

Los pinares de repoblación como generadores de cambios en la biodiversidad a diferentes escalas

Rafael M.¹ Navarro Cerrillo,
M.² Ángeles Varo Martínez,
Guillermo Palacios Rodríguez,
Francisco J. Ruiz Gómez⁴

¹ Dr. Ingeniero de montes, Dpto. de Ingeniería Forestal-
Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, CN IV km 398,
14071, Córdoba (rnavarro@uco.es)
y licenciado en ciencias ambientales

² Ingeniero de montes, Dpto. de Ingeniería Forestal-
Universidad de Córdoba.

³ Dr. Ingeniero de montes, Dpto. de Ingeniería Forestal-
Universidad de Córdoba.

⁴ Dr. Ingeniero de montes, Dpto. de Ingeniería Forestal-
Universidad de Córdoba.

El efecto de los pinares de repoblación en la biodiversidad representa uno de los aspectos que más debate genera entre diferentes colectivos, llegándose a considerar a las repoblaciones como “cultivos forestales” o incluso “desiertos biológicos”. Sin embargo, otros estudios muestran que las repoblaciones pueden tener efectos positivos sobre la diversidad y dinámica de la vegetación. En este artículo se analizan algunos ejemplos de los efectos que las repoblaciones han tenido en la regeneración y la biodiversidad vegetal a partir de algunos ejemplos en Andalucía. En conjunto, los estudios realizados en el ámbito del Mediterráneo muestran una gran variedad en las características del componente leñoso de las repoblaciones, tanto en diversidad específica como estructural como respuesta a diferentes gradientes ambientales y selvícolas. Cuando las repoblaciones se han comparado con los *ecosistemas de referencia* de su entorno (potenciales o reales), las plantaciones muestran subpisos y estructuras “poco” diversas. Sin embargo, cuando las repoblaciones se han comparado con los usos previos a la repoblación (suelos agrícolas de baja productividad o abandonados, o matorrales y arbustados), las repoblaciones han presentado valores de biodiversidad y estructuras verticales y horizontales de mucha mayor complejidad. Esta respuesta parece venir modulada por factores ambientales (gradientes climáticos o condiciones de estación), la complejidad del paisaje forestal circundante (fragmentación y conectividad con áreas forestales cercanas), la selvicultura aplicada a las repoblaciones, o los *legados* de los usos previos del suelo. Estos factores moduladores de la biodiversidad en masas artificiales pueden ser modificados a través de la selvicultura, que ha demostrado que, cuando se aplica en tiempo y forma adecuados (ej.: cortas de mejora, cortas de regeneración, gestión de la vegetación del subpiso, integración en matrices de usos del suelo más complejos, etc.), contribuye de manera significativa a mejorar los procesos de diversificación de las repoblaciones, evitando problemas de *sucesión colapsada* y baja diversidad. **Palabras clave:** Masas artificiales, selvicultura, biodiversidad, facilitación, competencia, gestión adaptativa.

1. INTRODUCCIÓN

Las repoblaciones forestales son bosques establecidos mediante siembra o plantación para lograr diferentes objetivos, que van desde aquellos estrictamente económicos (ej.: la producción de biomasa leñosa) hasta la obtención de diferentes servicios ambientales (ej.: la corrección hidrológico forestal, la protección de infraestructuras y servicios o el uso público, entre otros muchos) (Fig. 1). Las plantaciones forestales cubren una superficie de 5 636 495 ha en España, lo que supone, aproximadamente, el 10 % de toda la superficie del país y 18 % de la superficie forestal nacional (Vadell *et al.*, 2016). A medida que ha ido cambiando la percepción que la sociedad tiene de las repoblaciones forestales, el papel de este tipo de bosques se ha vuelto más importante, tanto desde el punto de vista social como ambiental. Tomando como ejemplo Andalucía, de las aproximadamente 321 300 ha de repoblaciones forestales, el 37 % se encuentran dentro de figuras de protección (Fig. 1, Fig. 2).

Los bosques son vitales para el suministro de servicios ambientales, lo que ha dado lugar a que diferentes iniciativas internacionales (ej.: el Desafío de Bonn, la Declaración de Bosques de Nueva York, *the African Forest Landscape Restoration Initiative*-AFR100, o la Ley Europea de Restauración de la Naturaleza) que abogan por aumentar la superficie de ecosistemas forestales procedentes de plantaciones para alcanzar diferentes objetivos de conservación y de producción. Debe tenerse presente que las estrategias de restauración forestal van desde la plantación hasta la promoción de la regeneración natural, ofreciendo un abanico muy amplio de enfoques restauradores de diferentes ecosistemas objetivo (Pemán *et al.*, 2021). Este tipo de masas artificiales o *ecosistemas emergentes* (*sensu* Hobbs *et al.*, 2006) se establecieron en España, en su mayor parte, sobre terrenos agrícolas degradados, suelos de baja productividad o formaciones de matorral o arbustados; y, solo muy ocasionalmente, sobre masas forestales degradadas (Vadell *et al.*, 2017), que, en general,

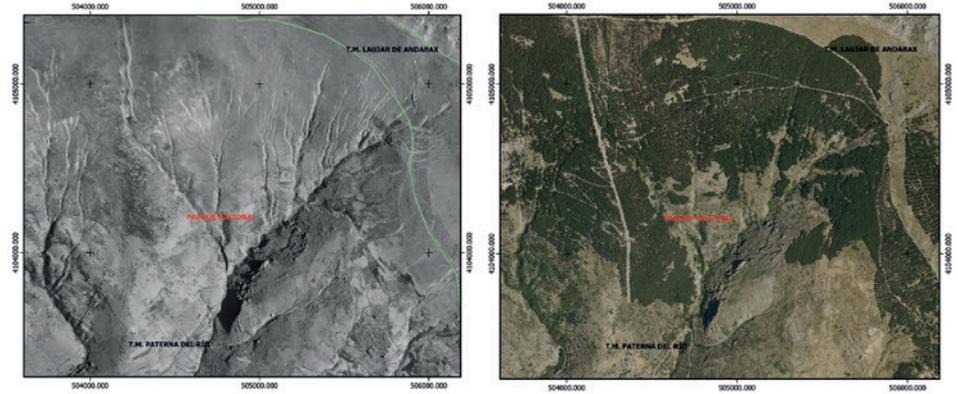


Fig. 1. Actuaciones repobladoras en el Parque Nacional de Sierra Nevada (derecha). a) ortofoto de 1957, b) ortofoto 2018 (cortesía del ingeniero de montes Antonio Castillo)

representaban zonas de baja biodiversidad. A pesar de ello, se ha asociado a las repoblaciones con una pérdida de la diversidad biológica forestal, hasta el punto de considerar este tipo de bosques como “desiertos biológicos” (Brockerhoff *et al.*, 2008; Gómez Aparicio *et al.*, 2009a; Bremer y Farley, 2010, Horák *et al.*, 2019), mostrando una menor diversidad de vegetación de matorral o herbáceas (por ej.: Maestre *et al.*, 2004), aves o pequeños mamíferos (por ej.: Martínez *et al.*, 2016) o invertebrados (por ej.: Martínez-Jauregui *et al.*, 2013). Esto viene apoyado, al menos parcialmente, por numerosos trabajos en ecosistemas mediterráneos (por ej.: Ruiz-Benito *et al.*, 2012; Cruz-Alonso *et al.*, 2019), bioma donde se encuentran la mayor parte de las repoblaciones de coníferas en España.

Sin embargo, todavía existe un debate sobre el vínculo entre la biodi-

versidad y las repoblaciones, pudiéndose encontrar estudios que muestran que las repoblaciones presentan una biodiversidad más alta de la esperada (por ej. Navarro-Cerrillo *et al.*, 2013). Esta discrepancia en los resultados se debe, en gran medida, a varios aspectos; i) el *ecosistema de referencia* que se considera cuando se compara la biodiversidad de una repoblación forestal (plantaciones frente a rodales naturales o seminaturales; o plantaciones frente a usos de la tierra previos a la repoblación); ii) las condiciones ecológicas del lugar de la repoblación (factores abióticos de la repoblación); iii) la escala temporal del estudio (edad de la repoblación); iv) la localización geográfica de la repoblación y su entorno (fragmentación y conectividad); v) el *legado histórico* de la repoblación, y vi) el objetivo y selvicultura de la repoblación (gradiente desde las plantaciones de

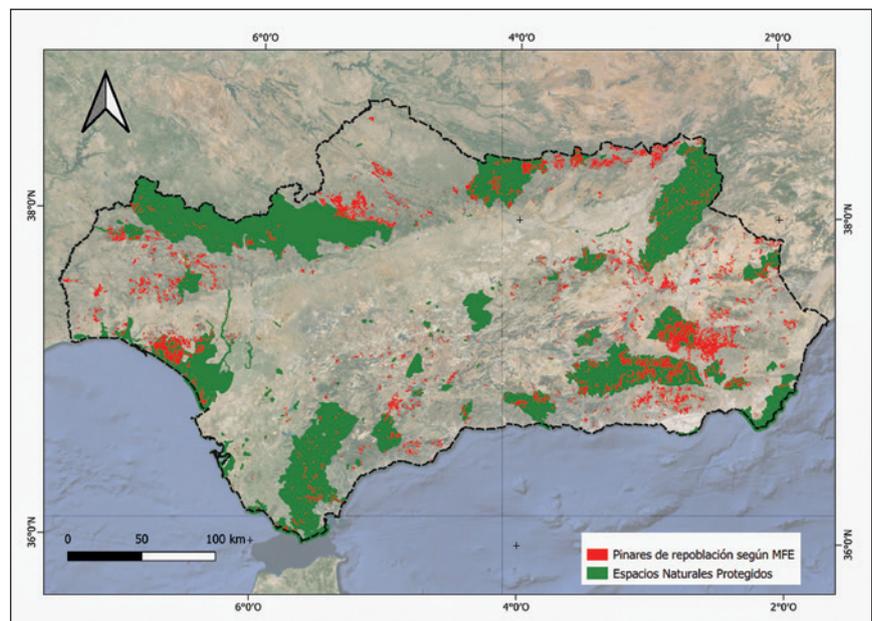


Fig. 2. Actuaciones repobladoras en Andalucía y su integración en la red de Espacios Naturales Protegidos

Tabla 1. Riqueza (S, en número de especies), e índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson calculados para especies arbóreas y leñosas del sotobosque en seis tipos de uso de la tierra en la zona agrícola circundante y en la zona forestal al interior del Parque Natural de los Montes de Málaga. N=número de parcelas. Media±error estándar.

Usos del suelo en el área limítrofe al PN de Montes de Malaga				
Tipo de vegetación	N	Riqueza (S)	Índice de Shannon-Wiener (H)	Índice de Simpson (D)
Replantaciones de <i>Pinus halepensis</i>	-	-	-	-
Pastizales	3	2,00±1,15	0,52±0,33	1,32±0,74
Matorral	7	7,20±0,71	1,20±0,07*	2,73±0,23
Encinares	3	8,50±1,50*	1,33±0,01*	2,80±0,03
Cultivos de olivo y almendro	5	1,20±0,44	0,06±0,01	1,04±0,04
Cultivos de olivo y almendro abandonados	5	4,67±1,50	1,05±0,13	2,51±0,36
Áreas dentro del PN de Montes de Malaga				
Replantaciones de <i>Pinus halepensis</i>	5	10,80±1,83	1,54±0,20	3,88±0,68
Pastizales	3	9,50±2,50*	1,45±0,19*	2,71±0,61*
Matorral	8	8,20±1,24 ns	1,06±0,13	2,36±0,28 ns
Encinares	3	7,33±0,88	1,26±0,24	2,96±0,65*
Cultivos de olivo y almendro	-	-	-	-
Cultivos de olivo y almendro abandonados	5	7,00±1,08*	1,37±0,19 ns	3,35±0,62 ns

Ns no significativo; * = P-value < 0.05; ** = P-value < 0.01.

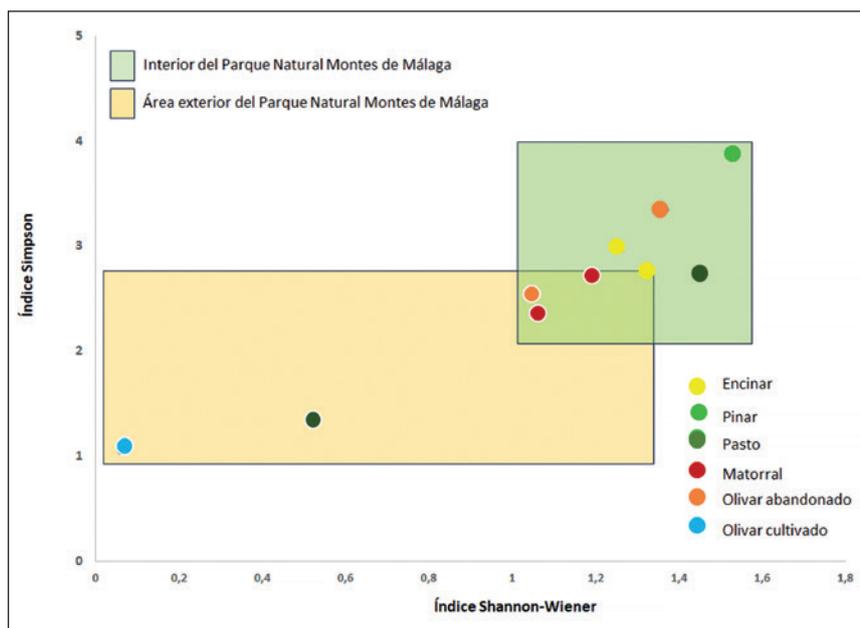


Fig. 3. Relación entre los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson calculados para especies arbóreas y leñosas del sotobosque en seis tipos de uso de la tierra en la zona agrícola circundante (puntos con contorno blanco) y en la zona forestal al interior (puntos sin contorno) del Parque Natural de los Montes de Málaga.

2. LA BIODIVERSIDAD VEGETAL EN PINARES DE REPOBLACIÓN

Cuando se han realizado estudios que comparan plantaciones monoespecíficas de pinar con los *ecosistemas de referencia* de la zona repoblada, se ha observado que las plantaciones presentaban una menor biodiversidad en comparación con los bosques naturales. Por ejemplo, Gómez-Aparicio *et al.*, (2009b) encontraron que la regeneración en el subpiso de repoblaciones de pinar en Sierra Nevada era cuatro veces menor que en los encinares (*Quercus ilex* L.) y rebollares limítrofes (*Q. pyrenaica* Willd.), aunque estos valores variaron fuertemente a lo largo de gradientes climáticos, de densidad de la repoblación y de distancia al encinar más cercano. Lo mismo ocurrió con la diversidad, presentando los pinares de repoblación una riqueza de especies menor que los encinares y los rebollares, aunque esa menor riqueza fue principalmente debida a un menor número de herbáceas en las repoblaciones frente a los sistemas de referencia, mientras que el número de especies leñosas (tanto de fruto carnoso como seco) fue a veces mayor en las repoblaciones.

Sin embargo, la mayor parte de estos estudios tienden a comparar las repoblaciones con formaciones

producción a las de objetivo protector), como más relevantes. En este trabajo, y sin pretender ser exhaustivo por el alcance del mismo, se reflexiona, a partir de la literatura existente, sobre el efecto de las repoblaciones forestales en la biodiversidad vegetal en Andalucía. La pregunta actual es si esas repoblaciones, pasado en muchos casos más de 70 años des-

de su establecimiento, han logrado el efecto deseado sobre la restauración y la diversificación de los paisajes forestales, y cómo la silvicultura de masas artificiales puede contribuir a la restauración de bosques naturales o seminaturales a partir de diferentes enfoques de restauración (activos frente a pasivos) o tratamientos selvícolas.

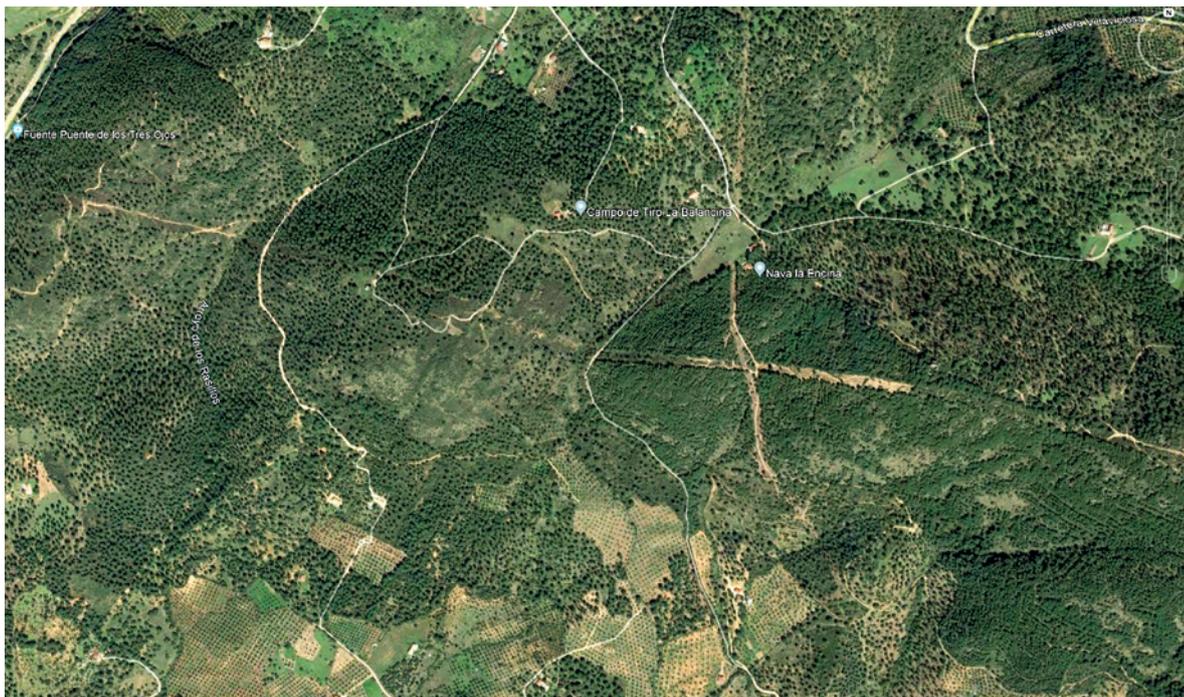


Fig. 4. Matriz de vegetación en un área de repoblación forestal con *Pinus pinea* L. en Villaviciosa de Córdoba

seminaturales, pero no con los usos previos a la repoblación. Esto es lo que hace que varios autores se hayan preguntado si la menor biodiversidad observada en las plantaciones sea resultado de un sesgo debido a las comparaciones que se hacen (Stephens y Wagner, 2007). Al evaluar el impacto de las plantaciones forestales sobre la biodiversidad es importante considerar la comparación que se está realizando. Tal y como se ha mencionado en el epígrafe anterior, la mayor parte de las repoblaciones forestales en ambientes mediterráneos peninsulares se han realizado sobre usos del suelo ecológicamente muy alejados de los sistemas naturales o seminaturales propios de las áreas de plantación (Fig. 1). Algunos estudios muestran que las diferencias sobre la biodiversidad cambian cuando se comparan las repoblaciones con las zonas limítrofes a las zonas repobladas y que han conservados los usos previos a las plantaciones, obteniéndose valores más cercanos de biodiversidad a los bosques naturales (Navarro-Cerrillo *et al.*, 2005, 2013, Tabla 1, Fig. 3). En ese sentido, es importante que los trabajos que analizan la biodiversidad en plantaciones proporcionen detalles específicos sobre los *ecosistemas de referencia* que se usan en las comparaciones (bos-

que natural frente a plantaciones de pinar con especies ya presentes en esa localidad o con plantaciones de pinar consideradas *a priori* como exóticas). Esta ambigüedad aumenta significativamente la confusión en el análisis de los resultados, y contribuye a crear una percepción pública equivocada sobre el efecto de las plantaciones sobre la biodiversidad.

En segundo lugar, tampoco es frecuente el desarrollo de estudios que comparen la biodiversidad de las plantaciones a lo largo de gradientes ecológicos o de gestión forestal y su efecto sobre la biodiversidad, en particular aquellos relacionados con la conectividad (ej. proximidad a zonas forestales próximas) y la biodiversidad local (Gómez-Aparicio *et al.*, 2009 a,b; González Moreno *et al.*, 2011). Esto se corresponde con la idea de que hay zonas que ya tienen baja biodiversidad o una escasa "potencialidad" natural, por lo que las repoblaciones que se han realizado en esos terrenos tienden a mantener valores bajos de biodiversidad (por ej. sierra de los Filabres, Almería).

Un tercer aspecto importante que se debe considerar cuando se analiza la biodiversidad vegetal asociada a las repoblaciones forestales está relacionado con las características selvícolas de la masa forestal creada (especie principal, densidad original y

actual, selvicultura intermedia, etc.). En parte, esto se justifica porque las plantaciones presentan estructuras menos favorables que otras formaciones forestales y, por tanto, proporcionan hábitats menos heterogéneos para el establecimiento de otras especies (Lindenmayer *et al.*, 2006; Osem *et al.*, 2009), pero que pueden ser más adecuados que los espacios previos a la repoblación (Fig. 1, Fig. 3). Por tanto, la respuesta de la biodiversidad en las plantaciones se verá también condicionada por la composición de especies de la plantación, la diversidad de estructuras creadas, los tratamientos selvícolas y el contexto paisajístico de la plantación, lo que define el grado de complejidad de las estructuras de hábitat, y la creación de condiciones asociadas a diferentes niveles tróficos específicos para varias especies (Fig. 4). Comprender cómo interactúan estos factores con los requisitos ecológicos de las especies que pueden colonizar una plantación en función del componente estructural o de la disponibilidad de fuentes de semillas, así como el grado en que estos factores interactúan con las plantaciones forestales, son elementos clave de la biodiversidad. Estas consideraciones previas son esenciales para identificar la dinámica de la biodiversidad en las plantaciones.

3. EL DILEMA DE LA FACILITACIÓN O LA COMPETENCIA

La mayoría de las repoblaciones forestales establecidas en España son de especies del género *Pinus*. Existe un acuerdo en la literatura que indica que los bosques de origen artificial tienen una menor funcionalidad ecológica (Kremer y Bauhus, 2020) y, como se ha indicado previamente, una menor biodiversidad que las masas naturales. Sin embargo, en el origen de la mayor parte de estas repoblaciones no se buscó la sustitución de sistemas “naturales” por plantaciones forestales; más bien al contrario, en su mayor parte se hicieron sobre suelos muy degradados, en algunos casos carentes de casi cualquier cubierta vegetal leñosa, y en otros casos sobre sistemas antropizados, donde vegetaban los restos de la vegetación natural pretérita. Esto justifica que el principio rector de muchas de estas repoblaciones fuera la creación de masas forestales que “facilitaran” el establecimiento de la vegetación “natural”. Este tema ha sido ampliamente tratado en la literatura

relacionada con el Plan Nacional de Repoblaciones (García Viñas *et al.*, 2017), tanto en su origen como en su evolución posterior.

Trabajos realizados a partir del análisis de los datos del Inventario Forestal Nacional han mostrado cómo en Andalucía el quejigo y la encina presentan una mayor representación bajo la cubierta de rodales dominados por pinos y en bosques mixtos de pinos y robles (Urbieto *et al.*, 2011). Estos resultados parecen confirmar la hipótesis del efecto facilitador de las repoblaciones para el establecimiento de especies de *Quercus*. En particular, la regeneración de encina parece verse favorecida por el efecto del dosel de los pinos, que parece mitigar el impacto de la sequía y de la alta radiación (por ejemplo, Zavala *et al.*, 2011); efecto que es incluso más evidente con otras especies de temperamento más delicado, como *Abies pinsapo* Boiss. (Fig. 5). Muchas especies leñosas pueden colonizar el sotobosque de las plantaciones de pinos mediante diferentes mecanismos de dispersión (Escribano-Ávila *et al.*, 2015), donde las plántulas en-

cuentran unas condiciones mejores para su supervivencia (Lookingbill y Zavala, 2000). Este efecto, relacionado con los vectores de dispersión, puede venir matizado por los cambios en la fertilidad del suelo, la presencia de microhábitat, el patrón espacial de la vegetación arborea (efecto *percha*) o unas condiciones microclimas más favorable asociado con la presencia del dosel de pinar (por ejemplo, Arrieta y Suárez 2006). En otros casos, la regeneración de las especies leñosas del subpiso viene determinado por la presencia de retoños y renuevos de viejos árboles o cepas suprimidos por recortes recurrentes, quemas o ramoneos (Broncano *et al.*, 2005).

Sin embargo, también hay estudios que muestran efectos negativos de las repoblaciones sobre la riqueza de especies y el establecimiento de plantas en el sotobosque como consecuencia del efecto de la competencia del dosel arbóreo (Chirino *et al.*, 2006). Estos efectos se han relacionado principalmente con densidades muy elevadas (próximas a las originales de la plantación como consecuencia de la ausencia de una selvicultura adecuada,

Fig. 5. Masa mixta de *Abies pinsapo* en repoblaciones de *Pinus halepensis* en el Monte Pinar de Yunquera (Parque Nacional Sierra de las Nieves, Málaga)



Tabla 2. Índices de diversidad (media) del estrato arbóreo, el estrato de matorral y el total para los grupos de vegetación presentes en el monte Pinar de Yunquera (Parque Nacional de Sierra de las Nieves). Valores seguidos por letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0,05$) según el test de Tukey

GRUPO VEGETACIÓN	RIQUEZA			Índice de Shannon			Índice de Simpson		
	Arbolado	Matorral	Total	Arbolado	Matorral	Total	Arbolado	Matorral	Total
Sin arbolado	-	3,41d	3,41e	-	0,99bc	0,99c	-	0,47ab	0,47a
Pinsapar	1,42c	4,57bcd	5,98cd	0,11c	1,12bcd	1,14bc	0,93a	0,42abc	0,45a
Sabinar	1,07c	3,67cd	4,73de	0,10c	0,95d	1,15bc	0,93a	0,48a	0,41ab
Pinar de carrasco	1,17c	5,83ab	7,00bc	0,24c	1,34ab	1,32abc	0,99a	0,35abc	0,37ab
Pinsapar con carrasco	2,32b	5,26abc	7,59bc	0,53b	1,25abcd	1,42ab	0,66b	0,37abc	0,33ab
Pinar de carrasco con pinsapo	2,19b	6,62a	8,81ab	0,49b	1,35abc	1,53a	0,69b	0,35abc	0,31ab
Pinar de resinero y carrasco	2,15b	5,61ab	7,76abc	0,46b	1,38ab	1,39ab	0,71b	0,32bc	0,39ab
Pinar de carrasco con pinsapo y encina	3,31a	6,15ab	9,46a	0,59b	1,51 a	1,63a	0,65b	0,27c	0,29b
Pinar de carrasco y resinero con pinsapo	3,26a	4,78bcd	8,04ab	0,78a	1,20abcd	1,57a	0,54c	0,38abc	0,28b

Gómez-Aparicio *et al.* 2009a), o bien al propio efecto supresor del dosel, que hace que muchas plantas se mantengan en un estado de *regeneración a la espera* durante periodos muy largos de tiempo. Por ejemplo, Navarro-Cerrillo *et al.* (2005) observaron cómo la diversidad de la vegetación en montes repoblados fue menor en la formación de pinsapar y sabinar (*Juniperus phoenicea* L.) con respecto a repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) con presencia de pinsapo y encina en el subpiso (Tabla 2).

Muchas de las repoblaciones han dado lugar a formas complementarias de pinar con subpiso (*sensu* Serrada, 2001), que son más adecuadas a los objetivos de biodiversidad y de protección. Las masas con subpiso tienen una mayor integridad ecológica, o son más similares estructuralmente a los sistemas seminaturales, debido a una mayor diversidad de especies como consecuencia de que la funcionalidad de estos ecosistemas es mucho mayor. Además, las interacciones con otras comunidades, como la avifauna o la entomofauna, pueden reducir los riesgos asociados a repoblaciones de muy baja biodiversidad (Kneeshaw *et al.*, 2021). No obstante, existen problemas específicos de gestión relacionados con la selvicultura de este tipo de plantaciones, en particular la definición de los objetivos (ej. transformación a masa mixta) y la necesidad de una intervención selvícola mucho más regular y activa. Los trabajos que evalúan la dinámica eco-

lógica y selvícola de masas con subpiso son escasos, pero aquellos que se han publicado muestran claramente que la diversidad de especies del estrato inferior y su influencia en diferentes bioindicadores aumentan con la gestión forestal (Gómez-Aparicio *et al.*, 2009a). La densidad de la repoblación se ha indicado como un factor clave sobre la regeneración, lo que limita el establecimiento del regenerado de muchas especies, posiblemente por fenómenos de competencia, así como por el crecimiento del dosel dominante creado por la repoblación. Cuando las densidades son moderadas, como consecuencia de los tratamientos selvícolas, estas favorecen la regeneración de vegetación en el subpiso, indicando la existencia de interacciones de facilitación entre el dosel de pinar y las plántulas de especies leñosas en el sotobosque (Gómez-Aparicio *et al.*, 2009b, González-Moreno *et al.*, 2011; Martín-Alcón *et al.*, 2017). Esto pone en evidencia que cuando se realizan las actuaciones selvícolas adecuadas en tiempo y forma, estas generan efectos positivos sobre la biodiversidad de las repoblaciones (ej., Azor *et al.*, 2015).

4. EL COMPONENTE ESPACIAL DE LA BIODIVERSIDAD EN PINARES DE REPOBLACIÓN

Generalmente, cuando se habla de biodiversidad en plantaciones forestales se prioriza su interpretación en vertical, considerando su distribución a lo largo de un transecto

que representa una parte representativa del bosque. Hay pocos estudios que analicen el efecto de las plantaciones a diferentes escalas espaciales (desde el rodal al paisaje). Uno de los problemas de la interpretación de la biodiversidad de las plantaciones es su constante baja diversidad estructural, que determina su composición específica (Navarro-González *et al.*, 2013). Se ha observado cómo la distancia a las fuentes de semillas tiene una gran influencia sobre la regeneración de especies leñosas en el subpiso de los pinares de repoblación (Gómez-Aparicio *et al.*, 2009b), posiblemente relacionados con los vectores de dispersión de las semillas (De la Montaña *et al.*, 2006), así como por la estructuración espacial del paisaje (González-Moreno *et al.*, 2011). Sin embargo, las repoblaciones pueden contribuir a crear comunidades forestales más complejas, y actuar como impulsores que promueven la restauración de la vegetación aumentando su heterogeneidad (Garbarino *et al.*, 2020, Fig. 4, Fig. 5).

Varios estudios han mostrado que las variables ambientales (fisiográficas, edáficas, conectividad o históricas, entre otras) tienen efectos sobre la respuesta de la biodiversidad a medida que aumenta la escala espacial (la hipótesis de *partición de espacios*), lo que resulta en un aumento en la diversidad de especies debido a que diferentes especies utilizan nichos de regeneración alternativos. En los pocos trabajos que existen

en Andalucía sobre el patrón espacial de la regeneración en el subpiso de repoblaciones (por ej.: González-Moreno *et al.*, 2011; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2016, Fig. 6) sugieren que cuando se trabaja a una escala de paisaje aumentan los patrones de diversidad de especies en áreas con un alto porcentaje de repoblaciones forestales, favoreciendo el establecimiento y el crecimiento de la regeneración. Además, algunos cambios que no se observan a una escala vertical dan lugar a procesos que aumentan la biodiversidad cuando se observan a una escala horizontal. Estos cambios pueden deberse al aumento de hábitats relacionados con la repoblación (Calviño-Cancela *et al.*, 2012), a los fenómenos de conectividad entre las plantaciones y los restos de vegetación natural (Cabarga-Varona *et al.*, 2016; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2023), a la formación de ecotonos, a la competencia entre especies o la variación en los recursos disponibles. Por lo tanto, cuando se estudia la biodiversidad en bosques de repoblación, se debe mejorar el enfoque espacial y el efecto de la creación de espacios en la diversidad de especies.

Otros estudios han analizado la respuesta de la regeneración natural al tamaño de los claros en plantaciones de pino, sugiriendo que estos podrían promover el establecimiento y el crecimiento de la regeneración de otras especies en comparación con los que se encuentran bajo el dosel, así como el efecto del tamaño de las discontinuidades en la regeneración de especies del subpiso (Cummings y Reis, 2008). Sin embargo, existen pocos trabajos que integren diferentes escalas o incluso que analicen el origen de estas discontinuidades, muy frecuentemente relacionadas con perturbaciones naturales (por ejemplo, enfermedades o plagas, derribos por viento) o antrópicas (por ejemplo, incendios forestales), lo que dificulta determinar las interacciones plantación frente a especies acompañantes (Cabarga Varona *et al.*, 2016; López-Vicente *et al.*, 2017). Sería importante realizar estudios que analicen el efecto de diferentes estructuras del paisaje (fragmentación y conectividad) en los patrones de regeneración

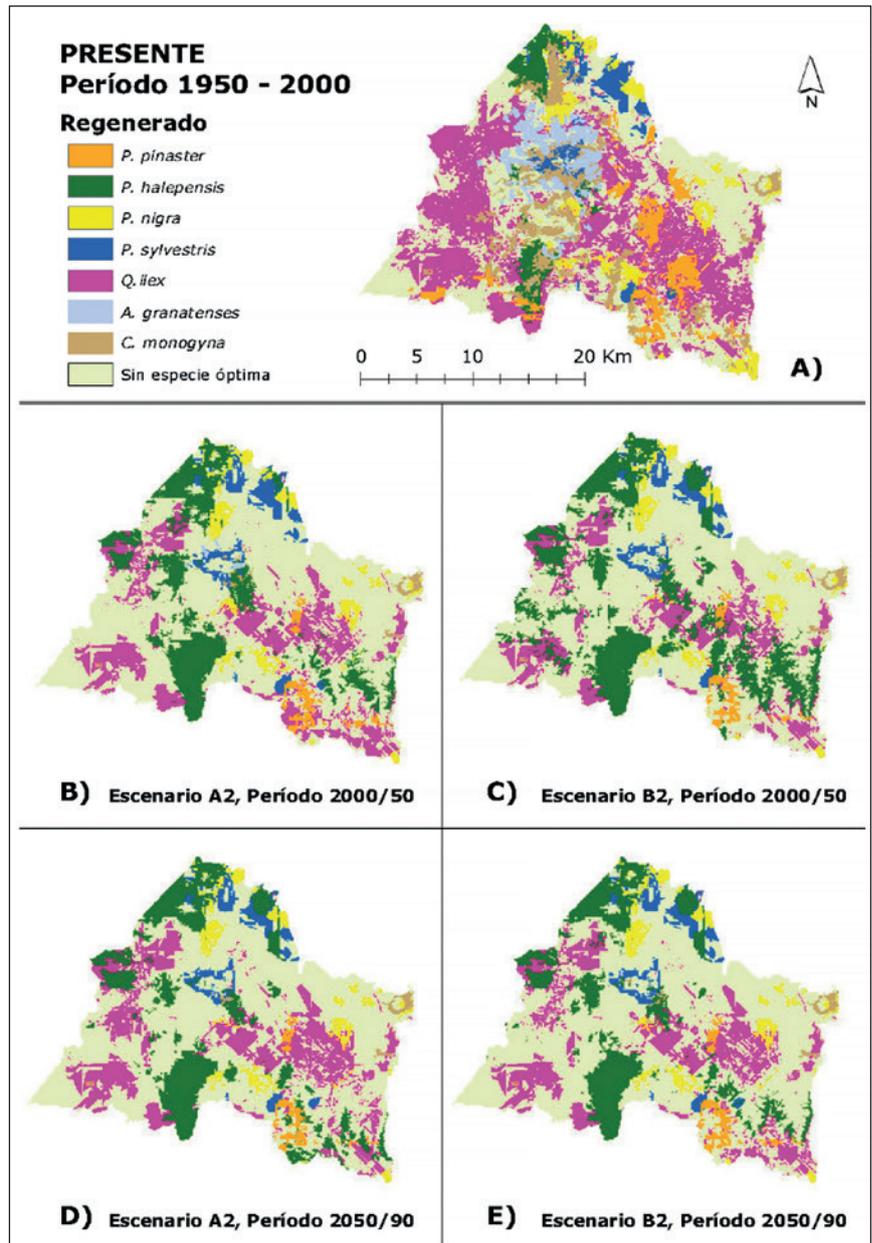


Fig. 6. Patrón espacial de distribución de diferentes especies arbóreas en el Parque Natural de Sierra de Baza (Granada) según escenarios de cambio climático

(Cabarga Varona *et al.*, 2016). También es fundamental comprender si la estructura vertical y horizontal (diversidad estructural) de las repoblaciones es adecuada para promover una mayor regeneración de otras especies. La estructura horizontal (matriz de hábitat) puede ayudar a comprender el establecimiento de nuevas especies y su capacidad de creación de comunidades diferenciadas. Sin embargo, todavía se sabe poco de la estructura-distribución de tamaño/patrón espacial de la regeneración en las repoblaciones para comprender la dinámica de la regeneración a escala

de paisaje, o para comprender mejor las características culturales de una especie particular (p. ej., tolerancia o intolerancia a la sombra) y los procesos ecológicos asociados (p. ej., dispersión de semillas en competencia intra e interespecífica) o su relación con las variables ambientales.

Por ejemplo, en un análisis del patrón espacial de especies en repoblaciones de *Pinus halepensis* en el Parque Natural de Sierra de las Nieves (actual Parque Nacional) se estudiaron los patrones espaciales de varias especies leñosas en el subpiso del pinar (Salmoral Portillo *et al.*,

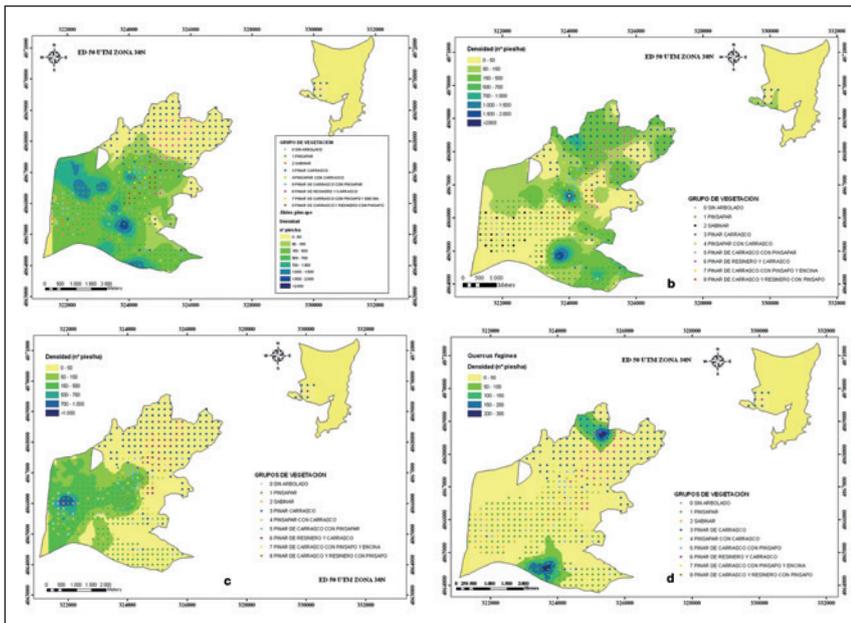


Fig. 7. Patrón espacial de distribución de regeneración de especies de árboles en repoblaciones de *Pinus halepensis* en el Monte Pinar de Yunquera (Parque Nacional Sierra de las Nieves, Málaga)

2008; Fig. 7), mostrando diferentes patrones agregados, posiblemente como respuesta a condiciones de microhábitat, patrones de dispersión o por efectos competitivos dependientes de la densidad entre individuos. Sobre la base de este y otros estudios, se podría considerar la pla-

nificación selvícola a partir del patrón espacial de la diversidad de especies de plantas leñosas en el subpiso, dado que esta información puede ayudar a identificar los microambientes a diferentes escalas para promover el establecimiento de la regeneración y la diversificación de repoblaciones.

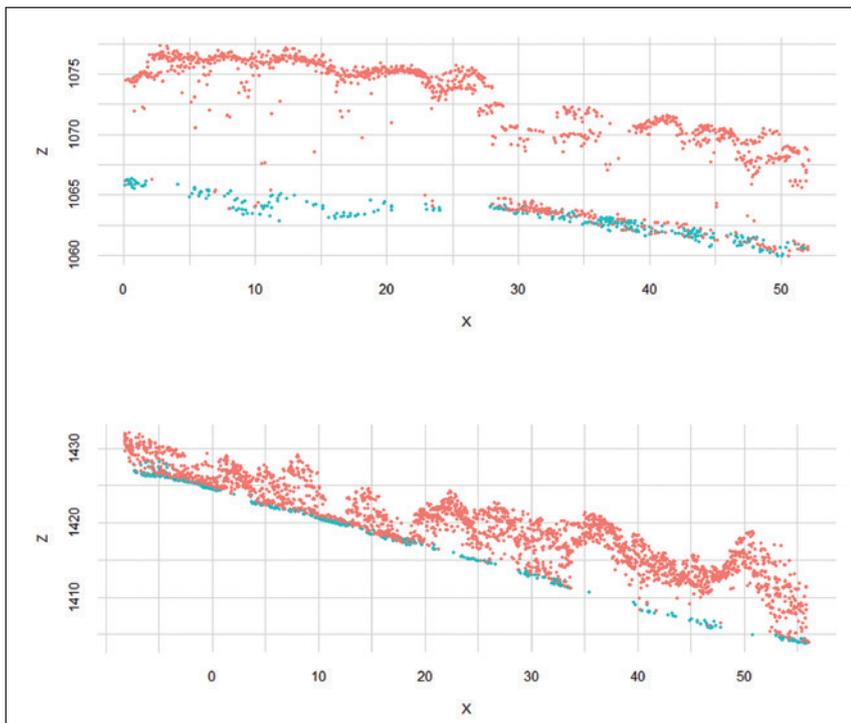


Fig. 8. Patrón vertical de distribución de la regeneración de especies de árboles en repoblaciones de *Pinus halepensis* en el monte Pinar de Yunquera a partir de datos LiDAR-PNOA (Parque Nacional Sierra de las Nieves, Málaga): a) repoblación pura de *Pinus halepensis*, b) masa mezclada de repoblación de *Pinus halepensis* con *Abies pinsapo*, y c) repoblación de *Pinus halepensis* con mezcla de *Juniperus phoenicea*

5. NUEVAS FORMAS DE EVALUAR LA BIODIVERSIDAD PARA LA SELVICULTURA DE PINARES DE REPOBLACIÓN

El uso de herramientas propias de la geomática forestal se aborda en otro capítulo de este monográfico, por lo que no vamos a extendernos sobre cuáles pueden ser más adecuadas para los estudios de restauración. En este último epígrafe, sin embargo, vamos a destacar algunos ejemplos de interés de las posibles aplicaciones de las tecnologías espacial a los estudios de biodiversidad en repoblaciones sin entrar a una descripción detallada de los mismos.

La geomática forestal es ampliamente utilizada en las ciencias de base territorial, y se utiliza para la cartografía de ecosistemas forestales, los cambios temporales o el estudio de la estructura tridimensional (3D) de los bosques entre otras muchas aplicaciones (Fig. 8). La gama y diversidad de estos sistemas (ej.: teledetección, fotogrametría digital, teledetección próxima a la tierra, LiDAR, modelos de hábitat, etc.), así como la variedad de aplicaciones, los convierten en una herramienta fundamental para cualquier estudio de plantaciones forestales.

El potencial de estas herramientas en los estudios de la biodiversidad en repoblaciones forestales se deriva de i) la capacidad de análisis espacial de variables ambientales relacionadas con la regeneración de especies, ya que proporcionan una vista sinóptica (capturan todas las características “espaciales”, incluida su ubicación y su ubicación relativa); ii) el acceso a bases de datos abiertas (IFN, GBIF, etc.) disponibles en una gran variedad de escalas espaciales y temporales, que ofrecen datos históricos que permiten estudios temporales para analizar los procesos de regeneración a largo plazo y a escala de paisaje; iii) la “homogeneidad” de la información, ya que se adquieren en condiciones relativamente fijas (por ej. series temporales de LiDAR-PNOA); iv) la facilidad para convertir la información en imágenes digitales y, como tales, pueden integrarse de forma sencilla con otros conjuntos de datos espaciales en un

sistema de información geográfica; v) es una forma económica de adquirir datos y existen una tendencia creciente a hacer que estén disponibles de forma gratuita y abierta (por ej.: Programa Landsat de la NASA, Copernicus de la Agencia Espacial Europea o Google Earth Engine), y vi) reduce la brecha de comunicación entre científicos y gestores, que históricamente ha sido una limitación, dado que se pueden ofrecer productos más sencillos de utilizar directamente en la gestión.

6. CONCLUSIONES

Las repoblaciones forestales en la cuenca mediterránea cubren grandes extensiones de terrenos forestales, y muchas de ellas representan la cubierta forestal dominante en espacios naturales protegidos. En las últimas décadas se ha cuestionado el efecto de estas repoblaciones sobre la biodiversidad, considerando muy

frecuentemente un impacto negativo. Sin embargo, un análisis más cuidadoso permite comprender con mayor profundidad el papel que las repoblaciones han desempeñado y pueden desempeñar en la diversificación de los paisajes forestales. El estudio de las características selvícolas de las masas artificiales, la adecuación y ejecución de las prácticas selvícolas, los patrones espaciales de la vegetación circundante y su estructura horizontal y vertical son fundamentales para comprender cómo las repoblaciones pueden ayudar a promover una selvicultura que favorezca la biodiversidad de este tipo de masas y su diversificación estructural, evitando situaciones de estancamiento que comprometan su regeneración y bloquean su diversidad. Las repoblaciones forestales desempeñan funciones muy importantes en la diversificación de los sistemas naturales a diferentes escalas. Esto significa que es posible

gestionar estas plantaciones como hábitats complementarios a los naturales, proporcionando un tipo de selvicultura fundamental para su conservación. En una situación donde el incremento y gravedad de muchas perturbaciones (ej.: grandes incendios, plagas y enfermedades emergentes, procesos de mortalidad del arbolado, etc.) se están generalizando, la conservación e incremento de la biodiversidad puede ser un objetivo fundadamente (gestión matricial *sensu* Lindenmayer *et al.*, 2006). Sin embargo, muchas repoblaciones forestales todavía presentan niveles bajos de biodiversidad, lo que sugiere que se pueden adecuar muchos de los tratamientos selvícolas, en particular a través de la planificación de los proyectos de ordenación de montes, para promover sistemas forestales más complejos, de forma compatible con otros usos del monte, incluida la producción forestal.



Repoblaciones de pinos en la cuenca mediterránea, al fondo, Sierra Nevada

BIBLIOGRAFÍA

Arrieta S, Suárez F. 2006. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations contribute to the regeneration of holly (*Ilex aquifolium* L.) in mediterranean central Spain. *Eur. J. For. Res.* 125: 271-279.
Azor JS, Santos X, Pleguezuelos JM. 2015. Conifer

plantation thinning restores reptile biodiversity in Mediterranean landscapes. *For. Ecol. Manag.* 354: 185-189.

Bremer L, Farley K. 2010. Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A

synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiv. Conserv.* 19: 3893-3915.

Broncano MJ, Vila M, Boada M. 2005. Evidence of *Pseudotsuga menziesii* naturalization in montane

- Mediterranean forests. *For. Ecol. Manag.* 211(3): 257-263.
- Brocknerhoff E, Jactel H, Parrotta J et al. 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiv. Conserv.* 17: 925-951.
- Cabarga A, Arroyo NL, Nogués S. 2016. The function of plantation forestry in landscape connectivity. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 14(2): 527-542.
- Calvino-Cancela M, Rubido-Bará M, van Etten EJ. 2012. Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity? *For. Ecol. Manag.* 270: 153-162.
- Chirino E, Bonet A, Bellot J et al. 2006. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *Catena* 65(1): 19-29.
- Cruz-Alonso V, Ruiz-Benito P, Villar-Salvador P et al. 2019. Long-term recovery of multifunctionality in Mediterranean forests depends on restoration strategy and forest type. *J. Appl. Ecol.* 56(3): 745-757.
- Cummings J, Reis N. 2008. Stand-level management of plantations to improve biodiversity values. *Biodiv. Conserv.* 17: 1187-1211.
- De la Montana E, Rey-Benayas JM, Carrascal LM. 2006. Response of bird communities to silvicultural thinning in Mediterranean maquis. *J. Appl. Ecol.* 43: 651-659.
- Escribano-Ávila G, Pías B, Escudero A et al. 2015. Importancia ecológica de los mamíferos frugívoros en la dinámica de regeneración de tierras abandonadas en ambientes mediterráneos. *Ecosistemas* 24(3): 35-42.
- Garbarino M, Morresi D, Urbinati C et al. 2020. Contrasting land use legacy effects on forest landscape dynamics in the Italian Alps and the Apennines. *Landsc. Ecol.* 35(12): 2679-2694.
- García-Vinas JJ, López C, Gastón A. 2017. D. Luis Ceballos y Fernández de Córdoba y las bases geobotánicas del Plan Nacional de Repoblaciones de 1939. En: Pemán J, Iriarte I, Lario FJ (Eds.) *La restauración forestal de España: 75 años de una ilusión*, pp. 77-95. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Gomez-Aparicio L, Zavala MA, Bonet FJ et al. 2009a. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecol. Appl.* 19: 2124-2141.
- Gómez-Aparicio L, Zavala MA, Bonet FJ et al. 2009b. Regeneración y diversidad en pinares de repoblación: un análisis a través de gradientes ambientales. *Actas 5º Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Hobbs RJ, Arico S, Aronson J et al. 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 15(1): 1-7.
- Horák J, Brestovanská T, Mladenović S et al. 2019. Green desert?: Biodiversity patterns in forest plantations. *For. Ecol. Manag.* 433: 343-348.
- Kneeshaw DD, Sturtevant BR, DeGrandpé L et al. 2021. The vision of managing for pest-resistant landscapes: realistic or utopic? *Curr. For. Rep.* 7: 97-113.
- Kremer KN, Bauhus J. 2020. Drivers of native species regeneration in the process of restoring natural forests from mono-specific, even-aged tree plantations: a quantitative review. *Restor. Ecol.* 28(5): 1074-1086.
- Lindenmayer DB, Franklin JF, Fischer J. 2006. General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biol. Conserv.* 131(3): 433-445.
- Lookingbill TR, Zavala MA. 2000. Spatial pattern of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* recruitment in *Pinus halepensis* dominated woodlands. *J. Veg. Sci.* 11: 607-612.
- López-Vicente M, Nadal-Romero E, Cammeraat EL. 2017. Hydrological connectivity does change over 70 years of abandonment and afforestation in the Spanish Pyrenees. *Land Degrad. Dev.* 28(4): 1298-1310.
- Maestre-Gil FT, Segarra JC, Polo FG. 2004. Repoblaciones de *Pinus halepensis* y restauración de ecosistemas en medio semiárido. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 181-186.
- Martín S, Améztegui A, Coll L. 2017. Diversificación o naturalización de las repoblaciones forestales. En: Pemán J, Iriarte I, Lario FJ (Eds.) *La restauración forestal de España: 75 años de una ilusión*, pp. 401-411. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Martínez M, Díaz M, de Ron DS et al. 2016. Plantation or natural recovery? Relative contribution of planted and natural pine forests to the maintenance of regional bird diversity along ecological gradients in Southern Europe. *For. Ecol. Manag.* 376: 183-192.
- Martínez-Jauregui A, Larranaga A, Pérez J et al. 2013. Effects of pine plantations on structural and functional attributes of forested streams. *For. Ecol. Manag.* 310: 147-155.
- Navarro, RM, Guzmán-Álvarez J, Clavero I et al. 2008. Efecto de las repoblaciones de pino carrasco en el cambio de usos del suelo en el PN Montes de Málaga. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 89-94.
- Navarro-Cerrillo RM, Guzmán-Álvarez J, Clavero-Rumbao I et al. 2013. A spatial pattern analysis of landscape changes between 1956-1999 of *Pinus halepensis* Miller plantations in Montes de Malaga State Park (Andalusia, Spain). *Appl. Ecol. Environ. Res.* 11(2): 293-311.
- Navarro-Cerrillo RM, Salmoral G, Guzmán J et al. 2005. Estudios de la vegetación aplicados a la naturalización de pinares en el monte "Pinar de Yunquera" (Málaga). *Actas 5º Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Navarro-Cerrillo, RM, Clavero I, Vidana A et al. 2016. Integración de datos de inventario y modelos de hábitat para predecir la regeneración de especies leñosas mediterráneas en repoblaciones forestales. *Ecosistemas* 25(3): 6-21.
- Navarro-Cerrillo RM, Rivas CA, Quinto L et al. 2023. Afforestation on agricultural land in southern Spain: An important driver to improve forest landscape connectivity. *New For.* 54(6): 1061-1084.
- Navarro-González I, Pérez-Luque AJ, Bonet FJ et al. 2013. The weight of the past: land-use legacies and recolonization of pine plantations by oak trees. *Ecol. Appl.* 23(6): 1267-1276
- Osem Y, Zangy E, Bney-Moshe E et al. 2009. The potential of transforming simple structured pine plantations into mixed Mediterranean forests through natural regeneration along a rainfall gradient. *For. Ecol. Manag.* 259: 14-23
- Peman J, Serrada R, Alcanda P et al. 2021. La repoblación forestal. En: Pemán J, Navarro RM, Para MA et al. (Eds.) *Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal*, pp. 3-51. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, Madrid.
- Ruiz-Benito P, Gómez-Aparicio L, Zavala MA. 2012. Large-scale assessment of regeneration and diversity in Mediterranean planted pine forests along ecological gradients. *Divers. Distrib.* 18(11): 1092-1106.
- Salmoral G, Navarro-Cerrillo RM, Guzmán et al. 2008. Evaluación de los trabajos de repoblación para favorecer la restauración del pinsapar de la Sierra de las Nieves (1960-2007). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 95-102.
- Serrada R. 2011. *Apuntes de silvicultura*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- Stephens S, Wagner MR. 2007. Forest plantations and biodiversity: a fresh perspective. *J. For.* 105(6): 307-313.
- Urbieta IR, García LV, Zavala MA et al. 2011. Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: is there a mismatch between regeneration and adult distribution? *J. Veg. Sci.* 22: 18-31
- Vadell E, de-Miguel S, Pemán J. 2017. La actividad repobladora desarrollada a partir de 1940: luces y sombras. En: Pemán J, Iriarte I, Lario FJ (Eds.) *La restauración forestal de España: 75 años de una ilusión*, pp. 175-222. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Zavala MA, Espelta JM, Caspersen J et al. 2011. Inter-specific differences in sapling performance with respect to light and aridity gradients in Mediterranean pine-oak forests: implications for species coexistence. *Can. J. For. Res.* 41: 1432-1444.