

# Proyecto

Robledo-Arnuncio, J.J., Gil, L., Alía, R., y Cañellas, I. 2003. Efecto de dos métodos selvícolas de regeneración natural sobre la dispersión polínica en masas naturales de *Pinus sylvestris* L. *Ecosistemas* 2003/3 (URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/033/articulo2.htm>)

## *Efecto de dos métodos selvícolas de regeneración natural sobre la dispersión polínica en masas naturales de *Pinus sylvestris* L.*

**Juan José Robledo-Arnuncio<sup>1,2</sup>, Luis Gil<sup>1</sup>, Ricardo Alía<sup>2</sup> e Isabel Cañellas<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética, ETSI de Montes, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España.**

**<sup>2</sup> Centro de Investigación Forestal (CIFOR), INIA, Ctra. de la Coruña km 7.5, 28040 Madrid, España.**

La incorporación de la conservación de los recursos genéticos a la gestión forestal sostenible plantea nuevos interrogantes acerca de posibles efectos de la silvicultura sobre los procesos genéticos de las especies arbóreas. Si bien parece conveniente el mantenimiento de determinadas reservas sometidas a mínima intervención humana, son muy extensas las masas forestales naturales de nuestro país en las que los aprovechamientos selvícolas representan una actividad de gran valor económico y social a escala local o regional. Por otra parte, una silvicultura compatible con los criterios de conservación genética supondría una medida alternativa, viable y efectiva, para el mantenimiento de los procesos evolutivos naturales *in situ* a una mayor escala que la alcanzada en posibles reservas no intervenidas. Se ha sugerido que las características reproductivas y demográficas de las especies arbóreas les confieren un cierto grado de resiliencia frente a las modificaciones estructurales y demográficas derivadas de la silvicultura, especialmente en especies, como las del género *Pinus*, cuya regeneración natural depende en gran medida de intensas perturbaciones de origen natural, como incendios o fuertes vientos (Savolainen 2000). No obstante, son escasas y necesarias las evidencias experimentales en relación con el efecto de prácticas selvícolas concretas en los procesos genéticos fundamentales de especies modelo.

Como parte del proyecto BIOFOREST (CICYT AGL2000-1545), el presente estudio tuvo como objetivo investigar los potenciales efectos que sobre la polinización en masas naturales de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) (**Foto 1**) tienen dos tratamientos selvícolas de regeneración natural ampliamente utilizados en el aprovechamiento y gestión de esta especie en España: el aclareo sucesivo por bosquetes (ASB) y el aclareo sucesivo uniforme (ASU). Los métodos de regeneración natural son un elemento fundamental de la gestión forestal y el aprovechamiento selvícola: con ellos se consigue simultáneamente la pervivencia a largo plazo de las poblaciones (mediante los procesos naturales de polinización y dispersión de semilla) y una extracción progresiva y continuada de sus recursos madereros. El aclareo sucesivo se basa en la apertura gradual de la masa a regenerar: en sucesivas cortas espaciadas a lo largo de unos 20 años (caso del pino silvestre), se retiran progresivamente los árboles adultos, mientras que las progenies que éstos han ido dispersando van ocupando su lugar. En el caso del ASU, las cortas se distribuyen uniformemente en todo el tramo de regeneración y suelen completarse en dos o tres tiempos (**Foto 2**), mientras que en el ASB se van cortando pequeños bosquetes circulares

dispersos, que lentamente se van ampliando hasta completar toda la superficie del tramo de regeneración (**Foto 3**). Las cuestiones planteadas en este trabajo fueron: (1) ¿Conlleva esta reducción del número de individuos adultos, y la subsiguiente modificación de la estructura de copas, una modificación significativa en la dispersión polínica en relación con zonas en las que no se han efectuado cortas? (2) ¿Existen, en términos de polinización, diferencias significativas entre los dos métodos de regeneración natural estudiados?



**Foto 1.** Vista general de una de las áreas de estudio, el Monte de Valsain, situado en la vertiente septentrional de la Sierra de Guadarrama. Masas forestales densas dominadas casi exclusivamente por *Pinus sylvestris* L. constituyen el paisaje característico de la zona.



**Foto 3.** La regeneración natural mediante el método de aclareo sucesivo por bosquetes se consigue cortando pequeñas superficies de unas 0.5 ha, como la que se observa en la fotografía, en la que ya se ha instalado abundante regeneración.



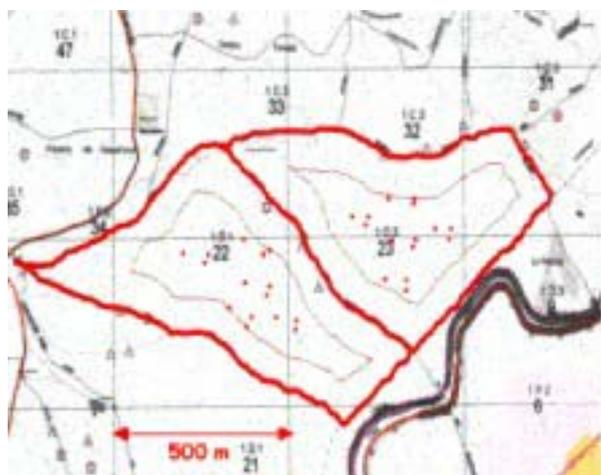
**Foto 2.** Mediante las cortas de regeneración realizadas por el método de aclareo sucesivo uniforme se reduce uniformemente la densidad de árboles adultos en el tramo de regeneración, hasta unos 30-40 pies por hectárea, que se retirarán cuando se haya completado la regeneración.

El estudio se llevó a cabo en las masas naturales de pino silvestre de los Montes de Valsain y Navafria (Segovia) en cuatro tramos distintos (dos tratamientos y dos controles; **Tabla 1**). Mediante el análisis genético de embriones y sus correspondientes megagametófitos utilizando marcadores moleculares (tres microsatélites nucleares), se caracterizó la contribución paterna a la cosecha de semillas producida en cada tratamiento, permitiendo estimar los valores de diversidad genética de la nube de polen capturada por una muestra de árboles madre (**Figura 1**) de cada tramo. Utilizando un método indirecto de

estimación de flujo polínico a escala regional (TwoGener; Smouse *et al.* 2001), se compararon además otros parámetros de dispersión polínica (distancia media de polinización efectiva y número efectivo medio de padres) entre tratamientos y entre tratamientos y controles.

**Tabla 1.** Superficie y densidad, antes y después de las cortas de regeneración, en los cuatro tramos estudiados. ASU: aclareo sucesivo uniforme; C-ASU: control del aclareo sucesivo uniforme; ASB: aclareo sucesivo por bosquetes; C-ASB: control del aclareo sucesivo por bosquetes.

Tratamiento	Área (ha)	Densidad inicial		Densidad tras cortas	
		Nº pies (ha <sup>-1</sup> )	Volúmen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Nº pies (ha <sup>-1</sup> )	Volúmen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
ASU	71	325	244	183	158
C-ASU	80	315	304	-	-
ASB	53	189	265	80	73
C-ASB	50	183	305	-	-



**Figura 1.** Mapa de los tramos estudiados en el Monte de Valsaín (ASB a la izquierda y C-ASB a la derecha). Los puntos representan cada uno de los 15 árboles muestreados en cada tratamiento. Las líneas gruesas exteriores indican los límites de tramo. Los árboles se eligieron a una distancia mínima de 100 metros del borde del tramo, como indican las líneas finas interiores. El muestreo se realizó de forma análoga en el Monte de Navafría (tramos ASU y C-ASU, no mostrados).

ASU), se encontraron los valores que corresponderían a una dispersión más limitada del polen y un menor número efectivo de padres. La estimación de la tasa de autofertilización ( $1 - t_m$ ) tomó valores muy bajos en todos los casos (1-6,8 %, **Figura 2**), sólo significativamente distinta de cero en los tramos

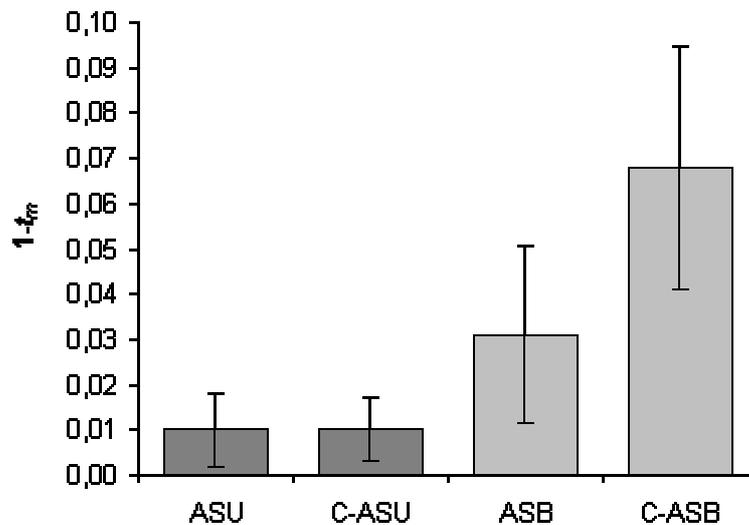
El principal resultado del estudio fue la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en los parámetros considerados. El número medio de alelos ( $N$ ) captado por los árboles madre de la nube de polen fue el mismo en los tratamientos y en los controles, con valores de heterozigosidad esperada ( $H_e$ ) muy similares, no significativamente distintos (**Tabla 2**). Las estimaciones de la distancia media de polinización efectiva ( $\delta$ ) y el número efectivo de padres que polinizan a cada madre ( $N_{ep}$ ) tampoco mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Incluso se observó una tendencia (no significativa) al aumento de  $\delta$  y  $N_{ep}$  tras las cortas. Es decir, la reducción de la densidad de individuos y la apertura del dosel de copas podría favorecer el movimiento del polen a mayor distancia, incrementando el número de padres que polinizan a cada madre. De hecho, en el tratamiento con una menor densidad (80 pies/ha en ASB), se observó una total ausencia de estructura espacial de la nube de polen, indicativo de dispersión polínica a larga distancia resultante en la homogeneidad de los gametos masculinos capturados por cada madre. Por el contrario, en el tramo con mayor densidad (315 pies/ha en C-ASU), se encontraron los valores que corresponderían a una dispersión más limitada del polen y un menor número efectivo de padres.

ASB y C-ASB. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos y controles, e incluso se observó una reducción (no significativa) de la tasa de autofertilización tras las cortas en el caso de ASB y C-ASB. Cabe destacar los valores elevados del parámetro  $N_{ep}$  en todos los casos ( $>70$ ), que sugiere la gran diversidad genética que el sistema reproductivo del pino silvestre permite mantener incluso al nivel de la progenie de una única madre (Robledo *et al.* enviado). Por otra parte, los datos no permitieron establecer diferencias entre uno u otro método de regeneración natural (ASU o ASB), pues en ningún caso se encontraron diferencias significativas respecto a los controles.

**Tabla 2.** Parámetros de diversidad genética y dispersión polínica en los cuatro tratamientos estudiados. Códigos de los tratamientos como en Tabla 1.  $N$ : número medio de alelos de tres microsatélites nucleares.  $H_e$ : heterozigosis media de tres microsatélites nucleares.  $\delta$ : distancia media de polinización efectiva en metros.  $N_{ep}$ : número efectivo medio de padres que polinizan a cada árbol.  $t_m$ : tasa de cruzamientos exogámicos (calculada según Ritland 2002). Entre paréntesis y en cursiva se indica la desviación típica. \* indica imposibilidad de estimación de los parámetros debido a una ausencia total de estructura espacial en la nube de polen (Smouse *et al.* 2001).

Tratamiento	$N$	$H_e$	$\delta$	$N_{ep}$	$t_m$
ASU	23	0,917	24 (10)	83 (117)	0,990 (0,008)
C-ASU	23	0,915	17 (6)	71 (60)	0,990 (0,007)
ASB	23	0,910	*	*	0,969 (0,020)
C-ASB	23	0,927	29 (10)	125 (117)	0,932 (0,027)

Los resultados obtenidos sugieren que, en términos de la polinización, los métodos de regeneración natural analizados no comprometen el mantenimiento de la diversidad genética de las poblaciones naturales de pino silvestre. En poblaciones extensas y densas de coníferas como las analizadas, en las que además la mayor parte de la regeneración se consigue bajo densidades de adultos relativamente elevadas ( $>50$ -100 pies/ha), la dispersión de polen parece ser suficientemente extensiva como para evitar un efecto significativo de reducciones moderadas de la densidad de árboles adultos sobre la polinización efectiva. Por otra parte, la posibilidad de flujo genético extensivo vía polen apunta la conveniencia de analizar el riesgo de inmigración polínica en poblaciones naturales desde repoblaciones próximas de origen desconocido, potencialmente peor adaptadas al entorno. Estos estudios aportarían criterios necesarios para desarrollar los planes de conservación y gestión de este tipo de masas forestales.



**Figura 2.** Estimación de la tasa de autofertilización ( $1 - t_m$ ), según Ritland (2002), en los cuatro tramos estudiados. Las barras verticales indican la desviación típica.

## Referencias

Ritland, K. 2002. Extension of models for the estimation of mating systems using  $n$  independent loci. *Heredity* 88: 221-228.

Robledo, J.J., Smouse, P.E., Gil, L., Alía, R. Pollen movement under alternative silvicultural practices in native populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Spain. Enviado a *Forest Ecology and Management*.

Savolainen, O., 2000. Guidelines for gene conservation based on population genetics. En: Krishnapillay, B., Soepadmo, E., Arshad, N.L., Wong, A., Appanah, S., Chik, S.W., Manokaran, N., Tong, H.L., Choon, K.K. (Eds.), XXI IUFRO World Congress. Forest and society: the role of research. Malaysian XXI IUFRO World Congress Organising Committee, Malaysia, pp. 100-109.

Smouse, P.E., Dyer, R.J., Westfall, R.D., Sork, V.L. 2001. Two-generation analysis of pollen flow across a landscape. I. Male gamete heterogeneity among females. *Evolution* 55: 260-271.