



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-584

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Valoración de la relación de intercambio del servicio de fijación de carbono y la provisión de agua en el monte mediterráneo

OVANDO, P.<sup>1</sup>, BEGUERIA, S.<sup>2</sup> y CAMPOS, P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology (Eawag),<sup>2</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

### Resumen

Se examinan la competencia entre la fijación de carbono y la producción de agua en los montes de Andalucía, considerando dos opciones de uso del suelo condicionadas por su rentabilidad para el propietario de la tierra: (i) la inversión en tratamientos de regeneración natural de los montes envejecidos; (ii) el abandono de la gestión silvícola, con la consecuente invasión del matorral y cambios en la distribución de especies forestales. Los servicios de fijación de carbono se estiman para siete de las principales especies forestales en Andalucía: *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Pinus pinea*, *P. halepensis*, *P. pinaster* y *P. sylvestris.*, incluyendo el matorral bajo cubierta. Las estimaciones económicas y biofísicas consideran los atributos espaciales de la masa forestal: inventario forestal, calidad del sitio y la pendiente del terreno. Se estima el balance hidrológico de la superficie cubierta con estas especies y la parte de la producción forestal de agua superficial con consumo económico utilizando un modelo de simulación eco-hidrológico, que depende de la vegetación forestal, las condiciones edafológicas y climáticas de cada sitio. Nuestros resultados dan cuenta de la variabilidad espacial y temporal de los servicios de fijación de carbono y de provisión de agua en montes mediterráneos; y del efecto de pagos por servicios ambientales en las decisiones de inversión forestal.

### Palabras clave

Andalucía, manejo forestal, abandono forestal, pagos por servicios ambientales.

### 1. Introducción

Los recursos forestales e hídricos interactúan de formas complejas, incluyendo sinergias, competencia y muchas veces conflictos entre los servicios hidrológicos (e.g.: provisión de agua y regulación de la calidad del agua) y otros recursos que podrían intensificarse en el futuro por efecto del calentamiento global. A escala global, un número relevante de los pagos por los servicios hidrológicos involucran la gestión forestal (Brouwer et al. 2011; Martín-Ortega et al. 2013), aunque muchos de estos carecen de una base científica apropiada, en particular, sobre cómo los cambios en la gestión forestal afectan la provisión de agua o la regulación de su calidad. Durante las últimas décadas se han realizado esfuerzos considerables para mejorar nuestra comprensión sobre las relaciones funcionales y los vínculos entre los componentes ecológicos e hidrológicos y los procesos que afectan la estructura y los servicios de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, existe una brecha todavía relevante en la integración de los procesos eco-hidrológicos dentro de las ciencias sociales para informar la toma de decisiones (Vose et al. 2011).

El análisis del efecto de los atributos y manejo de los bosques sobre los servicios hidrológicos ha sido parte, aunque relativamente marginal, de los temas de interés de la literatura económica forestal desde la década de los setenta del siglo pasado (e.g. Worley & Patric 1971; Calish et al., 1978; Krutilla et al. 1983; Ford et al., 2011; Garnier et al., 2015). Recientemente, la integración de aspectos económicos en el análisis de las interrelaciones de los recursos forestales e hídricos está adquiriendo renovado interés, en el marco de los debates sobre el calentamiento global y la crisis mundial de agua. Los recientes avances en la modelización eco-hidrológica (Vose et al. 2011) pueden servir, idealmente, al desarrollo nuevos enfoques económicos-ambientales para la gestión integral de los recursos forestales e hídricos.

En la Europa Mediterránea, el abandono de la gestión silvopastoral observada en las últimas décadas ha ampliado la cobertura vegetal leñosa (Allard et al. 2013), incrementando el riesgo potencial de incendios forestales (Fernandes et al. 2014), y generando una posible reducción en la disponibilidad de agua por una mayor evapotranspiración (Beguería et al. 2015; García-Ruiz et al. 2011). Un segundo efecto potencial del abandono en la gestión silvícola es una menor oferta de productos forestales tradicionales (como la madera o corcho) y de servicios del paisaje; aunque los efectos de la gestión silvícola o su abandono son menos claros en cuanto a los servicios de sumidero carbono o de conservación de biodiversidad silvestre (e.g. Cademus et al. 2014; Duncker et al. 2012; Ovando et al. 2017).

En este trabajo presenta un modelo integrado económico-ambiental para el análisis de las interacciones entre las decisiones económicas de gestión forestal, con la provisión de dos servicios ambientales: la fijación de carbono y el suministro de agua, que son claves en el actual debate sobre el calentamiento global y la crisis mundial de agua. Este estudio examina el abandono potencial de la gestión silvícola en montes mediterráneos en función de la rentabilidad esperada de la inversión en la regeneración masas forestales envejecidas bajo diferentes escenarios económicos. A la vez, se analizan las consecuencias del abandono sobre la distribución temporal y espacial de la fijación neta anual de carbono y la producción de agua con interés económico en montes mediterráneos. Este estudio se aplica a los montes de Andalucía, considerando las especies forestales más relevantes de la región, y la potencial evolución de sus producciones comerciales y ambientales (no comerciales) en el periodo 2010-2100.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es examinar la posible sinergia o competencia espacial y temporal en la provisión de los servicios ambientales de regulación climática a través de la fijación de carbono en la biomasa forestal y de producción de agua con interés económico, resultantes de la gestión silvícola comercial del monte o alternativamente de su abandono en los montes en Andalucía.

## 3. Metodología

Las decisiones de inversión y abandono forestal se simulan, en el tiempo y el espacio a partir del modelo económico-ambiental de gestión silvícola (EAGF en adelante) desarrollado por Ovando et al. (2017). Este modelo integra funciones de crecimiento y rendimientos a escala de árbol individual, y modelos de gestión silvícola para masas regulares e irregulares (Montero et al. 2015), de siete de las especies forestales más relevante de Andalucía: *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. Pinea* y *P. sylvestris*. El estudio cubre una superficie de 2.44 millones hectáreas en esta región, distribuidas en 45.254 teselas del mapa forestal español (MFE), y cuyos datos de inventario se corresponden con los resultados estratificados del tercer inventario forestal nacional (IFN3) (Díaz-Balteiro et al. 2015)

En total se consideran 20 diferentes modelos de gestión silvícola (entre 2 a 5 modelos por especie) según la productividad del sitio para la producción de madera, corcho o piña. Los modelos de crecimiento y rendimiento forestal se basan en datos empíricos recogidos en diferentes montes mediterráneos de España, mientras que los modelos de gestión silvícola consideran las prácticas forestales más comunes en Andalucía (Montero et al. 2015).

El modelo económico-ambiental de gestión silvícola desarrollado permite estimar el flujo de beneficios (comerciales y ambientales (no-comerciales)) y costes de gestión que se derivarían, en cada tesela del MFE, de la inversión en la regeneración de la masa forestal una vez que cada cohorte<sup>1</sup> alcanza su edad de rotación<sup>2</sup>. En su defecto este modelo cuantifica el flujo de servicios ambientales

<sup>1</sup>Cada cohorte se define como un monte homogéneo en términos de la especie forestal dominante y la edad de la masa forestal (estimada en función de la clase diamétrica (Díaz-Balteiro et al. 2015)).

<sup>2</sup>Se estima una única edad de rotación para cada especie forestal, modelo de crecimiento y de gestión aplicados, considerando el tiempo medio necesario para alcanzar, en cada caso, la clase diamétrica a la cual

que se derivarían en caso de abandonarse la gestión silvícola. Los beneficios incluyen bienes y servicios comerciales procedentes del manejo silvopastoral (madera, corcho, leña, piñas y pasto), y dos servicios ambientales: el servicio de regulación climática a través de la fijación de carbono en la biomasa forestal (arbórea y arbustiva), y la provisión de agua con interés económico. Este último servicio está referido al agua superficial regulada (generalmente en embalses controlados por la autoridad hidrológica) y que se destina a usos agrícolas (85%), industriales o domésticos (15%) (Beguería et al. 2015).

El modelo EAGF permite cuantificar la probabilidad condicional de supervivencia de cada árbol individual a lo largo de cada uno de los años de su rotación, por lo que puede aplicarse a cualquier distribución inicial de pies y edades para simular la evolución de los rodales forestales. Las probabilidades de supervivencia condicional se ven afectadas por el riesgo de incendios forestales, la mortalidad del arbolado, y la probabilidad de cortas (clareos, claras y cortas finales) según los modelos de gestión silvícola considerados. El riesgo de incendios se asume constante y se estima como el ratio medio de la superficie quemada por especie forestal observada en Andalucía en el período 1986-2007 (Díaz-Balteiro et al. 2015), mientras que las tasas de mortalidad dependen de la edad de los árboles, la especie y la calidad del sitio (Ovando et al., 2017)).

Los rendimientos de la madera, el corcho y piña se valoran utilizando los precios medios (actualizados a 2010) de los derechos de aprovechamiento forestal observados en Andalucía en el período 2008-2010 por especies, producto y calidad de la madera o el corcho (Díaz-Balteiro et al. 2015), y los precios de arrendamiento de los pastos por tipo de especie forestal y provincia observados en Andalucía en 2010 (Campos et al. 2016). Los costes forestales dependen de los atributos espaciales específicos de cada tesela, en particular de su estructura forestal (distribución de especies, densidad y distribución por clase de edad) y del gradiente de la pendiente. Las labores forestales incluyen el desbroce de matorral, podas de mantenimiento y formación, claras, clareos y la cosecha comercial de piñas, corcho o madera, cuya probabilidad de ocurrencia se estima endógenamente, de acuerdo con su rentabilidad para el propietario forestal en cada tesela.

El modelo EAGF determina endógenamente la probabilidad ( $\varphi$ ) de continuar con la gestión silvícola en cada tesela, en función de la rentabilidad de la inversión en la regeneración natural de la masa forestal. En este caso suponemos que el propietario invertirá en los tratamientos de regeneración de bosques maduros (los que han alcanzado la edad de rotación) sólo si el valor presente neto (VAN) de los beneficios comerciales ( $B_s$ ) esperados de la nueva rotación es superior al VAN de los costes de producción ( $C_s$ ), y el VAN es positivo:  $\varphi=1$  if  $\text{VAN} = \sum_{t=s}^T \delta^{-s} (B_s - C_s) \geq 0$  (donde  $\delta$  es la función de descuento:  $\delta = (1+dr)^{-s}$ , y  $dr$  la tasa de descuento real). Los costes de producción incluyen la inversión inicial, los costes de oportunidad de 20 años de exclusión al pastoreo ganadero y las labores forestales prescritas a lo largo de toda la rotación. Se simulan diversos escenarios económicos: variaciones de hasta  $\pm 50\%$  en los precios medios de los productos forestales observados en Andalucía entre 2008-2010; y tasas de descuento en un rango de 2% a 5%.

Se espera que el abandono de la gestión silvícola resulte, en la mayor parte de los casos, en un espesamiento del matorral, a la vez que genere cambios en la distribución de especies (variación en el peso de quercíneas y coníferas en cada tesela). A efectos de la simulación, se ha definido, con la ayuda de expertos y un análisis de datos del IFN3, la máxima fracción de cabida cubierta de matorral, quercíneas y coníferas (según la especie dominante y la calidad del sitio) que cabría esperar en un periodo de 50 años desde que en teoría debieran de iniciarse los tratamientos de regeneración natural (Ovando et al., 2017)). En este caso se ha simulado la evolución de las variables anteriores en todas las teselas estudiadas a fin de estimar la fijación neta de carbono y el balance hidrológico en el periodo 2010 a 2100 para las situaciones alternativas de abandono de la gestión silvícola y de su continuidad, asumiendo que no se producen cambios de especie forestal.

---

los modelos de gestión silvícola prescriben el inicio de la corta final y los tratamientos necesarios para promover la regeneración de la masa forestal.

La fijación de carbono en el estrato arbóreo se estima por especie y árbol individual utilizando las funciones de Montero et al. (2006) que relacionan el stock de carbono en la biomasa área y raíces con el diámetro (DBH) del arbolado. La fijación neta de carbono depende de la variación anual del stock de carbono, que se ve afectado por el crecimiento en diámetro, la mortalidad, el riesgo de incendios forestales y las cortas de gestión esperadas. El secuestro de carbono del matorral bajo cubierta se evalúa utilizando la ecuación de Pasalodos-Tato et al. (2015), y datos de la fracción de cubierta cubierta y altura del estrato arbustivo del IFN3 (Díaz-Balteiro et al. 2015), asumiendo que éste se ve negativamente afectado por la probabilidad de incendios forestales (la misma que el estrato arbóreo) y la corta de matorral esperadas (esta última constante e igual a un 2% anual). La fijación neta de carbono se valora considerando el precio medio de 2010 ( $\pm 50\%$ ) de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (EU ETS), asumiendo que el propietario recibe un pago cuando secuestra CO<sub>2</sub> y debe pagar una tasa (por igual precio) cuando emite CO<sub>2</sub> (por las cortas o incendios, suponiendo emisiones instantáneas). Si bien el sector forestal no es elegible en este sistema, éste es el mercado más cercano y preferible a mercados completamente simulados.

El balance hídrico se estima utilizando el modelo eco-hidrológico SWAT desarrollado por Beguería et al. (2015), basado en simulaciones numéricas para las unidades de respuesta hidrológica (HRU) en 44 cuencas de Andalucía. La simulación utiliza datos hidrológicos y climáticos diarios, que abarcan el período 2000-2009, mientras que la distribución espacial de los caudales hidrológicos (incluyendo la escorrentía superficial y la recarga de acuíferos) tiene en cuenta los atributos de la cubierta arbórea en cada tesela del MFE. En este caso, los atributos considerados son la fracción de cubierta cubierta por el estrato arbóreo y el matorral y el peso de coníferas, quercíneas y eucalipto en el área basimétrica total, y su variación en el periodo de análisis. Una fracción de los caudales de agua puede ser regulada por la autoridad hidrológica (referida al excedente del agua capturada en el monte), que es luego cedida y/o vendida a los usuarios finales (agricultura, industria y hogares). Esta fracción denominada “agua económica” se valora considerando el precio hedónico del agua (valor capital) estimado por Berbel y Mesa (2007) por su uso para riego en el Valle del Guadalquivir. El valor capital (Pw) del agua actualizado al año 2010 es de 4.04 €/m<sup>3</sup> ( $\pm 50\%$ ), mientras que el precio del flujo anual de agua se calcula utilizando las tasas de descuento reales simuladas:  $pw = Pw \cdot dr$ .

## 4. Resultados

### 4.1 Probabilidad de abandono de la gestión silvícola

Se estima que en el periodo inicial (2010) en torno a un 20% de la superficie forestal evaluada cuenta con edades 50 o más años superiores a la edad de rotación teórica definida en este estudio, y por tanto se consideran masas forestales abandonadas. El modelo GEF estima la probabilidad de abandono ( $\phi=0$ ) o de continuidad ( $\phi=1$ ) de la gestión silvícola para cada especie, tesela forestal y periodo, cuando los árboles de cada cohorte alcanzan su edad de rotación. Al depender este valor del VAN de la inversión forestal, éste fluctúa con las tasas de descuento y el nivel de precios relativos de los productos forestales comerciales simulados. Nuestros resultados muestran variaciones relevantes en la probabilidad de continuidad de la gestión silvícola, aunque la tendencia al abandono parece clara incluso en escenarios con los precios más altos y tasas de descuento más bajas, con al menos el 50% de la superficie forestal sin gestión silvícola en 2100 (Fig. 1).

Las predicciones de continuidad de la gestión silvícola varían entre las especies y sitios estudiados. La tendencia al abandono es mayor en montes dominados por coníferas, que presentan una menor rentabilidad comercial, que en especies como *P. halepensis* y *P. nigra* es poco sensible a cambios en los precios o tasas de descuento evaluados. *Q. suber* es la especie cuya rentabilidad es más sensible a variaciones en precios y tasas de descuento, y que salvo cambios relevantes en el nivel de precios relativos, se espera una menor tendencia al abandono de la gestión silvícola. Se estima que en torno a un tercio de las masas actuales de *Q. ilex* serán abandonadas en el futuro por su baja rentabilidad comercial, mientras que el abandono de la gestión silvícola en la restante superficie depende del escenario de precios y tasas de descuento simuladas (Fig. 2).

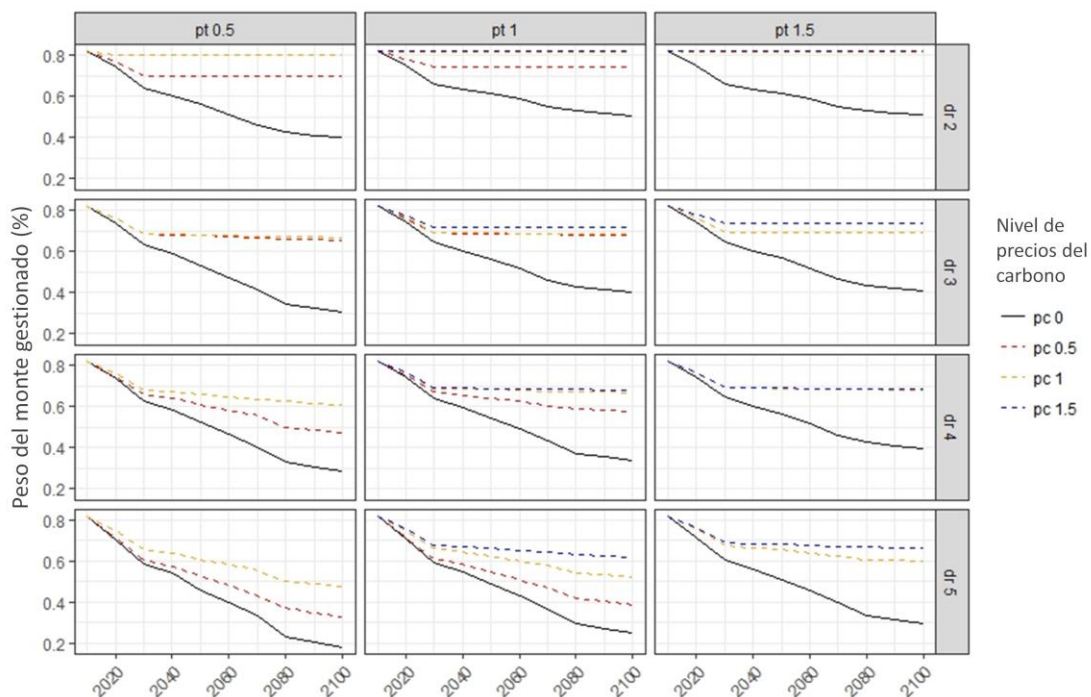


Figura 1. Predicción de la proporción de monte con gestión silvícola para diferentes: tasas de descuento (dr), niveles de precios de los productos forestales comerciales (pt) y el nivel de precios del carbono (pc)

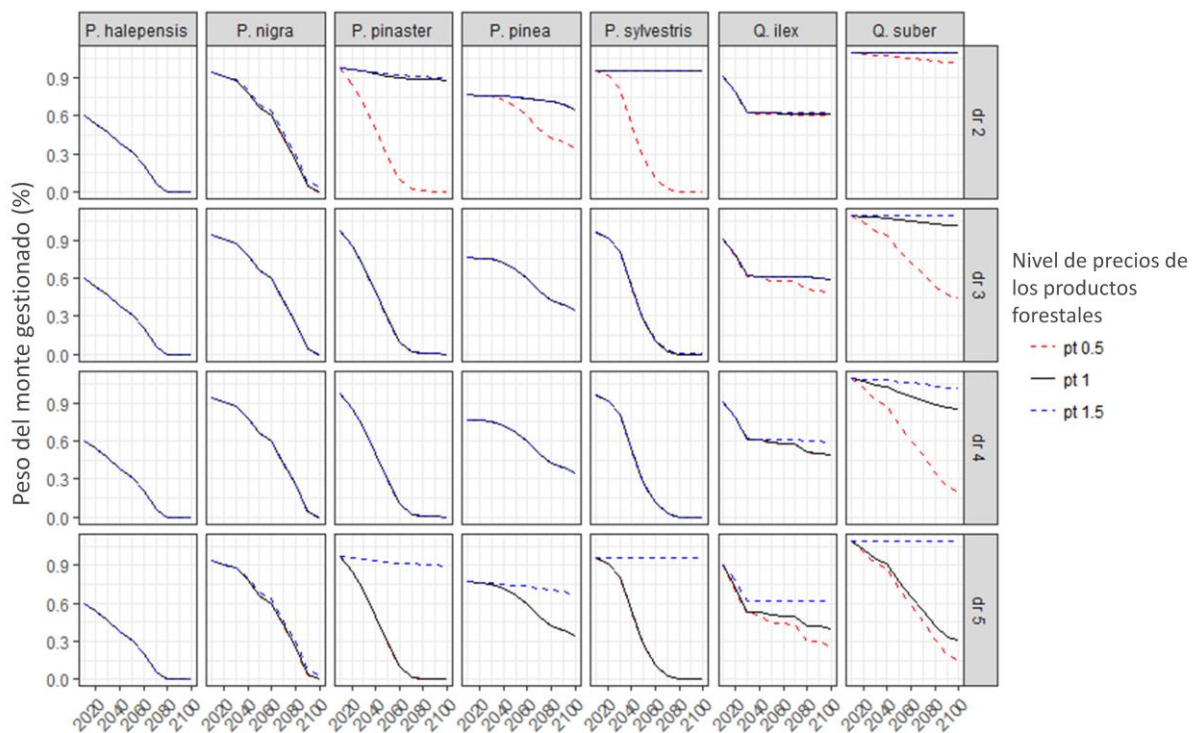


Figura 2. Predicción de la proporción de monte con gestión silvícola para diferentes especies forestales, tasas de descuento (dr) y nivel de precios de los productos forestales comerciales (pt).

## 4.2 Consecuencias del abandono de la gestión silvícola

Nuestros resultados sugieren que el abandono de la gestión silvícola podría implicar (en la mayoría de los casos) un incremento en la función sumidero de carbono debido al espesamiento de las cubiertas arbustiva y arbórea. Se estima que a nivel agregado, el abandono forestal supondría en 2020 un incremento próximo al 20% en la fijación de carbono en comparación con la continuidad de la gestión silvícola en aquellas teselas que alcanzan en este periodo la edad de rotación teórica, que se incrementa de forma relevante en el periodo 2050. La Figura 3 muestra la distribución espacial de las variaciones porcentuales estimadas en los servicios de fijación neta de carbono en caso de continuarse la gestión silvícola respecto de su abandono en los periodos 2020, 2050 y 2100, y en estas puede observarse una amplia variabilidad espacial, con valores que fluctúan reducciones mayores al 60% e incrementos mayores al 80% en la fijación anual de carbono del monte gestionado frente al abandonado.

Por otro lado, se estima que el abandono de la gestión silvícola llevará, en estos mismos periodos, a disminuciones cercanas al 40% en la cantidad de agua superficial regulada que es capturada por la superficie forestal (agua económica). La Fig. 3 muestra que el abandono forestal podría reducir el agua económica forestal en la mayoría de las teselas consideradas. Se espera que el espesamiento de árboles y arbustos incremente la evapotranspiración, por lo tanto, reduzca el caudal de agua hacia los embalses regulados.

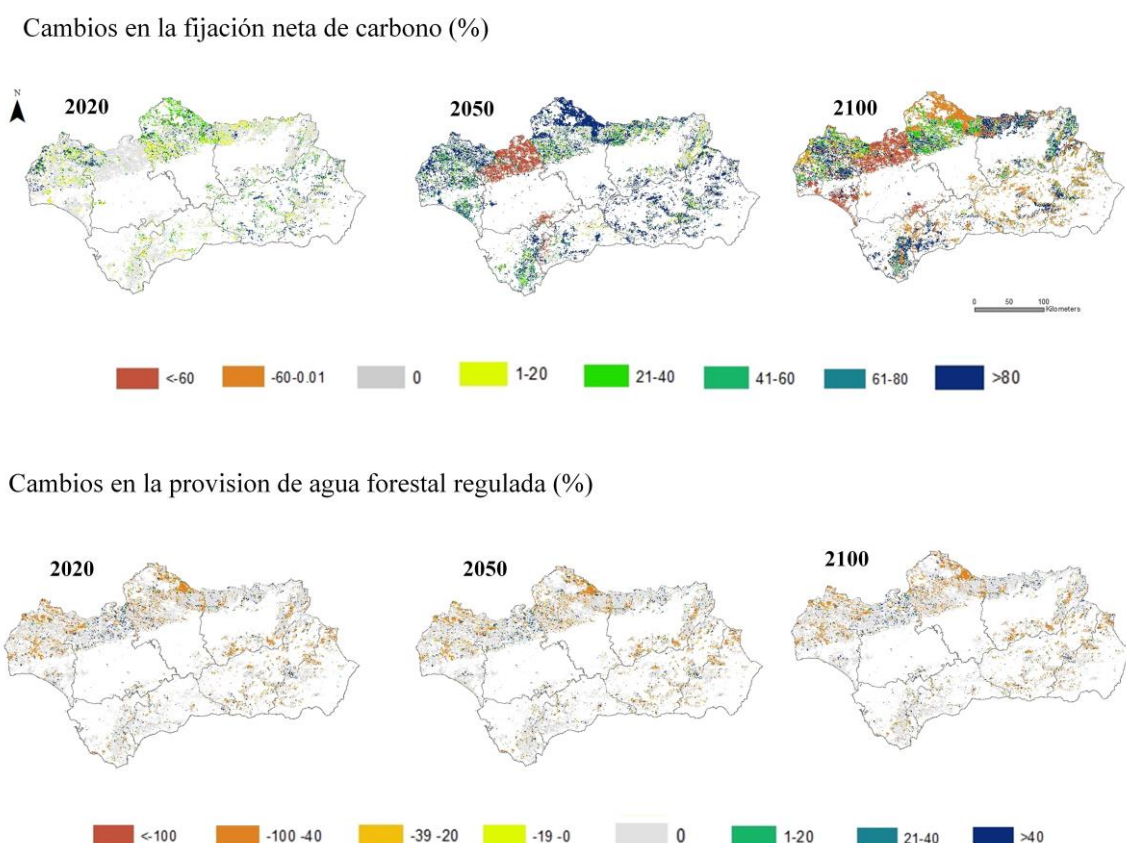


Figura 3. Distribución espacial de los cambios esperados en la fijación de carbono y la producción de agua forestal económica del abandono de la gestión silvícola frente a su continuidad en 2020, 2050 y 2100 (%)

### 4.3 Pagos por servicios ambientales

La integración de los pagos anuales por los servicios ambientales (PES) de fijación (adicional) de carbono en el estrato arbóreo y por la cantidad de agua económica regulada debidos a una gestión silvícola activa, podría generar incentivos adicionales para invertir en tratamientos que faciliten la regeneración de las masas forestales maduras. Nuestros resultados sugieren que la integración de pagos por el carbono adicional fijado pueden ser claves para la conservación del uso múltiple (comercial y ambiental) del monte mediterráneo (ver Fig. 1 y Fig. 4), aun cuando se simulan precios del carbono relativamente bajos y tasas de descuento altas. El efecto de pagos por el agua regulada es marginal a escala agregada (Fig. 1), ya que como puede apreciarse en la Fig. 3 en muchas teselas forestales el valor económico del agua es nulo (es decir no está regulada).

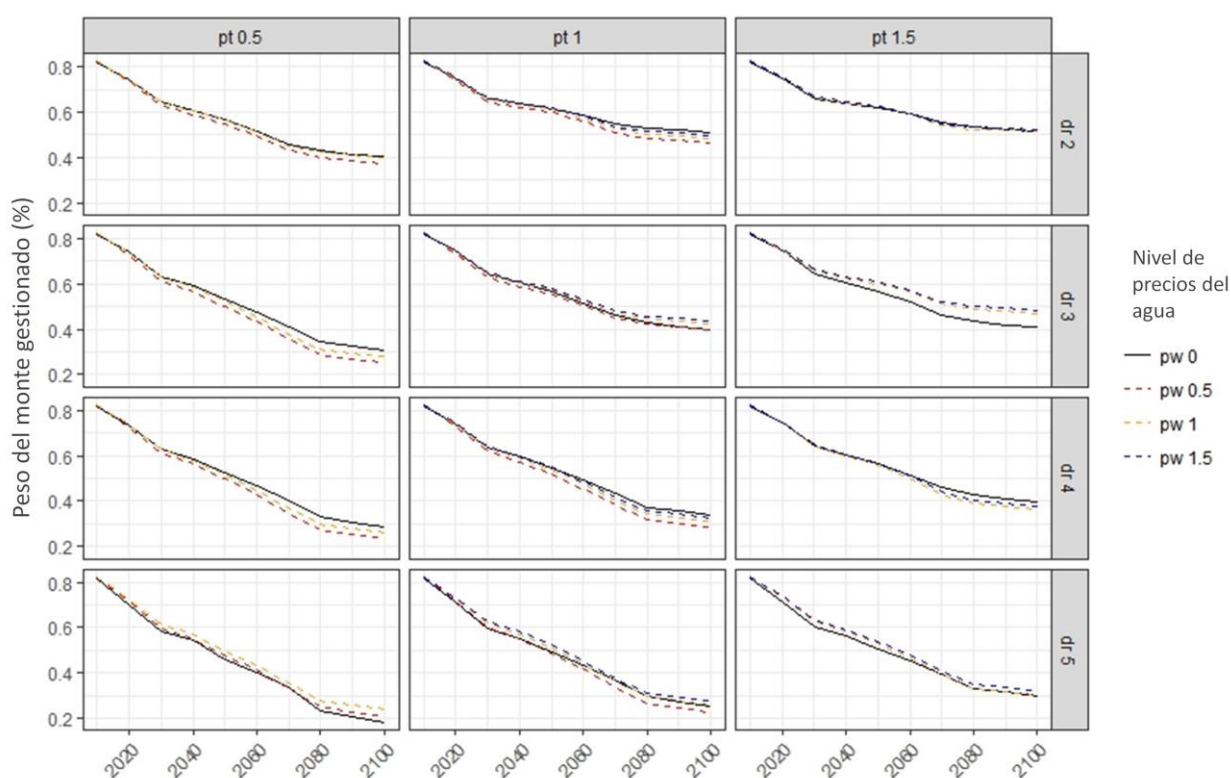


Figura 4. Predicción de la proporción de monte con gestión silvícola para diferentes: tasas de descuento (dr), niveles de precios de los productos forestales comerciales (pt) y el nivel de precios del agua (pw)

## 5. Discusión

La integración de un modelo económico-ambiental de gestión forestal con un modelo ecohidrológico (ambos espacialmente diferenciados) para analizar los efectos espaciales y temporales de las decisiones de gestión forestal en la provisión de agua, y otros servicios ambientales, es una contribución relevante a la incipiente literatura que aborda las complejas interacciones entre los recursos forestales e hidrológicos. Si bien se han hecho progresos relevantes para una mejor comprensión de estas interacciones (Vose et al. 2011), a la fecha son pocos los estudios que integran



aspectos económicos en su análisis (e.g. Nordblom et al., 2010; Cademus et al. 2013), y mucho más escasos en el ámbito mediterráneo (e.g. Garcia-Prats et al. 2016). No obstante, la escala y detalle espacial de nuestro estudio representa un punto de referencia en el análisis de los efectos de la gestión económica del monte en sus recursos forestales e hidrológicos, para informar decisiones de gestión y políticas ambientales.

Los resultados de este estudio sugieren que la continuidad de la gestión silvícola en los montes de Andalucía puede verse limitada de forma relevante por la falta competitividad de los productos leñosos y frutos forestales y de las formas de gestión tradicionales del monte. Esta tendencia puede verse relativamente aminorada o acentuada por cambios en los precios relativos y en las preferencias inter-temporales de consumo que afectan las tasas de descuento. Es de esperar, en general, que, en ausencia de incentivos adicionales, los procesos de abandono de la gestión silvícola actual se acentúen en las próximas décadas; o en su defecto se produzcan cambios hacia especies forestales o modelos de producción forestal comercial más rentables (que no se examinan en este estudio).

Los pagos por servicios ambientales, en especial por la fijación adicional de carbono, pueden generar incentivos relevantes para la continuidad del uso múltiple de los montes en Andalucía. Este resultado puede resultar paradójico, si se espera que el abandono de la gestión silvícola incremente el stock de carbono en mayor medida que el continuar con esta gestión. En este caso, cabe resaltar que los pagos por los servicios de fijación de carbono están concebidos para reconocer la fijación adicional que es producto de una gestión activa del monte (e.g.: reforestación o degradación y deforestación evitadas), y no de procesos naturales como la revegetación. Por tanto, los pagos simulados por el CO<sub>2</sub> secuestrado tienen en cuenta únicamente la fijación de carbono por el crecimiento de la nueva masa forestal (en caso de realizarse la inversión). Al apoyar los pagos por el carbono adicional fijado a la continuidad de la gestión silvícola, podrían también favorecer la provisión de otros servicios ambientales ligados a la conservación del paisaje silvopastoral, como son los servicios públicos recreativos, escénicos y de conservación de la biodiversidad amenazada, que a su vez son una fuente más de legitimación pagos públicos por la gestión sostenible de los recursos forestales.

En cuanto a las limitaciones de este estudio cabe indicar que las estimaciones de fijación de carbono en el caso de abandono de la gestión silvícola responden a un modelo y supuestos simplificados (Ovando et al. 2017), sin tener en cuenta la dinámica de la sucesión de especie forestales. Por otro lado, nuestras estimaciones asumen que el abandono de la gestión silvícola no incrementa el riesgo de incendios forestales, aun cuando se produce un espesamiento del arbolado y arbustos; por lo que los resultados de los escenarios de abandono podrían estar sobrevalorados. También se destaca que nuestros modelos de crecimiento y rendimientos forestales e hidrológico no consideran los potenciales efectos (e incertidumbres) de condiciones climáticas cambiantes, que se espera sean relevantes en el ámbito mediterráneo (García-Ruiz et al. 2011). No obstante, a través del análisis de sensibilidad a los precios examinamos el potencial efecto de los incrementos o reducciones en los beneficios netos comerciales de la gestión silvícola, que podrían deberse a incrementos/descensos en los precios/costes o en la productividad por innovaciones de mercado o tecnológicas o por efectos positivos o negativos de cambios en las condiciones climáticas.

## 6. Conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren una tendencia marcada al abandono de la gestión silvícola, con un efecto relativamente menor de los supuestos económicos sobre tasas de descuento y niveles precios en las predicciones del abandono productivo de los montes de Andalucía. Estos resultados también muestran una heterogeneidad espacial relevante en las decisiones de inversión en la regeneración de la masa forestal (dependiendo de la especie y el sitio), y en la provisión de servicios de fijación de carbono y agua económica regulada.

Nuestros resultados sugieren más competencia que sinergias en la producción de servicios de regulación climática y provisión de agua en montes mediterráneos. En la medida que se espera que el abandono de la gestión silvícola reduzca la entrada de agua en los embalses regulados, por una

mayor evapotranspiración debida al espesamiento de la vegetación arbustiva y arbórea, al tiempo que aumente el stock y fijación de carbono. Paradójicamente, los pagos por la fijación adicional de carbono resultantes de una gestión activa del monte pueden ser claves para fomentar la conservación a largo plazo del uso múltiple del monte mediterráneo y favorecer la producción de agua más que pagos directos por el agua económica regulada.

Este estudio representa una contribución y punto de partida relevante para el análisis integral de la gestión económica de los recursos forestales e hídricos de los montes; que precisa de mayor investigación a fin de considerar de forma más comprensiva la complejidad en las interacciones e incertidumbres inherentes a los sistemas naturales y económicos. Un elemento clave en futuras investigaciones es el análisis de los efectos de condiciones climáticas cambiantes en las producciones forestales y balance hidrológico, particularmente en lo que se refiere a una probable intensificación de incendios forestales o déficit hídricos estacionales. Así mismo, es precisa más investigación para examinar alternativas productivas diferentes a las de la gestión silvícola tradicional que se analizan en este estudio, que respondan a cambios en la demanda de productos forestales comerciales y servicios ambientales de los montes.

## 7. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Junta de Andalucía ya la Agencia para el Agua y el Medio Ambiente de Andalucía el apoyo financiero y para la recolección de datos de campo para el proyecto “Renta total y capital de los montes de Andalucía” (RECAMAN, Contrato NET165602). Paola Ovando reconoce el apoyo de la Comisión Europea en el marco del Programa de Becas Intra-Europeas Marie Curie (PIEF-2013-621940), durante su estancia en la *London School of Economics and Political Science*.

## 8. Bibliografía

- ALLARD, G.N., C. BERRAHMOUNI, D. BESACIER, M. BOGLIO, A. BRIENS, A. BRIZAY, L. CAMIA, et al. 2013. Chapter 2. State of Forest Resources in the Mediterranean Region. En FAO, State of Mediterranean Forests 2013, 27–47. FAO, Roma.
- BEGUERÍA, S., P. CAMPOS, R. SERRANO, AND A. ALVAREZ. 2015. Producción, usos, renta y capital ambientales del agua en los sistemas forestales de Andalucía. En: CAMPOS P.; DIAZ, M. (eds.) Biodiversidad, usos del agua forestal y recolección de Setas Silvestres en los Sistemas Forestales de Andalucía, 102–273. Memorias científicas de RECAMAN. Vol 2. Editorial CSIC, Madrid..
- BERBEL, J, MESA, P;. 2007. Valoración del agua de riego por el método de precios quasi-hedónicos: aplicación al Guadalquivir. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 7 (14): 127–44.
- BROUWER, R., A. TESFAYE, P. PAUW. 2011. Meta-analysis of institutional-economic factors explaining the environmental performance of payments for watershed services. *Env. Conserv.* 38(4): 380–392.
- CADEMUS, R., F.J. ESCOBEDO, D. MCLAUGHLIN, A. ABD-ELRAHMAN. 2014. Analyzing trade-offs, synergies, and drivers among timber production, carbon sequestration, and water yield in Pinus Elliotii Forests in Southeastern USA. *Forests* 5 (6): 1409–31.
- CALISH, S., FIGHT, R. D. AND TEEGUARDEN, D. E. 1978 How Do Nontimber Values Affect Douglas-fir Rotations?. *J. Forestry*, April: 217–221.
- CAMPOS, P., P. OVANDO, B. MESA, J.L. OVIEDO. 2016. Environmental income of livestock grazing on privately-owned silvopastoral farms in Andalusia, Spain. *Land Degra. Devel.*
- DIAZ-BALTEIRO, L., A. CAPARRÓS, P. CAMPOS, E. ALMAZÁN, P. OVANDO, A. ALVAREZ, R. VOCES, C. ROMERO. 2015. Economía privada de productos leñosos, frutos industriales, bellota, pastos y el servicio del carbono en los sistemas forestales de Andalucía. En *Economía y silviculturas de los montes de Andalucía*., CAMPOS P., DIAZ-BALTEIRO, L. (eds.), 397–722. Memorias científicas de RECAMAN. Vol 1. Editorial CSIC, Madrid.

- DUNCKER, P S, K. RAULUND-RASMUSSEN, P. GUNDERSEN, K. KATZENSTEINER, J. DE JONG, H. P RAVN, M SMITH, O ECKMÜLLNER, H SPIECKER. 2012. How Forest Management affects ecosystem services, including timber production and economic return: Synergies and Trade-Offs. *Ecol. Society* 17 (4). doi:10.5751/ES-05066-170450.
- FERNANDES, P. M., C. LOUREIRO, N. GUIOMAR, G.A., PEZZATTI, F.T. MANSO, L. LOPES. 2014. The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *J. Env. Manag.*146: 373–82.
- FORD, C. R., S.H. LASETER, W.T SWANK, J.M.VOSE, J. M. 2011- Can forest management be used to sustain water-based ecosystem services in the face of climate change?, *Ecol. Applications* 21(6): 2049–2067.
- GARCIA-PRATS, A., A.D. DEL CAMPO, M. PULIDO-VELAZQUEZ. 2016. A hydroeconomic modeling framework for optimal integrated management of forest and water. *Water Resour. Research*, doi: 10.1002/2015WR018273.
- GARCÍA-RUIZ, J. M., J.L. LÓPEZ-MORENO, S.M. VICENTE-SERRANO, T. LASANTA-MARTÍNEZ, S. BEGUERÍA. 2011. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Sci.Rev.*105 (3): 121–39.
- GARNIER, M., D.M.HARPER, L. BLASKOVICOVA, G. HANCZ, G.A. JANAUER, Z. JOLÁNKAI, E. LANZ, A. LO PORTO, et al. 2015. Climate Change and European Water Bodies, a Review of Existing Gaps and Future Research Needs: Findings of the ClimateWater Project. *Env. Manag.* 56(2): 271–285.
- KRUTILLA, J.V., M.D. BOWES, P. SHERMAN, Watershed management for joint production of water and timber: a provisional assessment. *Water Resour. Bullet.* 19(3):403-414.
- MARTIN-ORTEGA, J., E. OJEA, C. ROUX. 2013. Payments for Water Ecosystem Services in Latin America: A literature review and conceptual model. *Ecosyst. Services* 6: 122–132.
- MONTERO, G., M. PASALODOS, E. LOPEZ-SENEPLEDA, R. RUIZ-PEINADO, A. BRAVO-OVIEDO, G. MADRIGAL. 2015. Modelos de silvicultura y producción de madera, frutos y fijación de carbono de los sistemas forestales de Andalucía. En *Economía y silviculturas de los montes de Andalucía.*, CAMPOS P., DIAZ-BALTEIRO, L. (eds.), 153–396. Memorias científicas de RECAMAN. Vol 1. Editorial CSIC, Madrid.
- MONTERO, G., R. RUIZ-PEINADO, M. MUÑOZ. 2006. Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. INIA, Madrid.
- NORDBLOM, T. L., B. P. CHRISTY, J. D. FINLAYSON, A. M. ROBERTS, J. A. KELLY, 2010. Least cost land-use changes for targeted catchment salt load and water yield impacts in south eastern Australia, *Agri. Water Manag.* 97(6): 811–823.
- OVANDO, P. A. CAPARRÓS, L. DIAZ-BALTEIRO, M. PASALODOS, S. BEGUERÍA, J. L. OVIEDO, G.MONTERO, P. CAMPOS. 2017. Spatial valuation of forests' environmental assets: an application to Andalusian silvopastoral farms. *Land Econ.* 93 (1): 87–108.
- PASALODOS-TATO, M. R. RUIZ-PEINADO, M. DEL RÍO, G. MONTERO. 2015. Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region." *European J. Forest Research* 134 (3): 537–53.
- VOSE, J. M., G. SUN, C.R. FORD, M. BREDEMEIER, K. OTSUKI, X. WEI, Z. ZHANG, L. ZHANG. 2011. Forest ecohydrological research in the 21<sup>st</sup> century: what are the critical needs?, *Ecohydrology*, 4(2):146–158.
- WORLEY, D. P.; J.H. PATRIC, 1971. Economic evaluation of some watershed management alternatives on forest land in West Virginia, *Water Resour. Res.*, 7(4): 812–818.