8 | 18144.8 |
| 15 | 16858.7 | 17521.3 | 17193.4 | 18744.8 | 19407.4 | 19079.5 |
| 14 | 17289.8 | 17962.3 | 17617.9 | 18564.0 | 19236.4 | 18892.0 |
| 13 | 17210.3 | 17883.2 | 17526.7 | 18484.5 | 19157.3 | 18800.8 |
| 12 | 16536.2 | 17191.6 | 16832.5 | 17810.4 | 18465.8 | 18106.7 |

Tabla 3. Rentabilidades (€/ha) para una reforestación con *Populus sp* considerando una prima por tm de C capturada de 25€/tm

| | VAN sin subvenciones forestación | | | VAN con subvenciones forestación | | |
|----|----------------------------------|-------------|------------|----------------------------------|-------------|------------|
| | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto |
| 40 | -1221.2 | -1090.9 | -1061.0 | 2487.8 | 2724.4 | 2648.0 |
| 39 | -1164.4 | -1026.7 | -1001.0 | 2544.6 | 2790.4 | 2708.0 |
| 38 | -1106.5 | -961.4 | -939.7 | 2602.5 | 2857.7 | 2769.3 |
| 37 | -1048.4 | -895.7 | -877.9 | 2660.6 | 2925.5 | 2831.1 |
| 36 | -991.2 | -830.8 | -817.4 | 2717.8 | 2992.8 | 2891.5 |
| 35 | -936.0 | -767.8 | -758.7 | 2773.0 | 3058.2 | 2950.2 |
| 34 | -884.2 | -708.2 | -703.8 | 2824.8 | 3120.6 | 3005.2 |
| 33 | -837.3 | -653.5 | -653.5 | 2871.7 | 3178.3 | 3055.5 |
| 32 | -797.0 | -605.4 | -610.1 | 2912.0 | 3229.6 | 3098.8 |
| 31 | -765.2 | -565.9 | -575.4 | 2943.7 | 3272.6 | 3133.5 |
| 30 | -744.2 | -492.8 | -551.5 | 2964.8 | 3305.1 | 3157.4 |
| 29 | -949.1 | -734.7 | -783.4 | 2759.9 | 3078.7 | 2925.6 |
| 28 | -958.8 | -737.1 | -788.1 | 2750.2 | 3079.4 | 2920.9 |
| 27 | -986.9 | -758.2 | -813.3 | 2722.1 | 3061.7 | 2895.7 |
| 26 | -1036.2 | -800.8 | -861.2 | 2672.8 | 3022.8 | 2847.7 |
| 25 | -1109.6 | -806.9 | -933.4 | 2599.3 | 2959.7 | 2775.6 |

Tabla 4. Rentabilidades (€/ha) para una reforestación con *Pinus radiata* considerando una prima por tm de C capturada de 25€/tm

| €/tm C | <i>Populus sp</i> , turno = 17 años | | | <i>Pinus radiata</i> , turno = 33 años | | |
|--------|-------------------------------------|-------------|------------|--|-------------|------------|
| | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto | VAN sin C | VAN C bruto | VAN C neto |
| 25 | 16453.8 | 17055.3 | 16762.9 | 2871.7 | 3178.3 | 3055.5 |
| 50 | 16453.8 | 17656.7 | 17072.0 | 2871.7 | 3484.9 | 3239.2 |
| 75 | 16453.8 | 18258.2 | 17381.1 | 2871.7 | 3791.5 | 3423.0 |
| 100 | 16453.8 | 18859.7 | 17690.3 | 2871.7 | 4098.1 | 3606.7 |
| 125 | 16453.8 | 19461.1 | 17999.4 | 2871.7 | 4404.7 | 3790.4 |
| 150 | 16453.8 | 20062.6 | 18308.5 | 2871.7 | 4711.3 | 3974.2 |
| 175 | 16453.8 | 20664.1 | 18617.6 | 2871.7 | 5017.9 | 4157.9 |
| 200 | 16453.8 | 21265.6 | 18926.7 | 2871.7 | 5324.5 | 4341.7 |

Tabla 5. Rentabilidades (€/ha) para forestaciones acogidas al programa de forestación de tierras agrarias, según diversas primas al carbono capturado

