

CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS DE CONÍFERAS EN ESPAÑA

S. MARTÍN ALBERTOS ¹, S. C. GONZÁLEZ MARTÍNEZ ²

¹ Servicio de Material Genético, DGCN. Gran Vía de San Francisco, 4. 28.005 Madrid.

² Departamento de Mejora Genética y Biotecnología, INIA. Carretera de La Coruña, km 7.
28.080 Madrid

sonia.martin@gvsf.mma.es

RESUMEN

Un aspecto fundamental en la conservación de la diversidad biológica es el inventario y conservación de los recursos genéticos forestales. En este trabajo se resume la información disponible sobre la variación cuantitativa y molecular de las especies de los géneros *Pinus*, *Abies*, *Juniperus*, *Tetraclinis* y *Taxus* que ocurren de forma natural en España, y el estado actual de inventariación y conservación de sus recursos genéticos (regiones de procedencia, fuentes semilleras, huertos semilleros, bancos clonales y bancos de semillas, principalmente). La consideración de las características autoecológicas de las especies, las amenazas específicas de sus poblaciones y el marco institucional conducen al desarrollo de estrategias de conservación de los recursos forestales genéticos de las mismas. Dentro de ellas se resalta la conservación *in situ* tanto de rodales monoespecíficos como de sistemas forestales complejos y, en el caso del género *Pinus*, la conservación *ex situ* en bancos de semillas, y la importancia de las plantaciones como recursos genéticos a conservar.

PALABRAS CLAVE: Conservación
Recursos genéticos
Coníferas
España

INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos genéticos de las especies forestales está adquiriendo gran importancia en España. De una situación inicial, en la cual las políticas de conservación biológica se planeaban a escala específica, la conservación de los recursos genéticos intraespecíficos constituye una prioridad actual dentro de las políticas de conservación nacionales. Dicho cambio viene marcado por la influencia de las Conferencias Ministeriales de Estrasburgo (1990), Helsinki (1993) y Lisboa (1998), y del Convenio sobre Diversidad de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro (1992), cuyos principios rectores se recogen

en las Estrategia Nacional Forestal, y de Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica. Dicha conservación ha de ser dinámica, es decir, enfocada en mantener el potencial evolutivo de las especies (Eriksson *et al.*, 1993) y debe abarcar tanta variabilidad como sea posible (Hattemer, 1995). Por otra parte, ni la inclusión de una población en un espacio protegido, ni la actual gestión forestal, garantizan la conservación de la integridad genética de las masas forestales naturales, siendo necesarios el desarrollo y aplicación de criterios específicos de conservación.

Las diferentes especies de coníferas que habitan España ocupan una superficie superior a los seis millones de ha, siendo frecuente su presencia en masas mixtas. A pesar de ello, y del importante papel ecológico y económico de las mismas, numerosos científicos y naturalistas han ignorado su importancia en los sistemas forestales españoles. Recientemente, la necesidad de conservación de las principales poblaciones de este grupo de especies se ha puesto de manifiesto tanto por su inclusión en el *Inventario de Hábitats de la Unión Europea*, base de la Red Natura 2000 (Orella *et al.*, 1998), como en propuestas específicas de grupos conservacionistas (ver, por ejemplo, WWF-ADENA, 1998). Por otra parte, la inventariación y conservación de los recursos genéticos forestales de las coníferas españolas han sido fuertemente potenciados por la entrada en vigor de la legislación europea (Directivas Comunitarias 66/404 y 71/161) y española (Real Decreto 1356/1998) sobre *comercialización del material forestal de reproducción* y por la reciente creación de la Red de Coníferas dentro del Programa Europeo de Conservación de Recursos Genéticos Forestales (EUFORGEN).

ESPECIES CONSIDERADAS

En España, las coníferas están representadas de forma natural por tres familias (Cupresáceas, Pináceas y Taxáceas) con los géneros y especies que se detallan en la Tabla 1 y cuya distribución, con la excepción de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters y *Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC., se presenta en las Figuras 1 y 2.

La sabina mora o ciprés de Cartagena (*Tetraclinis articulata*) y el tejo (*Taxus baccata*) aparecen en ámbitos muy reducidos. De la primera especie sólo se conoce una población natural en la Sierra de Cartagena (Murcia), aunque existen plantaciones en buen estado de conservación: dunas de Guardamar en Alicante, La Algameca en Murcia, Parque Natural de Doñana (Mañez *et al.*, 1997) y otras localizaciones de Málaga, Granada y Almería (Simón, 1996). Además de las coníferas autóctonas indicadas existen plantaciones de diversas especies de géneros alóctonos, como *Chamaecyparis* Spach. y *Cupressus* L. en Cupresáceas o *Picea* A. Dietr., *Pseudotsuga* Carrière y *Larix* Miller, de la familia de las Pináceas. Destacan por la importante extensión de sus plantaciones *Pinus radiata* D. Don y *Pinus nigra* subsp. *nigra*, especies de rápido crecimiento y gran producción forestal.

La última glaciación cuaternaria se considera la principal responsable de la estructura, composición florística y dinamismo de los bosques ibéricos (Costa *et al.*, 1997). Las coníferas dominaron el paisaje en la Península Ibérica en el período Tardiglaciario (hace unos 20.000 años), especialmente los géneros *Juniperus* y *Pinus*. La mejoría climática tras la última glaciación supuso un aumento de la importancia de las frondosas y las masas mix-

TABLA 1
CONÍFERAS PRESENTES EN ESPAÑA DE FORMA NATURAL (López y Amaral, 1986). EN NEGRITA, LAS ESPECIES QUE SE CONSIDERAN EN EL PRESENTE TRABAJO

Native conifers in Spain following López y Amaral (1986). Bold letters indicate the species included in the present work

Familia	Género	Especie	Superficie ⁽¹⁾ (ha)
Cupressaceae	<i>Juniperus</i> L.	<i>J. communis</i> L.	—
		<i>J. oxycedrus</i> L.	—
		<i>J. phoenicea</i> L.	—
		<i>J. thurifera</i> L.	242.223
		<i>J. sabina</i> L.	—
	<i>Tetraclinis</i> Masters	<i>T. articulata</i> (Vahl) Masters	—
Pinaceae	<i>Abies</i> Miller	<i>A. alba</i> Miller	48.714
		<i>A. pinsapo</i> Boiss.	1.852
	<i>Pinus</i> L.	<i>P. canariensis</i> Chr. Sm. ex DC.	89.384
		<i>P. halepensis</i> Miller	1.843.859
		<i>P. nigra</i> Arnold⁽²⁾	990.770
		<i>P. pinaster</i> Aiton	1.186.018
		<i>P. pinea</i> L.	391.884
		<i>P. silvestris</i> L.	1.213.182
		<i>P. uncinata</i> Ramond ex DC.	125.258
	<i>Taxus</i> L.	<i>Taxus baccata</i> L.	—

⁽¹⁾ Según el 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996).

⁽²⁾ Incluye todas las subespecies.

⁽¹⁾ Following the 2nd National Forest Inventory (1986-1996).

⁽²⁾ All subspecies included.

tas. El género *Abies* se considera presente en la Península Ibérica ya en el Holoceno; es en este momento, hace unos 8.000-10.000 años, cuando comienzan a recuperarse los bosques templados, predominando el género *Quercus*. Este cambio de hegemonía se producirá especialmente en el territorio Cantábrico, donde la regresión de las coníferas (principalmente pinos) coincidió con la expansión de robles y otras frondosas. En la España mediterránea las coníferas siguieron siendo muy importantes durante el Holoceno, llegando hasta la actualidad (Costa *et al.*, 1997). Los géneros *Taxus* y *Tetraclinis* se consideran más antiguos que los géneros anteriores. La discontinuidad de la distribución actual del género *Tetraclinis* y su aislamiento geográfico con respecto a sus parientes más próximos (en Australia, Tasmania y sur de África) le señalan como un posible relictos del Terciario (Agencia para el Medio Ambiente y la Naturaleza de la Región de Murcia, 1989).

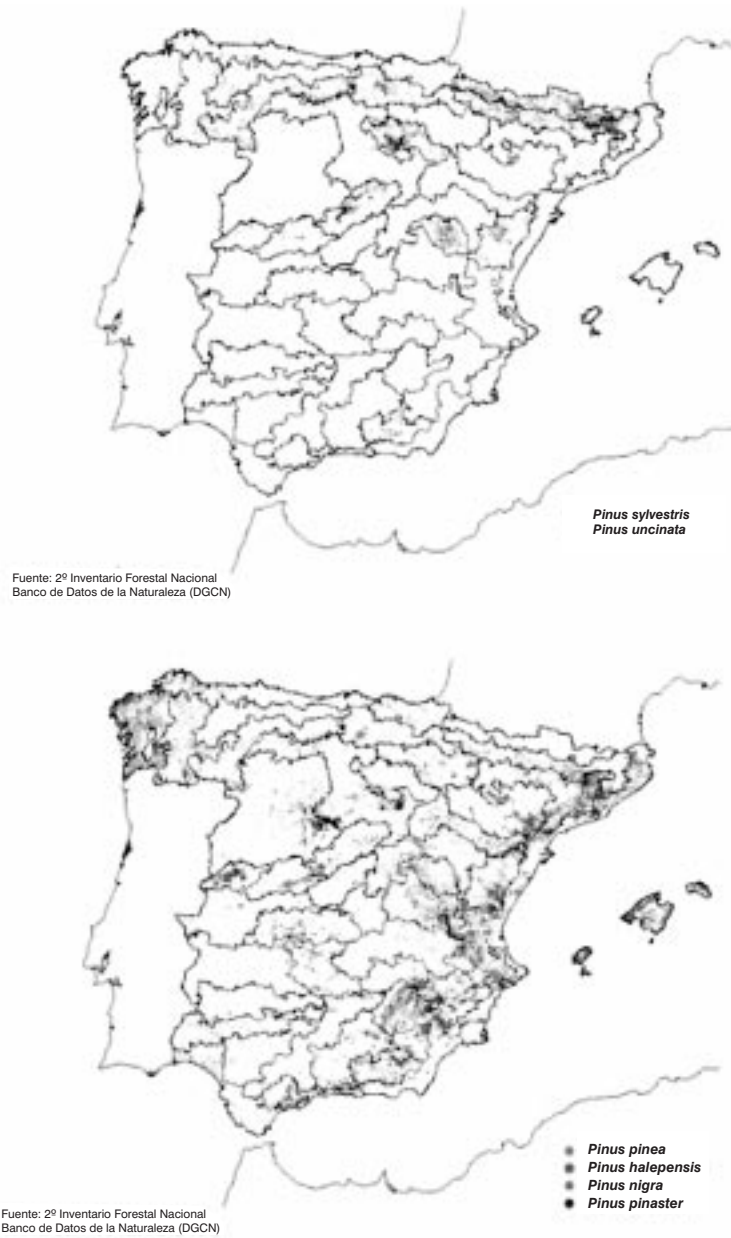


Fig. 1.—Distribución en España (sin incluir las Islas Canarias) de las especies de coníferas autóctonas según el 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996)

Spanish distribution (Canary Islands not included) of native conifer species following the 2nd National Forest Inventory

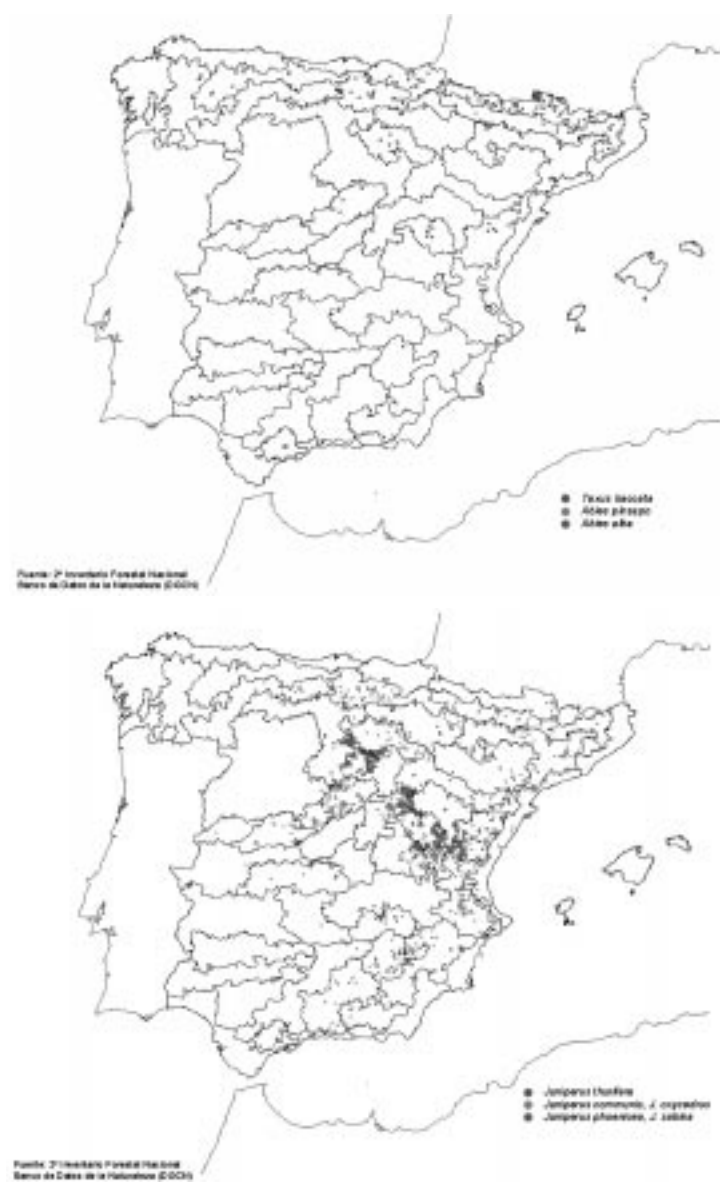


Fig. 2.—Distribución en España (sin incluir las Islas Canarias) de las especies de coníferas autóctonas según el 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996)

Spanish distribution (Canary Islands not included) of native conifer species following the 2nd National Forest Inventory

La evolución histórica, distribución y descripción ecológica de las coníferas ibéricas han sido objeto de numerosos trabajos, tanto en conjunto (Costa *et al.*, 1997), como de forma individualizada (p. ej. las series de regiones de procedencia del género *Pinus*: Alía *et al.*, 1998; Catalán *et al.*, 1991; Climent *et al.*, 1995; Gil *et al.*, 1996; Martín *et al.*, 1998; Prada *et al.*, 1997). Algunas de las características más destacables de este grupo de especies son:

- Hay muchos ambientes peninsulares donde los pinos tienen un importante papel ecológico. En las altas montañas con bajas temperaturas o con suelos muy pobres, en las dunas litorales o continentales, en las peridotitas de Sierra Bermeja o en las areniscas rojas del interior, en las comarcas de topografía abrupta con elevadas pendientes sometidas a constantes procesos de rejuvenecimiento, los pinares constituyen formaciones permanentes, poseyendo el protagonismo del paisaje en extensas comarcas. El género *Pinus* está fuertemente diversificado desde el punto de vista ecológico, existiendo especies de alta montaña como el pino negro (*Pinus uncinata*), que habita principalmente las altas cumbres del Pirineo o el pino salgareño (*Pinus nigra*), que alcanza los 2.200 m de altitud en las montañas bético-orientales; en contraposición, *P. pinea*, *P. halepensis* y *P. pinaster* viven en localizaciones de llanura o media montaña. Esta última especie, el pino negral, se caracteriza por una gran flexibilidad ecológica que le permite ocupar sistemas forestales muy diferentes. Destacan por su gran interés botánico los núcleos relicticos de pinar de *P. nigra* y *P. sylvestris* en el Sistema Central y en la Meseta Norte (Valle del río Cega), los de *P. sylvestris* subsp. *nevadensis* Christ. en las Sierras Penibéticas, límite meridional de la distribución natural de la especie y las poblaciones de *Pinus nigra* descritas en Andalucía Oriental (Pulido y López, 2000).
- Los abetos, a diferencia del resto de coníferas consideradas, son especies higrófilas y de alta montaña. El género está representado en España por dos especies: el pinabete o abeto (*Abies alba*), la especie más extensa de los abetos peninsulares; y el pinsapo (*Abies pinsapo*), localizado en las altas cumbres de la Serranía de Ronda, en las Sierras Béticas occidentales. Quézel (1998), entre otros, considera *A. pinsapo* endémico de la Península Ibérica, denominando a los abetos circummediterráneos marroquíes *A. maroccana*.
- La sabina albar (*Juniperus thurifera*) se desarrolla en localizaciones con fuerte aridez y continentalidad (parameras del interior peninsular), en suelos raquíuticos, principalmente calcáreos y cascajosos, donde ninguna otra especie arbórea lo haría. La tendencia xerotérmica del clima y el abandono de terrenos cultivados han favorecido una expansión reciente del sabinar.
- La sabina mora o ciprés de Cartagena (*Tetraclinis articulata*) es uno de los árboles más adaptados, junto al pino carrasco (*Pinus halepensis*) a las condiciones extremas de xericidad del Sureste español.
- El tejo (*Taxus baccata*) es un taxón de origen antiguo, que debió estar mucho más representado en el pasado. En la actualidad su presencia en la Península Ibérica es reducida debido tanto a la competencia de otras especies más modernas a lo largo de la historia geológica como a la intensa acción antrópica en tiempos recientes (Costa *et al.*, 1997).

Por último, indicar que las coníferas ibéricas no representan, como muchas veces se ha afirmado, mayoritariamente el papel de etapas de sustitución de bosques de frondosas;

numerosos datos paleobotánicos, el análisis de los bosques pocos intervenidos, y la abundante documentación histórica atestiguan el importante papel ecológico y económico de este grupo de especies (Costa *et al.*, 1997; Manuel y Gil, 1998).

INVENTARIO DE RECURSOS GENÉTICOS

El sistema de reproducción en las coníferas, con tasas de polinización cruzada muy altas y una gran capacidad de dispersión, permite que sean especies muy heterocigóticas, lo que unido a la longevidad y a la importante extensión de sus masas hace que haya alta variabilidad en las poblaciones. Esta diversidad genética intrapoblacional es la garantía de su adaptación a posibles cambios ambientales. En cuanto a las poblaciones marginales, diversos estudios apuntan a que este tipo de poblaciones pueden mantener niveles considerables de diversidad, así como estructuras genéticas peculiares (por distintas presiones selectivas o por deriva genética), especialmente si soportan cierto grado de estrés ambiental (Ellstrand y Elam, 1993; Lesica y Allendorf, 1995). La variación genética intraespecífica puede ser conocida mediante diversas técnicas, que proporcionan diferentes tipos de información y que, por tanto, deben ser consideradas en conjunto:

- Definición de regiones de procedencia a partir de la variación ecológica y el aislamiento geográfico de las poblaciones. Las especies de los géneros *Abies* y *Pinus* están sometidas a reglamentación sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción, por lo que tienen definidas y aprobadas las *regiones de procedencia* (Resolución de 27 de abril de 2000, BOE num 114 de 12-V-2000). Para *Juniperus thurifera*, *Tetraclinis articulata* y *Taxus baccata*, no existe todavía una delimitación en regiones de procedencia, aunque se han definido *regiones para la identificación y utilización del material forestal de reproducción, RIUs* (García del Barrio *et al.*, 2000), punto de partida para la gestión del material forestal de reproducción de estas especies. Por otra parte, los *Catálogos Nacionales de Materiales de Base* reúnen los rodales selectos y huertos semilleros, y las fuentes semilleras, para la obtención del material de reproducción seleccionado e identificado, respectivamente.
- Resultados derivados de los ensayos de procedencias. Los ensayos de procedencia proporcionan información sobre la adaptación a factores ecológicos, las diferencias genéticas entre procedencias en variables morfológicas (p. ej., forma de la piña) y adaptativas (p. ej., crecimiento) y la interacción genotipo-ambiente.
- Información proporcionada por marcadores moleculares (bioquímicos como las isoenzimas o basados en ADN). Los marcadores moleculares se consideran neutrales, es decir, no afectados por procesos selectivos. Debido a ello, los marcadores moleculares son especialmente interesantes para detectar el flujo genético entre poblaciones, reconstruir la historia paleogeográfica de las especies y detectar los procesos genéticos históricos relacionados con cambios en el número efectivo poblacional.

Aunque este trabajo se centra en poblaciones naturales de coníferas, hay que destacar el importante papel de las repoblaciones, especialmente en el género *Pinus*. Éstas, por su importante extensión y función ecológica, hay que considerarlas un recurso genético más,

que debe ser correctamente gestionado. Admitido el hecho de que antes del siglo XX no hubo repoblaciones masivas, se estima una superficie repoblada superior a 4 millones de ha entre 1940 y 1995 (Manuel y Gil, 1998). En estas repoblaciones se usaron principalmente varias especies autóctonas de pino, con movimientos importantes de semilla, en particular cuando no existían fuentes locales o éstas eran de reducida extensión. La composición genética de las repoblaciones y el riesgo de introgresión genética desde repoblaciones de origen desconocido a poblaciones naturales locales son aspectos de los que aún no existe ninguna información.

De gran importancia para la conservación de los recursos genéticos forestales es el conocimiento del sistema reproductivo de las especies (Tabla 2), aspecto éste que ayudará a evaluar el efecto de las diferentes amenazas y procesos que las afectan en la actualidad.

TABLA 2
SISTEMAS REPRODUCTIVOS DE LAS CONÍFERAS ESPAÑOLAS
Mating systems of Spanish conifers

Géneros	<i>Abies</i>	<i>Juniperus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Taxus</i>	<i>Tetraclinis</i>
Reproducción sexual					
Disposición de las flores femeninas y masculinas	Monoicas	Aunque monoicas, tienden a ser dioicas	Monoicas	Dioica	Monoica
Polinización	Anemófila	Anemófila	Anemófila	Anemófila	Anemófila
Dispersión de la semilla	Anemócora	Zoócora	Anemócora	Zoócora	Anemócora
Reproducción asexual	No	Rebrota bien de tallo; no rebrota de cepa	Sólo el pino canario brota de tallo y cepa	Brota bien de tallo y cepa	Brota bien de cepa
Temperamento: evidencia la condición de especie colonizadora o no	Sombra	Luz	Media Luz/Luz	Media luz	Luz
Crecimiento: indica el desarrollo en las primeras fases de establecimiento de una población	Lento	Lento	Medio	Lento	Muy lento
Producción y conservación de semillas	Bastante semilla vana; no se conserva a largo plazo	Mucha semilla vana; daños de insectos; se conservan varios años	Fácil manejo; conservación por periodos largos	Fácil manejo; conservación por periodos largos	Difícil manejo; no se conserva a largo plazo
Producción de planta					
Sexual	Buena germinación	Germinación difícil, lenta e irregular	Buena germinación	Germinación a los 2-3 años	Buena germinación
Asexual	No se realiza	No se realiza	No se realiza	Estaquilla y acodo	No se realiza

Inventario de recursos genéticos del género *Pinus*

Regiones de procedencia, Regiones para la identificación y utilización del material forestal de reproducción y Catálogo Nacional de Materiales de Base

Las regiones de procedencia se basan en la relación entre variación genética y variación ecológica y geográfica. Las regiones de procedencia para las especies del género *Pinus* han sido definidas en España en el período 1991-1998 (Tabla 3). Dentro de las regiones de procedencia, se han diferenciado las procedencias de área restringida para aquellas poblaciones marginales en los extremos de la distribución natural de la especie. Varias de las regiones de procedencia de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* tienen este carácter, aunque no estén definidas como tales.

TABLA 3
REGIONES DE PROCEDENCIA DEL GÉNERO *PINUS* EN ESPAÑA
Provenance regions of genus Pinus in Spain

Especie	Regiones de procedencia	Procedencias de área restringida	Referencia
<i>P. canariensis</i>	4	2	Climent <i>et al.</i> (1995)
<i>P. halepensis</i>	18	–	Gil <i>et al.</i> (1996)
<i>P. nigra</i>	10	–	Catalán <i>et al.</i> (1991)
<i>P. pinaster</i>	20	7	Alía <i>et al.</i> (1996)
<i>P. pinea</i>	7	4	Prada <i>et al.</i> (1997)
<i>P. sylvestris</i>	17	–	Catalán <i>et al.</i> (1991)
<i>P. uncinata</i>	2	3	Martín <i>et al.</i> (1998)

Los recursos genéticos del género *Pinus* incluidos en los *Catálogos Nacionales de Materiales de Base* se presentan en las Tablas 4 y 5. Por otra parte, existen bancos clonales de *P. pinea* y *P. pinaster*. De la primera especie existen 106,5 ha repartidas en 21 bancos clonales en las provincias de Cádiz (2), Castellón (10), Córdoba (1), Huelva (2), Madrid (4) y Valladolid (2). De la segunda especie destaca la instalación realizada durante 1995-1996 de un banco clonal situado en Carbonero el Mayor (Segovia) y que incluye 225 injertos de 59 genotipos de árboles grandes productores de miera.

Ensayos de procedencia.

Los ensayos de procedencia instalados en España incluyen seis de las especies consideradas (Tabla 6). Una descripción más detallada de los ensayos y de la estrategia de mejora para *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* se puede encontrar

TABLA 4
FUENTES SEMILLERAS Y RODALES SELECTOS
DEL GÉNERO *PINUS* EN ESPAÑA

Seed sources and selected stands of genus Pinus in Spain

Especie	Fuentes Semilleras	Rodales Selectos
<i>P. canariensis</i>	20 (45.962 ha)	—
<i>P. halepensis</i>	242 (39.976 ha)	—
<i>P. nigra</i>	112 (9.012 ha)	24 (14.894 ha)
<i>P. pinaster</i>	207 (160.514 ha)	—
<i>P. pinea</i>	43 (14.542 ha)	—
<i>P. sylvestris</i>	97 (100.138 ha)	30 (12.050 ha)
<i>P. uncinata</i>	3 (17.225 ha)	—

Fuente: Servicio de Materia Genético. DGCN. Fuentes similares actualizadas a septiembre de 2000 (pendiente de aprobación).

TABLA 5
HUERTOS SEMILLEROS DEL GÉNERO *PINUS* EN ESPAÑA

Seed orchards of genus Pinus in Spain

Especie	N.º	Situación	Superficie total (ha)	Organismo gestor ⁽¹⁾
<i>P. canariensis</i>	1	Cádiz	2,5	DGCN
<i>P. halepensis</i>	5	Valencia, Guadalajara, Zaragoza (2) y Huesca	10,1	DGCN, SIA-DGA
<i>P. nigra</i>	3	Huesca, Segovia y Guadalajara	6,5	DGCN, SIA-DGA
<i>P. pinaster</i>	3	A Coruña (2) y Segovia	10,0	DGCN, C.I.F. Lourizán
<i>P. sylvestris</i>	3	Huesca y Segovia	6,9	DGCN
<i>P. uncinata</i>	1	Segovia	1,7	DGCN

⁽¹⁾ DGCN: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente; SIA-DGA: Servicio de Investigación Agraria, Diputación General de Aragón; C.I.F. Lourizán: Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Xunta de Galicia.

trar en Alía *et al.* (1999). Sólo existen ensayos antiguos para *Pinus pinaster*, por lo que para el resto de las especies no existen todavía conclusiones definitivas.

En el Cuadro 1 se sintetiza la información obtenida a partir de los ensayos de procedencia nacionales, o en el caso de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra*, de los ensayos internacionales que incluyen procedencias españolas.

TABLA 6
ENSAYOS DE PROCEDENCIA DEL GÉNERO *PINUS* EN ESPAÑA
Provenance trials of genus Pinus in Spain

Especie	Fecha de plantación	Diseño ⁽¹⁾	N.º de Ensayos	N.º de Procedencias	Superficie total (ha)
<i>Pinus canariensis</i>	1999-2000	BIA	5	18-21 ⁽²⁾	3,7
<i>Pinus halepensis</i>	1995-1996	BCA	4	32-42	1,25
<i>Pinus nigra</i>	1996-1997	BCA	9	9-19	3,02
<i>Pinus pinaster</i>	1966-1967	BCA	5	45-52	10,12
	1992-1995	BCA, Ládice	3	25-37	3,36
<i>Pinus pinea</i>	1995-1997	BIA	4	29-34	8,5
<i>Pinus sylvestris</i>	1990-1991	BCA	6	16-25	5,64

⁽¹⁾ BCA: Bloques Completos al Azar; BIA: Diseño en Bloques Incompletos.

⁽²⁾ Corresponde a poblaciones recogidas de las seis procedencias descritas en Eliment *et al.* (1995).

⁽¹⁾ BCA: Randomised complete blocks; BIA: Incomplete block design.

⁽²⁾ Populations sampled from the 6 provenances described in Climent *et al.* (1995).

CUADRO 1
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCEDENCIAS ESPAÑOLAS DEL GÉNERO *PINUS*

Results from trials of Spanish provenances of genus Pinus

<i>Pinus canariensis</i>	No existen resultados de los ensayos de campo. Se ha observado gran variabilidad de los rasgos anatómicos de las piñas en las masas naturales. <i>Referencias:</i> Klaus, 1988.
<i>Pinus halepensis</i>	Se han observado pautas de variación en factores adaptativos relacionados con factores ambientales como, por ejemplo, los ciclos de crecimiento y las características morfológicas de piñas y piñones. Las procedencias españolas presentan peor crecimiento y forma de fusta que las procedencias más orientales. La interacción genotipo-ambiente es importante en esta especie, especialmente en caracteres relacionados con la adaptación al frío y a la sequía. <i>Referencias:</i> Agúndez y Alía, 1997; Weinstein, 1989.
<i>Pinus nigra</i>	Mal comportamiento en crecimiento y forma de las procedencias españolas en el ámbito general de la especie. Importante interacción genotipo-ambiente en rectitud y crecimiento en diámetro. Poca diferenciación en crecimiento en altura, diámetro, número de ramas y ángulo de inserción de la rama más gruesa entre la Sierra de Cazorla y la Sierra de Segura. <i>Referencias:</i> Roman-Amat, 1984; Wilcox y Miller, 1975.
<i>Pinus pinaster</i>	Gran heterogeneidad en el comportamiento de las procedencias españolas. Alta correlación juvenil-adulto. Diferencias entre procedencias en el ritmo de crecimiento y calidad de la madera. Las procedencias de montaña presentan mayor rectitud del fuste (Arenas de San Pedro) que las procedencias de llanura (Oña y Meseta Castellana). Importante interacción genotipo-ambiente en diámetro, altura, policiclismo y supervivencia. <i>Referencias:</i> Alía y Gil, 1992; Alía <i>et al.</i> , 1995; Alía y Moro, 1996; Alía <i>et al.</i> , 1997; Molina, 1965; Notivol <i>et al.</i> , 1992; Sierra de Grado <i>et al.</i> , 1999.

CUADRO 1 (continuación)

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCEDENCIAS ESPAÑOLAS DEL GÉNERO *PINUS**Results from trials of Spanish provenances of genus Pinus*

<i>Pinus pinea</i>	Diferenciación de las procedencias en diámetro y biomasa desde el primer ciclo de crecimiento. A los cuatro años de edad existen diferencias significativas en altura, diámetro basal, crecimiento anual y policiclismo, y un gran efecto ambiental. <i>Referencias:</i> Amaro <i>et al.</i> , 2000; Sada <i>et al.</i> , 2000.
<i>Pinus sylvestris</i>	Los ensayos en fase de vivero y en estado juvenil (siete años de edad) indican una importante interacción genotipo-ambiente en el diámetro, altura y número de ramas a los seis años, mientras que no es significativa para la supervivencia y la fenología del crecimiento. La procedencia de la Sierra de Guadarrama presenta alto crecimiento y la procedencia Sierras Penibéticas muy bajo. <i>Referencias:</i> Agúndez <i>et al.</i> , 1994; Alía <i>et al.</i> , 1998; R. Alía, com. per.; Notivol y Alía, 1996.

Marcadores moleculares

La información obtenida a partir de marcadores moleculares permite el estudio de los sistemas de reproducción de las especies, la estructura geográfica y distribución de la variabilidad genética dentro de las mismas, y de procesos de gran interés en la conservación de los recursos genéticos forestales (p. ej.: el flujo genético desde plantaciones a masas naturales o la comparación de los niveles de diversidad entre poblaciones marginales y centrales). Dicha información debe ser evaluada en conjunto con datos ecológicos y de variables adaptativas (crecimiento, supervivencia) en el diseño de planes de conservación y gestión de recursos genéticos forestales. La comparación de medidas de diferenciación genética entre marcadores moleculares y variables adaptativas ha permitido, por ejemplo, determinar la importancia en el ámbito peninsular de los procesos selectivos en *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*, mostrando *Pinus pinaster* una mayor diferenciación entre poblaciones debida a presiones selectivas con respecto al resto de las especies evaluadas. La Tabla 7 resume los análisis realizados hasta el momento con diferentes tipos de marcadores moleculares.

Dada la gran diferencia en magnitud de la dispersión de polen y la dispersión de semilla en el género *Pinus* (Ennos, 1994; Ledig, 1998), los marcadores de herencia materna (solamente dispersión por semilla) obtenidos del ADN mitocondrial son de gran interés para estudiar la estructura geográfica de las poblaciones, mientras que los marcadores de herencia paterna (dispersión por polen y semilla) obtenidos del ADN del cloroplasto son de mayor utilidad en la evaluación de los niveles de flujo genético entre poblaciones. En el Cuadro 2 se sintetiza la información obtenida del análisis de marcadores moleculares de poblaciones españolas del género *Pinus*.

Un análisis integrado de los niveles de diversidad y riqueza alélica para *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* se presenta en las Figuras 3 y 4. Los valores relativos de diversidad y riqueza alélica se han obtenido estandarizando los valores de cada población respecto a la media y desviación típica de cada especie con el objetivo de obtener datos comparativos.

TABLA 7
ANÁLISIS DE MARCADORES MOLECULARES DE POBLACIONES
ESPAÑOLAS DEL GÉNERO *PINUS*

Molecular marker analysis of Spanish populations of genus Pinus

Especie	Marcadores				
	Isoenzimas	SSRs nucleares	RAPDs	Cp ADN ⁽¹⁾	Mt ADN ⁽²⁾
<i>P. canariensis</i>	21	—	—	—	—
<i>P. halepensis</i>	15	—	6	15	10
<i>P. nigra</i>	8	—	—	—	—
<i>P. pinaster</i>	35	1	—	—	9
<i>P. pinea</i>	7	—	—	10	—
<i>P. sylvestris</i>	14	—	—	14	12
<i>P. uncinata</i>	—	—	—	—	—

⁽¹⁾ Cp ADN: Marcadores basados en ADN del cloroplasto.

⁽²⁾ Mt ADN: Marcadores basados en ADN de la mitocondria.

⁽¹⁾ Cp ADN: Chloroplast molecular markers.

⁽²⁾ Mt ADN: Mitochondrial molecular markers.

CUADRO 2

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON MARCADORES MOLECULARES DE
POBLACIONES ESPAÑOLAS DEL GÉNERO *PINUS*

Results from molecular marker analysis of Spanish populations of genus Pinus

<i>Pinus canariensis</i>	Nivel medio de variabilidad y diferenciación genética. Distribución de la variación en gradientes altitudinales. Mayor similitud genética, por lo general, de las poblaciones que vegetan en la misma isla, lo que indica la gran importancia del aislamiento geográfico en esta especie. Gran Canaria presenta la mayor diversidad y el mayor número de alelos únicos. <i>Referencias:</i> Korol <i>et al.</i> , 1999; Schiller <i>et al.</i> , 1999.
<i>Pinus halepensis</i>	El nivel de variación es bajo comparado con otras especies del género, aunque existe una alta diferenciación entre poblaciones en la Península Ibérica. La variación está estructurada geográficamente de forma clinal en dirección Norte-Sur. <i>Referencias:</i> Agúndez <i>et al.</i> , 1997; Agúndez <i>et al.</i> , 1999; Gómez, 1998.
<i>Pinus nigra</i>	Alto nivel de variabilidad y gran diferenciación entre poblaciones. Los resultados preliminares muestran mayor diversidad y riqueza alélica de las poblaciones del Pirineo y Sistema Ibérico con respecto a las poblaciones de las Sierras Béticas. <i>Referencias:</i> Aguinagalde y Bueno, 1994; Datos no publicados.
<i>Pinus pinaster</i>	Alta diversidad y riqueza genética, especialmente en localizaciones próximas a la costa Mediterránea (Sur y Este peninsular). Fuerte estructuración geográfica (variación clinal) en las poblaciones del Este peninsular y ausencia de la misma en el Noroeste. Singularidad de la población de Las Gabarras (Girona), más cercana a las poblaciones del Sureste francés que a las Ibéricas. Las poblaciones marginales de esta especie mantienen, por lo general, niveles de diversidad elevados. <i>Referencias:</i> González y Martínez <i>et al.</i> , 2000; Ribeiro <i>et al.</i> , 2000; Salvador <i>et al.</i> , 1997; Salvador <i>et al.</i> , 2000; Vendramin <i>et al.</i> , 1998.

CUADRO 2 (continuación)

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON MARCADORES MOLECULARES DE POBLACIONES ESPAÑOLAS DEL GÉNERO *PINUS**Results from molecular marker analysis of Spanish populations of genus Pinus*

<i>Pinus pinea</i>	Niveles de diversidad excepcionalmente bajos. No existe variación en siete poblaciones analizadas con isoenzimas, mientras que el número de haplotipos detectados mediante microsatélites de cloroplasto es muy inferior al del resto de especies del género en la Península Ibérica. <i>Referencias:</i> Datos no publicados; Gómez <i>et al.</i>, 2000; G.G. Vendramin, <i>com. per.</i>
<i>Pinus sylvestris</i>	Dos grupos claramente diferenciados con estructura geográfica Oeste (Covaleda y Valsain) - Este (Borau, Orihuela y Gudar) y una composición singular con alta variabilidad genética de la población de Baza (Sierras Penibéticas). Esta estructura puede ser explicada por la persistencia de poblaciones relicticas terciarias de la especie en cadenas montañosas ibéricas a elevada altitud. <i>Referencias:</i> Pardos <i>et al.</i>, 1990; Prus-Glowacki y Stephan, 1994; Sinclair <i>et al.</i>, 1999; Soranzo <i>et al.</i>, 2000.



Fig. 3.—Diversidad genética relativa (H_e estandarizada) en cuatro especies de coníferas ibéricas mediante análisis isoenzimáticos

Relative genetic diversity (standardised H_e) in four Iberian conifer species using isozymes

Las poblaciones con mayores niveles de diversidad se concentran en el Este y Sureste Peninsular, a lo largo de la costa Mediterránea y en las sierras del interior próximas a ésta (Serranía de Cuenca, Sierras Béticas). En el caso particular de los pinos salgareño y silvestre, las poblaciones del Sistema Ibérico de *Pinus nigra*, de la Sierra de Gredos de *Pinus sylvestris* y de Pirineos de ambas especies también presentan una notable diversidad. Con respecto a la riqueza alélica, de mayor interés en la conservación de recursos genéticos (Marshall y Brown, 1975; Petit *et al.*, 1998), el patrón es similar, aunque destaca el alto valor relativo de poblaciones singulares como las de la Sierra del Teleno en *Pinus pinaster* o de la Montaña Soriano-Burgalesa en *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.



Fig. 4.—Riqueza alélica relativa en cuatro especies de coníferas ibéricas mediante análisis isoenzimáticos

Relative allelic richness in four Iberian conifer species using isozymes

Inventario de recursos genéticos del género *Abies*

La distribución de las dos especies ibéricas del género *Abies* es muy restringida, especialmente *Abies pinsapo* que sólo se encuentra en el extremo occidental de las Sierras Béticas, en la Serranía de Ronda (Sierra de las Nieves, la población de mayor extensión, S. de Grazalema y S. Bermeja). A pesar de ello ambas tienen un gran interés botánico al constituir el abetal de Irati (Navarra) el límite suroccidental de la distribución natural de *Abies alba* y al ser considerada *Abies pinsapo* especie o variedad (según los autores) endémica de la Península Ibérica (Costa *et al.*, 1997; Quézel, 1998). La Tabla 8 recoge las regiones de procedencia y las fuentes semilleras. En el caso del *Abies pinsapo*, las tres procedencias tienen un claro objetivo de conservación de la especie.

TABLA 8
REGIONES DE PROCEDENCIA Y FUENTES SEMILLERAS DEL GÉNERO
ABIES EN ESPAÑA

Provenance of genus Abies in Spain

Especies	Regiones de procedencia	Procedencias de área restringida	Fuentes semilleras
<i>Abies alba</i>	3	3	2 (2.200 ha)
<i>Abies pinsapo</i>	3	—	—

Fuente: Servicio de Material Genético DGCN. Fuentes semilleras actualizadas a septiembre de 2000 (pendientes de aprobación).

La información tanto a escala molecular como de ensayos de campo en el género *Abies* es escasa. Catalán y Pardos (1983) describen diferentes aspectos relativos a la reproducción y mejora genética de *Abies pinsapo*. Por otra parte, esta especie presenta crecimientos en altura inferiores que otras especies circunmediterráneas de abetos (*A. cephalonica*, *A. nordmanniana* y *A. numidica*) y que sus respectivos híbridos (Fady y Pommery, 1998). Para *A. pinsapo* existen también estudios con isoenzimas que incluyen las tres procedencias españolas. Éstas presentan una baja variabilidad y una clara diferenciación con respecto a los abetales mediterráneos marroquíes (García *et al.*, 1993; Pascual *et al.*, 1993).

Inventario de recursos genéticos de *Juniperus thurifera*

La sabina albar es una especie del mediterráneo occidental que aparece en España principalmente en las zonas continentales del interior (altas mesetas y páramos), estando sus mejores representaciones en las provincias de Soria, Teruel y Guadalajara. El número de parcelas del 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996) en las que aparece esta especie y el porcentaje respecto al total de su distribución incluido en cada *región para la identificación y utilización del material forestal de reproducción* (RIUs) se indica en la Tabla 9. Es notable destacar que la sabina albar aparece en 27 de las 50 regiones definidas en España.

No hay estudios genéticos de esta especie, aunque se han iniciado trabajos en siete poblaciones con diferentes marcadores moleculares (D. Agúndez, com. per.).

Inventario de recursos genéticos de *Tetraclinis articulata*

La única población natural en la Península Ibérica está situada en la Sierra de Cartagena, correspondiendo a la *región para la identificación y utilización del material forestal de reproducción* número 37. Un inventario detallado de las poblaciones de la parte oriental de la Sierra de Cartagena se realizó en 1989, como encargo de la Agencia para el Medio Ambiente y la Naturaleza de Murcia. Se inventariaron 12 poblaciones, con un total de 2.947 pies, describiéndose aspectos geográficos, edáficos y de vegetación en cada una de ellas. También hay varias repoblaciones con arbolado ya adulto que habría que considerar e incluir en el programa de conservación, dado lo reducido del área natural de la especie,

TABLA 9
REGIONES PARA LA IDENTIFICACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL MATERIAL
FORESTAL DE REPRODUCCIÓN (RIUs) DE *JUNIPERUS THURIFERA* EN
ESPAÑA

Distribution by seed zones of Juniperus thurifera in Spain

RIU	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	20	21
N ⁽¹⁾	18	1	29	30	15	230	85	235	19	240	941	37	70	537
% ⁽²⁾	0,45	0,03	0,73	0,76	0,38	5,80	2,14	5,92	0,48	6,05	23,7	0,93	1,76	13,5

RIU	22	23	24	25	26	28	33	34	35	36	38	40	50
N ⁽¹⁾	478	358	35	35	408	1	22	88	16	5	1	5	29
% ⁽²⁾	12,1	9,02	0,88	0,88	10,3	0,03	0,55	2,22	0,40	0,13	0,03	0,13	0,73

⁽¹⁾ Número de parcelas del 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996) con *J. thurifera*.

⁽²⁾ Porcentaje respecto al área de distribución nacional.

⁽¹⁾ Number of plots including *J. thurifera* in the 2nd National Forest Inventory (1986-1996).

⁽²⁾ Percentage of the national distribution area.

y la alta probabilidad de que el origen del material utilizado en las plantaciones sea nativo de la Península Ibérica.

Inventario de recursos genéticos de *Taxus baccata*

En la actualidad, el tejo aparece normalmente aislado o en pequeños rodales, sin formar verdaderos bosques. Aunque se localizan ejemplares en casi todas las provincias españolas, los datos de presencia del 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996) sólo lo sitúan en 17 regiones para la identificación y utilización del material forestal de reproducción (Tabla 10).

En 1993, el ICONA y el C. I. F. de Lourizán (Pontevedra) iniciaron un proyecto de conservación de recursos genéticos de la especie con varios objetivos: inventariación y caracterización ecológica de las tejedas más importantes de España, selección de pies y recolección de material, propagación y establecimiento de bancos clonales (Iglesias Sauce *et al.*, 1997). El inventario de *Taxus baccata* de este proyecto incluye 32 localizaciones, habiéndose instalado cuatro bancos clonales de la especie (Tabla 11).

Otros inventarios a considerar en la conservación de los recursos genéticos de la especie son los de Castilla-León y proximidades (Oria de Rueda, 1998), así como los realizados en la Sierra de Tejeda-Almijara (Aguilera, 1997; Navarro *et al.*, 1998) y en la Sierra de las Nieves (López-Portillo *et al.*, 1997).

El único estudio sobre variabilidad genética de la especie en la Península Ibérica ha sido motivado por la importancia del taxol en el tratamiento de determinados tipos de cáncer, investigándose la variación natural en la obtención de la 10 Deacetilbaccatina III a partir de las acículas de *Taxus baccata* (Iglesias Díaz *et al.*, 1997). Los trabajos realizados en Polonia, en una población de 81 ha y cerca de 3.000 individuos, indican una elevada variación intrapoblacional, pero con serios problemas de regeneración y una importante disminución del número de ejemplares en los últimos ochenta años (Lewandowski *et al.*, 1995).

TABLA 10

REGIONES PARA LA IDENTIFICACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL MATERIAL FORESTAL DE REPRODUCCIÓN (RIUS) DE *TAXUS BACCATA* EN ESPAÑA

Distribution by seed zones of Taxus baccata in Spain

RIU	2	3	4	6	7	8	9	10	11
N⁽¹⁾	3	4	14	23	29	14	23	1	9
%⁽²⁾	1,95	2,60	9,09	14,94	18,83	9,09	14,94	0,65	5,84

RIU	14	15	18	20	22	23	24	35
N⁽¹⁾	1	9	2	5	7	6	3	1
%⁽²⁾	0,65	5,84	1,30	3,25	4,55	3,90	1,95	0,65

⁽¹⁾ Número de parcelas del 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996) con *T. baccata*.

⁽²⁾ Porcentaje respecto al área de distribución nacional.

⁽¹⁾ Number of plots including *T. baccata* in the 2nd National Forest Inventory (1986-1996).

⁽²⁾ Percentage of the national distribution area.

TABLA 11

BANCOS CLONALES DE *TAXUS BACCATA* EN ESPAÑA

Clonal banks of Taxus baccata in Spain

Localización	Superficie (m ²)	N.º de clones	Organismo gestor ⁽¹⁾
C.M.G.F. Puerta de Hierro, Madrid	326	133	DGCN
C.M.G.F. Valsaín, Segovia	1.890	54	DGCN
C.I.F. de Lourizán (2 bancos), Pontevedra	—	169-256	C.I.F. Lourizán

⁽¹⁾ DGCN: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente; C.I.F. Lourizán: Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Xunta de Galicia.



Foto 1.—Población relictica de Sabina mosa (*Tetraclinis articulata*) en la Peña del Águila (Sierra de Cartagena)
Relic populations of Tetraclinis articulata located at Peña del Águila (Sierra de Cartagena)



Foto 2.—Inventario y recogida de material genético de *Taxus baccata*
*Inventory and collection of genetic resources of *Taxus baccata**

PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN ESPECÍFICOS

Un aspecto fundamental en la gestión y conservación de recursos genéticos forestales es el estado actual de las masas, con el análisis de los riesgos y presiones que las afectan y que tienen como consecuencia la fragmentación y pérdida de hábitat de las especies e importantes cambios en la composición genética de sus poblaciones. Las amenazas más importantes a la integridad genética de las especies de coníferas en España son:

Actividades humanas

El estado actual de la cubierta arbórea en España es consecuencia, principalmente, del clima y las actividades humanas, especialmente la agropastoral. Los factores humanos que han determinado el estado actual de nuestra superficie forestal y los efectos de la gestión forestal tradicional han sido revisados recientemente en Manuel y Gil (1998), concluyendo que «*ni la ordenación forestal (al menos la aplicada hasta hace poco) ni la mayor parte de los sistemas tradicionales de aprovechamiento del bosque velan o garantizan una conservación estricta de la biodiversidad o de las condiciones naturales del mismo*». El aprovechamiento abusivo ha conducido en muchos casos a la fragmentación y degradación de los montes de coníferas. Los pinos son especies con pobres recursos de recuperación; por ejemplo, su incapacidad para brotar, con la excepción de *Pinus canariensis*, no les permite superar la aplicación repetida del fuego, pastoreo y talas, estando documentadas extinciones locales de pinares (Gil, 1999) como es el caso del *Pino silvestre* en la Sierra Norte de Madrid (Prado y Gil, 1997) o el *Pino carrasco* en la Sierra de los Pinos (Almería). Los bosques de *Abies alba* y *A. pinsapo*, especialmente este último, han sido reducidos debido, sobre todo, al aprovechamiento de madera y leñas. Este hecho se ve agravado en *A. pinsapo* por los bajos niveles de polen registrados en sus poblaciones, lo que contribuye a la producción limitada de semilla en las masas poco densas de esta especie (Arista y Talavera, 1994). En general, los sabinares han sido muy diezmados por el hombre especialmente por el uso pastoreo. La sabina mora ha sido descuartada desde antiguo por la gran potencia calorífica de su cepa. También fue usada su corteza como curtiente y más recientemente para ramoneo del ganado doméstico. Las tejedas han sido eliminadas por ser una planta tóxica para el ganado equino; también el ramoneo constante de rumiantes y el alto grado de aprecio de su madera ha contribuido a la disminución de su presencia en la Península Ibérica. En la actualidad, los cambios en el uso del suelo y la presión urbanística (urbanizaciones turísticas, campos de golf) son amenazas importantes en las poblaciones de *Pinus halepensis* y *Pinus pinea* del litoral, y en la reducida extensión ocupada por *Tetraclinis articulata*.

Incendios

El fuego es un elemento permanente de los ecosistemas del mundo mediterráneo. Muestra de ello son las importantes adaptaciones que presentan especies como el pino canario, que rebrota tras el fuego, o el pino negral, que presenta conos serotinos, precocidad de floración y fuertes cortezas en las regiones de procedencia más afectadas por incendios forestales. A pesar de ello, los incendios reiterados, generalmente de origen antrópico, impiden la regeneración natural de la cobertura arbórea. Este hecho se ve agravado por el tipo de estructura forestal actual que produce incendios de gran intensidad y por la impor-

tancia de la sequía en condiciones mediterráneas. Por otra parte, hay especies de coníferas no adaptadas a los incendios de gran intensidad, como el pino salgareño, que se ven desplazadas por otras especies mejor adaptadas, como *Pinus pinaster* (Barbero y Quézel, 1988; Tapias *et al.*, 2000), y poblaciones fuertemente amenazadas por la incidencia repetida de incendios forestales (p. ej.: tejedas del norte de León y Zamora). La magnitud que ha adquirido el problema de los incendios en los países de clima mediterráneo los ha convertido en la mayor amenaza de las áreas forestales (Vélez, 1995).

Cambio climático

El cambio climático previsto en los próximos años afectará al rango de distribución de las especies. Se prevé que las poblaciones de la alta montaña mediterránea y las áreas más secas del Sureste y Sur Peninsular se vean fuertemente afectadas. En el primer seminario sobre deterioro de los montes y cambio climático organizado por la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF) en 1995 se puso de manifiesto la pérdida de calidad de las masas forestales en las últimas décadas, así como la necesidad de establecer estrategias que permitan amortiguar las graves consecuencias en la vegetación derivadas del cambio climático. Ante las previsibles nuevas situaciones climáticas se debe tener muy presente la diversidad genética en el uso del material de reproducción. En este contexto, *Pinus halepensis* se considera una especie de gran importancia, pues gracias a su versatilidad (amplitud fitoclimática, escasas exigencias edafológicas) respondería mejor a largo plazo que otras especies (Cámara, 1998).

Contaminación genética

La magnitud del flujo genético entre repoblaciones y masas naturales, y los factores que influyen en esta magnitud son de gran importancia en la conservación de recursos genéticos. Cantidades reducidas de flujo genético pueden producir cambios importantes en la composición genética de las poblaciones naturales y en su potencial adaptativo (Adams y Burczyk, 2000). Este efecto es especialmente importante en poblaciones con bajo número efectivo poblacional (poblaciones de pequeño tamaño o aquellas con problemas de regeneración). Poblaciones de gran interés botánico amenazadas por repoblaciones de origen desconocido son, por ejemplo, el pino negral en Fuencaliente (Ciudad Real) o el pino silvestre en el Trevenque (Sierras Penibéticas).

Las amenazas indicadas en los apartados anteriores son especialmente relevantes en las procedencias de área restringida y en las poblaciones relícticas, donde la posibilidad de pérdida del recurso genético es máxima debido a sus condiciones intrínsecas:

- Localización en los bordes geográficos de la distribución natural de las especies.
- Extensión reducida y, por tanto, mayor probabilidad de pérdida de variación por deriva genética y mayor efecto de las perturbaciones naturales o provocadas por la actuación humana.
- Condiciones ecológicas extremas.

Un ejemplo de masas relícticas gravemente amenazadas son las poblaciones de *Pinus nigra* descritas en Andalucía Oriental, consideradas en vías de extinción (edad avanzada, escasa regeneración). La necesidad de preservar el patrimonio genético de estos enclaves es urgente (Alejano y Martínez, 1996).



Foto 3.—Población marginal de *Pino negral* en Fuencaliente (Ciudad Real). A pesar del bajo número poblacional no existe una resolución importante de diversidad genética
Marginal population of Maritime pine at Fuencaliente (Ciudad Real). In spite of a low population number there is not an important reduction of genetic diversity



Foto 4.—Población relictica de *Pino silvestre* en Trevenque (Sierras Penibéticas) cercana a plantaciones de origen no controlado
Relictic population of Surs pine at Trevenque (Sierras Penibéticas) close to plantations of non-controlled origen

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Para que una estrategia de conservación de recursos genéticos sea realmente efectiva debe estar especialmente diseñada para cumplir dicho objetivo. En general, ni los trabajos de gestión forestal, ni el diseño de los espacios naturales protegidos actuales tienen en cuenta la información genética. El objetivo de una estrategia de conservación es el mantenimiento de la variabilidad intraespecífica existente dentro del área de distribución de la especie, lo cual implica (Turok *et al.*, 1995):

- Conservar las poblaciones representativas en todas las regiones ecogeográficas.
- Conservar las poblaciones marginales.
- Conservar las poblaciones amenazadas.
- Salvar la variación genética aún desconocida.
- Conservar la diversidad genética caracterizada para aumentar la mejora genética.
- Asegurar una suficiente variación en el material de reproducción.
- Conservar poblaciones de referencia para futuras investigaciones.

Como ya se ha descrito en los puntos anteriores, existen importantes diferencias entre las especies de coníferas que habitan la Península Ibérica y también es diferente el nivel de conocimiento existente dentro de ellas. No obstante, y por facilidad de aplicación del programa sí pueden establecerse unos criterios similares, aunque varíen las características de las unidades de conservación a establecer, en función de la especie y de la situación de sus poblaciones. Las primeras directrices para iniciar un programa de conservación de recursos genéticos de coníferas en España están establecidas para el género *Pinus* (Alía *et al.*, 1999), con actuaciones concretas para las cinco especies de mayor distribución (*Pinus halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea* y *P. sylvestris*). A escala europea, las directrices básicas de conservación se han definido para *Picea abies* en un manual técnico de gran interés para su adaptación a otras especies de coníferas (Koski *et al.*, 1997).

Conservación *in situ* de coníferas

La unidad de conservación genética *in situ*, es decir, el *rodal de conservación genética* se define como un rodal autóctono, en buen estado de conservación, preferiblemente con estructura irregular y que puede estar constituido por una mezcla de especies (Koski *et al.*, 1997). El tamaño mínimo de una población necesario para asegurar la inclusión de la mayor parte de su variabilidad genética, y el mantenimiento de su potencial adaptativo, es controvertido. Frankel *et al.* (1995) consideran suficiente reservas de 500 individuos, mientras que Adams y Burczyk (2000) sugieren un número entre 1.500 y 20.000 árboles, para asegurar un suficiente tamaño efectivo poblacional (es decir, un número suficiente de árboles reproductores). Dado que la variación entre poblaciones de la misma especie es notable, una red de reservas de pequeño tamaño es preferible que una sola reserva de gran tamaño (National Research Council, 1991).

A escala nacional, los *rodales de conservación genética* se pueden seleccionar a partir del Catálogo Nacional de Materiales de Base. En cada región de procedencia o de procedencia de área restringida se elegirán fuentes semilleras o rodales selectos, de acuerdo con las condiciones antes indicadas. Los rodales selectos, por los criterios de selección, representarán a las procedencias de mejor calidad de la especie; generalmente, en el caso

de los pinos, serán rodales puros y con estructura regular. Obviamente no servirán para los objetivos de conservación los rodales temporales, definidos en el momento de la corta final de madera. El conjunto de unidades elegido abarcará las diferentes situaciones de estructura de masa y composición. Además de la unidad anterior se definirán los *sistemas forestales de conservación genética*. La existencia de gran cantidad de masas mixtas en nuestra superficie forestal queda patente en los datos ofrecidos por el 2.º Inventario Forestal Nacional 1986-1996 (Tabla 12).

TABLA 12
MASAS MIXTAS DE CONÍFERAS EN ESPAÑA
Mixed stands of conifers in Spain

Especies	Superficie ⁽¹⁾ (ha)
<i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus uncinata</i>	68.406
<i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus nigra</i>	616.246
<i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus pinaster</i>	85.675
<i>Pinus sylvestris</i> y frondosas	168.739
<i>Pinus pinea</i> y <i>Pinus pinaster</i>	170.713
<i>Pinus pinea</i> y frondosas	130.230
<i>Pinus halepensis</i> y <i>Pinus nigra</i>	229.679
<i>Pinus halepensis</i> y <i>Pinus pinaster</i>	183.185
<i>Pinus halepensis</i> y <i>Quercus ilex</i>	84.848
<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus pinaster</i>	159.607
<i>Pinus radiata</i> y <i>Pinus pinaster</i> cantábrico	140.699
<i>Pinus pinaster</i> y <i>Eucalyptus</i> ssp. cantábricos	345.330
<i>Juniperus thurifera</i> y <i>Quercus ilex</i>	124.156
Otras mezclas de coníferas y frondosas	622.090

(1) Según el 2.º Inventario Forestal Nacional (1986-1996).

(1) Following the 2nd National Forest Inventory (1986-1996).

Por otro lado, la conservación *in situ* de recursos genéticos debe tener en cuenta la dinámica de las especies, lo que incluye diferentes estados progresivos o regresivos en una determinada formación. De ambos conceptos, masas mixtas y dinamismo de las formaciones forestales, surgen los *sistemas forestales de conservación genética*. Estos sistemas forestales basan su interés en la existencia de discontinuidades o de un gradiente ecológico con la suficiente amplitud para permitir la existencia de varias especies, y donde se pueden definir tanto rodales monoespecíficos como mixtos; que van desde el dominio de una especie hasta su desaparición por predominio otra, pasando por situaciones intermedias. Como ejemplos entre las coníferas están los sistemas forestales en los que conectan y se hibridan *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*, o los representados en la Sierra de Gudar, donde con un gradiente altitudinal de escasamente mil metros, se encuentran manifestaciones naturales de prácticamente todas las especies de pinos ibéricos, a excepción de *Pinus pinea*. Los *sistemas forestales de conservación genética* son viables en zonas de gran riqueza forestal y que estén poco alterados. Estos ambientes no son difíciles de encontrar tanto

en la España peninsular como en la insular, dada la compleja orografía del país y la gran variedad ecológica existente.

El manejo de estas reservas genéticas implica una serie de medidas de gestión, entre las que destacan:

- La protección efectiva de los rodales ante las amenazas indicadas en el apartado anterior (incendios forestales, acción antrópica, contaminación genética).
- La realización de una silvicultura de conservación de la biodiversidad, que incluye, por ejemplo, la obtención de regeneración natural sin selección fenotípica de los árboles padre (Adams *et al.*, 1998).
- La gestión para la conservación de las especies acompañantes, puesto que la conservación genética implica la conservación integral del sistema forestal.

Dentro de este esquema general, los trabajos más importantes a realizar en los próximos años con los géneros y especies considerados serán:

- Definir los *sistemas forestales de conservación genética* en el ámbito nacional en aquellas áreas que presenten mayor diversidad en las especies consideradas.
- La evaluación de la incidencia del flujo genético en las poblaciones naturales de coníferas, y el posible impacto en los *rodales y sistemas forestales de conservación genética*.
- Definir las fuentes semilleras y rodales selectos para las especies del género *Abies*, en cumplimiento de la legislación de comercialización del material forestal de reproducción.
- Completar el Catálogo de Materiales de Base de *Pinus canariensis*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea* y *P. sylvestris*, e iniciar el de *Pinus uncinata*.
- Para el género *Juniperus* se ha de elaborar una lista de montes que abarque la máxima variación ecogeográfica incluida en las *regiones para la identificación y utilización del material forestal de reproducción*. Las condiciones de los *rodales de conservación genética* se fijarán una vez realizado este inventario.
- En la población fragmentada de *Tetraclinis articulata* de la Sierra de Cartagena se han de seleccionar las áreas con mejor estado de conservación de los pies para su protección y estudio. Por otra parte se ha de caracterizar el origen de las repoblaciones mencionadas.
- El tejo aparece, normalmente, formando parte de diferentes bosques. Se ha de poner especial atención en que los *rodales de conservación genética* elegidos en los diferentes sistemas forestales incluyan esta especie.
- Los trabajos han de iniciarse, en primer lugar, en las procedencias de área restringida y en las poblaciones relicticas, donde el nivel de amenaza es mayor, y han de tenerse en cuenta las consideraciones sobre el cambio climático, en especial el *Mapa actual del cambio* (Allúe, 1995).

Conservación *ex situ* de coníferas

Conservación ex situ en poblaciones

El fin de este tipo de conservación es el de mantener y aumentar la futura adaptabilidad de las poblaciones. El recurso genético está fuera de su ambiente original o son plan-

taciones en buen estado de las que no se conoce su origen. En nuestro país se puede aplicar este tipo de conservación en tres situaciones diferentes:

- Repoblaciones de coníferas de gran valor y/o gran calidad, bien adaptadas y que sean interesantes, desde el punto de vista productivo o protector. Es el caso, por ejemplo, de las repoblaciones de *Pinus halepensis* de Sierra Espuña en Murcia.
- Poblaciones en peligro que estén fuera de su ámbito ecológico como, por ejemplo, las poblaciones de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* del Valle del Río Cega (Meseta Norte).
- Ensayos de procedencia. El caso más claro es el ensayo internacional de procedencias de *Abies alba* y *A. nordmanniana*, instalado en 1987 en Aragües del Puerto (Huesca), que incluye 26 procedencias, una de ellas española (Padrón y Stephan, 1992), y cuyo objetivo principal es la conservación *ex situ* de poblaciones centroeuropeas de *A. alba* afectadas por la contaminación.

Conservación ex situ en huertos semilleros y colecciones de clones

En este caso se incluiría la red de huertos semilleros y del género *Pinus* (Alía *et al.*, 1999), que cumple el doble objetivo de producción de semilla de calidad y de conservación de recursos genéticos. Asimismo se considerarían los bancos clonales de *Pinus pinea*, *Pinus pinaster* y *Taxus baccata*.

Dentro de este método de conservación cabría la instalación de un huerto semillero de *Pinus sylvestris* de la procedencia de las Sierras Penibéticas, y en concreto de la población de Trevenque. Es el caso también de las poblaciones relicticas de *P. nigra* en Andalucía: unas situadas dentro de repoblaciones (como en la Sierra de Filabres y en Trevenque), otras con un escaso número de pies y ausencia de regeneración (como en la Sierra de La Almirajara). La instalación de un huerto semillero que incluya estas poblaciones y que, de forma simultánea a la conservación del recurso, produjera semilla para su uso en repoblaciones, es de gran interés.

Conservación ex situ en bancos de genes

El objetivo de este método de conservación es asegurar la disponibilidad de material genético en diferentes localidades y períodos de tiempo para la regeneración de las unidades de conservación (*in situ* y *ex situ*), y para proveer a los trabajos de mejora y evaluación de material de reproducción. De entre las diferentes posibilidades técnicas (conservación de semilla, de polen, de tejidos), actualmente la propuesta más adecuada en aquellas especies de coníferas donde la semilla se conserva a largo plazo es el banco de semillas. Se ha iniciado la instalación de un banco de semillas en el Centro Nacional de Mejora Genética Forestal de El Serranillo (Guadalajara), con el material genético obtenido de las poblaciones más amenazadas de las especies *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus uncinata*. La metodología seguida ha sido descrita para *Pinus pinaster* en Martín *et al.* (1997), y puede aplicarse, con pequeñas modificaciones, a todo el género. El número de zonas inventariadas de cada especie en las que se ha recolectado semilla se presenta en la Tabla 13.

TABLA 13
BANCO DE SEMILLAS DEL GÉNERO *PINUS* EN ESPAÑA
Seed bank of genus Pinus in Spain

Especies	N.º de poblaciones
<i>Pinus halepensis</i>	1
<i>Pinus nigra</i>	10
<i>Pinus pinaster</i>	22
<i>Pinus sylvestris</i>	7
<i>Pinus uncinata</i>	1

En cuanto a la conservación a largo plazo, la crioconservación (almacenaje a temperaturas ultrabajas, menores de 130 °C) puede ser un método eficaz para la conservación de especies de *Pinus* y *Abies*, no sólo por no afectar a la viabilidad de las semillas, sino por no tener un efecto negativo sobre el desarrollo de la plántula (Pita *et al.*, 1998).

CONEXIÓN CON LA ESTRATEGIA FORESTAL ESPAÑOLA Y LA ESTRATEGIA ESPAÑOLA PARA LA CONSERVACIÓN Y EL USO SOSTENIBLE DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

En la actualidad existen dos estrategias nacionales que pueden relacionarse con la conservación de recursos genéticos forestales, la Estrategia Forestal Española (DGCN, 2000a) y la Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (DGCN, 2000b). Dichos documentos incluyen referencias explícitas a la conservación de la variabilidad genética intra e interpoblacional.

Estrategia Forestal Española

La Estrategia Forestal Española establece instrumentos al servicio de la planificación para el desarrollo de una política forestal y acomete una serie de acciones sectoriales. Dentro de estas acciones crea la *Red de Mejora y Conservación de los Recursos Genéticos Forestales*. Los objetivos básicos de la red se establecen en el marco de la resolución S2 de la Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa celebrada en Estrasburgo en 1990 y del Convenio sobre Biodiversidad de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992. Su principal objetivo es la inventariación y conservación del acervo genético para las generaciones futuras. Dicho objetivo se cumplirá a través de un Comité mixto entre la Administración General del Estado (representada por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza) y los representantes de las Comunidades Autónomas.

Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica

La Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica considera entre sus principios orientadores para conservar la biodiversidad «la potenciación del conocimiento y estudio de todos sus ámbitos: genético, de poblaciones, de organismos, de hábitats y de ecosistemas». Uno de los instrumentos de la puesta en práctica de la estrategia es el *Inventario de Hábitats de la Unión Europea*, ligado a la puesta en práctica de la Directiva 92/43/CEE sobre conservación de hábitats naturales y de la flora y fauna silvestres. El objetivo principal de la directiva es favorecer el mantenimiento de la biodiversidad (a través de la conservación de hábitats y no de elementos aislados) y, por tanto, es el instrumento más importante de conservación de la naturaleza de que dispone la Unión Europea (Orella *et al.*, 1998). Dicho inventario incluye gran parte de los sistemas forestales de coníferas considerados en este trabajo ya sea de forma directa (Cuadro 3; European Commission, 1999) o incluidos en otros tipos de hábitats donde la especie de conífera no es el objetivo principal de conservación (p. ej.: pinares de *Pinus sylvestris* con estrato arbustivo de *Cytisus purgans*). La Red Natura 2000 de espacios protegidos es el mecanismo obligatorio que establece la directiva para la conservación de una representación suficiente de los hábitats inventariados. España ha presentado ante la Unión Europea la lista provisional de espacios propuestos para la futura Red Natura 2000, y el porcentaje de territorio que supone su conjunto se aproxima al 15 %, cifra que coincide con el óptimo estimado por el proyecto Biotopos/Corine.

CUADRO 3

HÁBITATS DE CONÍFERAS INCLUIDOS EN LA DIRECTIVA 92/43/CEE EN ESPAÑA

Conifer habitats included in the Directive 92/43/CEE in Spain

-
- | | |
|-------|--|
| B. | Dunas marítimas y continentales. |
| B2. | Dunas marítimas de las costas mediterráneas. |
| 2250. | Dunas costeras con <i>Juniperus</i> spp.* |
| 2270. | Dunas costeras con <i>Pinus pinea</i> , <i>P. pinaster</i> y <i>P. halepensis</i> . Incluye plantaciones antiguas dentro del rango de distribución de la especie.* |
| E. | Matorrales esclerófilos. |
| E2. | Matorral arborescente mediterráneo. |
| 5210. | Fruticedas y arboledas de <i>Juniperus</i> spp. |
| I. | Bosques. |
| I4. | Bosques subalpinos de coníferas. |
| 9430. | Bosques de <i>Pinus uncinata</i> .* |
| I5. | Bosques de coníferas mediterráneos y macaronésicos. |
| 9520. | Abetales de <i>Abies pinsapo</i> . |
| 9530. | Pinares mediterráneos de pino laricio (<i>Pinus nigra salzmannii</i>). |
| 9540. | Pinares mediterráneos mesófilos de pinos nativos (<i>Pinus pinaster</i> , <i>P. pinea</i> , <i>P. halepensis</i>). Incluye plantaciones antiguas dentro del rango de distribución de la especie. |
| 9550. | Pinares macaronésicos de <i>Pinus canariensis</i> . |
| 9560. | Bosques endémicos de <i>Juniperus</i> spp.* |
| 9570. | Bosques de <i>Tetraclinis articulata</i> .* |
| 9580. | Bosques mediterráneos de <i>Taxus baccata</i> .* |
-

* Hábitats considerados prioritarios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa discusión y las sugerencias ofrecidas por Luis Gil y Ricardo Alía. Los datos novedosos sobre la variación genética del *Pinus nigra* y *Pinus pinea* obtenidos dentro del Proyecto FO-96 011. El trabajo de Santiago C. González Martínez está financiado por una beca predoctoral del Personal Investigador del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

SUMMARY

Conservation of genetic resources of conifers in Spain

In the framework of biodiversity conservation, the inventory and conservation of forest genetics resources is a priority. In this work, the information available about quantitative and molecular variation in the species of genus *Pinus*, *Abies*, *Juniperus*, *Tetraclinis* and *Taxus* occurring in Spain is reviewed. In addition, the state of the on-going inventory and conservation of genetic resources is described (provenance areas, seed sources, seed orchards, clonal banks and seed banks, mainly). Ecology of the species, specific threats and the political framework are taking into account in the development of conservation strategies of forest genetic resources. *In situ* conservation both of pure stands and complex forest systems for all conifer species, *ex situ* conservation of the species of the genus *Pinus* in seed banks, and the importance of plantations, are highlighted.

KEY WORDS: Conservation
Genetic resources
Conifers
Spain

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS W.T., BURCZYK J., 2000. Magnitude and implications of gene flow in Gene Conservation Reserves. In: Forest Conservation Genetics: Principles and Practice. Boyle, T., Booshier, D., Young, A., eds. CSIRO, Australia, 215-224 pp.
- ADAMS W.T., ZUO J., SHIMIZU J.Y., TAPPEINER J.C., 1998. Impact of alternative regeneration methods on genetic diversity in coastal Douglas-fir. Forest Science, 44(3), 390-396.
- AGENCIA PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LA NATURALEZA DE LA REGIÓN DE MURCIA, 1989. Densidad, estructura poblacional y áreas potenciales para la expansión de la sabina mora (*Tetraclinis articulata*) en el litoral de la región de Murcia. Inédito, 252 pp.
- AGUILERA S., GIL M., LÓPEZ J., PULIDO A., 1997. Situación actual del tejo en la Sierra Tejeda-Almijara. I Jornadas técnicas sobre el tejo (*Taxus baccata* L.) y la Sierra Tejeda, Excmo. Ayuntamiento de Sedella, 51-56.
- AGUINAGALDE I., BUENO M.A., 1994. Morphometric and electrophoretic analysis of two populations of european black pine (*Pinus nigra* Arn.). Silvae Genetica, 43(4), 195-199.
- AGÚNDEZ D., ALÍA R., STEPHAN R., GIL L., PARDOS J.A., 1994. Ensayo de procedencias españolas y alemanas de *Pinus sylvestris* L.: comportamiento en vivero y supervivencia en monte. Ecología, 8, 245-275.
- AGÚNDEZ D., ALÍA R., 1997. Estudio de la variación morfológica de *Pinus halepensis* Mill. I Congreso Forestal Hispano Luso, Actas Mesa 3, 27-32.
- AGÚNDEZ D., DEGEN B., VON WUEHLISCH G., ALÍA R., 1997. Genetic variation of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller) in Spain. Forest Genetics, 4(4), 201-209.
- AGÚNDEZ D., DEGEN B., VON WUEHLISCH G., ALÍA R., 1999. Multilocus analysis of *Pinus halepensis* Miller from Spain: genetic diversity and clinal variation. Silvae Genetica, 48(3/4), 173-178.
- ALEJANO R., MARTÍNEZ E., 1996. Distribución de *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* en las Sierras Béticas. Ecología, 10, 231-241.

- ALÍA R., AGÚNDEZ D., NOTIVOL E., 1998. Annual rhythm height growth variation in Scots pine provenances. Proceedings of Scots pine breeding and Genetics Congress. Lithuania.
- ALÍA R., GALERA R., MARTÍN S., AGÚNDEZ D., DE MIGUEL J., IGLESIAS S., 1999. Mejora genética y masas productoras de semilla de los pinares españoles. Monografías INIA: Forestal núm. 1, 239 pp.
- ALÍA R., GIL L., 1992. Ritmo anual de crecimiento en circunferencia de quince procedencias de *Pinus pinaster* Ait. Montes, 28, 34-36.
- ALÍA R., GIL L., PARDOS J.A., 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* provenances on 5 locations in Central Spain. *Silvae Genetica*, 44(2/3), 75-81.
- ALÍA R., MARTÍN S., DE MIGUEL J., GALERA R., AGÚNDEZ D., GORDO J., CATALÁN G., GIL L., 1996. Las regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Ait. OA de Parques Nacionales, DGCONA, 75 pp.
- ALÍA R., MORO J., 1996. Comportamiento de procedencias de *Pinus pinaster* en el Centro de España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 5(1), 57-75.
- ALÍA R., MORO J., DENIS J.B., 1997. Performance of *Pinus pinaster* Ait. provenances in Spain: interpretation of the genotype-environment interaction. *Can. J. For. Res.*, 27(10), 1548-1559.
- ALLUE J.L., 1995. El cambio climático y los montes españoles. Cuadernos de la SECF, 2, 35-64.
- AMARO J.A., PARDOS M., AGÚNDEZ D., ALÍA R., 2000. Comportamiento de procedencias de *Pinus pinea* L. en cámara climática durante el primer año de crecimiento. I Simposio del Pino Piñonero, Actas Tomo II, 47-54.
- ARISTA M., TALAVERA S., 1994. Pollen dispersal and pollen viability of *Abies pinsapo* Boiss. *Silvae Genetica*, 43(2/3), 155-158.
- BARBÉRO M., QUÉZEL P., 1988. Signification phytoécologique et phytosociologique des peuplements naturels de Pin de Salzman en France. *Ecologia mediterranea*, 14, 41-63.
- CÁMARA A., 1998. Comportamiento y posibles aplicaciones de *Pinus halepensis* Mill en España, frente al cambio climático. Cuadernos de la SECF, 7, 51-60.
- CATALÁN G., GIL L., GALERA R., MARTÍN S., AGÚNDEZ D., ALÍA R., 1991. Regiones de procedencia de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco en España. ICONA, 31 pp.
- CATALÁN G., PARDOS J.A., 1983. Genetics of the «Pinsapo» *Ann. Forest.*, 9(6), 185-208.
- CLIMENT J., GIL L., DE TUERO M., 1996. Regiones de procedencia de *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC. ICONA, 49 pp.
- COSTA M., MORLA C., SAINZ H. (eds), 1997. Los bosques ibéricos. Ed. Planeta, 572 pp.
- DGCN, 2000a. Estrategia Forestal Española. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, 240 pp.
- DGCN, 2000b. Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, 160 pp.
- ELLSTRAND N.C., ELAM D.R., 1993. Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 24, 217-242.
- ENNOS R.A., 1994. Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity*, 72, 250-259.
- ERIKSSON G., NAMKOONG G., ROBERDS J.H., 1992. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management*, 62, 15-37.
- EUROPEAN COMMISSION, 1999. Interpretation Manual of European Union habitats, EUR15. DGXI, European Commission, 109 pp.
- FADY B., POMMERY J., 1998. Adaptation et diversité génétique des sapins méditerranéens: bilan des tests de provenance de sapins de Céphalonie dans le sud de la France et perspectives en matière d'hybridation. *Forêt Méditerranéenne*, XIX(2), 117-123.
- GARCIA DEL BARRIO J.M., DE MIGUEL J., IGLESIAS S., 2000. Regiones de identificación y utilización del material forestal de reproducción. OA Parques Nacionales. DGCN, en prensa.
- GARCIA F.J., PASCUAL L., PERFECTTI F., 1993. Diferenciación a nivel subespecífico de las poblaciones marroquíes de *Abies pinsapo* Boiss. mediante un estudio enzimático. Congreso Forestal Español, Tomo II, 195-199.
- GIL L., 1999. La transformación histórica del paisaje: la permanencia y la extinción local del Pino piñonero. En: Los montes y su historia. Una perspectiva política, económica y social. Marín F., Domingo J., Calzado A., eds., Universidad de Huelva, Huelva, pp. 151-185.

- GIL L., DÍAZ-FERNÁNDEZ P., JÍMEZ M.P., ROLDÁN M., ALÍA R., AGÚNDEZ D., DE MIGUEL J., MARTÍN S., DE TUERO M., 1996. Las regiones de procedencia de *Pinus halepensis* Mill. OA de Parques Nacionales, DGCN, 113 pp.
- GÓMEZ A., 1998. Análisis de la variabilidad genética mediante marcadores de ADN en poblaciones españolas de *Pinus halepensis* Mill. Universidad Politécnica de Madrid, 162 pp.
- GÓMEZ A., AGUIRIANO E., BUENO M.A., ALÍA R., 2000. Microsatélites del cloroplasto en *P. pinea* L. I Simposio del Pino Piñonero, Actas Tomo II, 39-46.
- GONZÁLEZ MARTÍNEZ S.C., AGÚNDEZ D., ALÍA R., SALVADOR L., GIL L., 2000. Geographical variation of gene diversity of *Pinus pinaster* Ait. in the Iberian Peninsula. En: Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions. Müller-Stark, G., ed. Kluwer Academic Press, Dordrecht, en prensa.
- HATTEMER H.H., 1995. Concepts and requirements in the conservation of forest genetic resources. Forest Genetics, 2(3), 125-134.
- IGLESIAS DÍAZ M.I., SOTO J., CABEZAL L.M., 1997. Propagación por estaquillado y análisis del contenido en Deacetilbaccatina III en poblaciones naturales y cultivadas de tejo (*Taxus baccata* L.) en Galicia. I Congreso Forestal Hispano Luso. Actas Mesa 3, 319-324.
- IGLESIAS SAUCE S., VEGA G., RODRÍGUEZ A., MOO C., 1997. Biodiversidad de *Taxus baccata*. Creación de bancos clonales de preservación genética. I Congreso Forestal Hispano Luso, Actas Mesa 3, 325-330.
- KLAUS W., 1988. Mediterranean pines and their history. Plant Systems and Evolution, 162, 133-163.
- KOROL L., GIL L., CLIMENT J., ZEHAVID A., SCHILLER G., 1999. Canary islands pine (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.). 2. Gene flow among native populations. Forest Genetics, 6(4), 277-282.
- KOSKI V., SKROPPA T., PAULE L., WOLF H., TUROK J., 1997. Technical guidelines for genetic conservation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). IPGRI, Rome, 41 pp.
- LEDIG F.T., 1998. Genetic variation in *Pinus*. En: Ecology and biogeography of *Pinus*. Richardson, D.M., ed. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 251-280.
- LESICA P., ALLENDORF F.W., 1995. When are peripheral populations valuable for conservation? Conserv. Biol., 9(4), 753-760.
- LEWANDOWSKI A., BURCYK J., MEJNARTOWICZ L., 1995. Genetic structure of English yew (*Taxus baccata* L.) in the Wierchlas Reserve: implications for genetic conservation. Forest Ecology and Management, 73, 221-227.
- LÓPEZ G., AMARAL J., 1986. XXVIII. Pinaceae, XXIX. Cupressaceae, XXX. Taxaceae. En: Flora Ibérica vol. I. Castroviejo, S., ed. CSIC, Madrid, pp. 163-190.
- LÓPEZ-PORCILLO J., LÓPEZ J., CATALINA M.A., GAMARRO R., 1997. Los tejos del Parque Natural «Sierra de las Nieves» I Jornadas técnicas sobre el tejo (*Taxus baccata* L.) y la Sierra Tejeda, Excmo. Ayuntamiento de Sedella, 46-50.
- MANUEL C., GIL L., 1998. La transformación histórica del paisaje forestal en España. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996. DGCN, Madrid.
- MAÑEZ M., COBO D., JIMÉNEZ J., 1997. *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters, en la provincia de Huelva. Anales Jardín Botánico de Madrid, 55(2), 462.
- MARSHALL D.R., BROWN A.H.D., 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. En: Plant genetic resources for today and tomorrow. Frankel, O.H., Hawkes, J.G., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 53-80.
- MARTÍN S., DE TUERO M., GALERA R., RODRÍGUEZ-PENA J.A., 1997. Conservación de recursos genéticos de *Pinus pinaster* Ait. I Congreso Forestal Hispano Luso, Actas Mesa 3, 377-381.
- MARTÍN S., DÍAZ-FERNÁNDEZ P., DE MIGUEL J., 1998. Regiones de procedencia de especies forestales españolas: género *Abies*, *Fagus*, *Pinus* y *Quercus*. OA Parques Nacionales, DGCN, 22 pp.
- MOLINA R.F., 1965. Comportamiento racial del *Pinus pinaster* en el Noroeste de España. Anales IFIE, 2(10), 221-238.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1991. Managing global genetic resources: forest trees. National Academic Press, Washington, D.C., 228 pp.
- NAVARRO R.M., PULIDO A., AGUILAR P., GIL M., AGUILERA S., LÓPEZ J., DE LA TORRE J., 1998. Avances en el programa de recuperación del tejo (*Taxus baccata* L.) en la Sierra Tejeda y Almirajara-Axarquía. II Jornadas técnicas sobre el tejo (*Taxus baccata* L.) y la Sierra Tejeda, Excmo. Ayuntamiento de Sedella, 41-57.

- NOTIVOL E., ALÍA R., 1996. Variation and adaptation of *Pinus sylvestris* provenances in Spain. Proceedings of the IUFRO Meeting «Diversity and adaptation in Forest Ecosystem in a Changing World».
- NOTIVOL E., GIL L., PARDOS J.A., 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 1(1), 41-47.
- ORELLA J.C., SIMÓN J.C., VAQUERO J., CUADRADO A., MATILLA B., GARZO M.A., SÁNCHEZ E., 1998. La lista nacional de lugares de la Directiva Hábitats 92/43/CEE. Metodología y proceso de elaboración. Ecología, 12, 3-65.
- ORIA DE RUEDA J.A., 1998. Las tejedas en Castilla y León. Situación actual, conservación y manejo. II Jornadas técnicas sobre el tejo (*Taxus baccata* L.) y la Sierra Tejada, Excmo. Ayuntamiento de Sedella, 18-26.
- PADRÓ A., STEPHAN B.R., 1992. Conservación genética del abeto común centroeuropeo en el Pirineo Español. Montes, 27, 33-38.
- PARDO F., GIL L., 1997. La transformación del paisaje en la Sierra Pobre de Madrid. Influencia de la agricultura y ganadería en la extinción local de los pinares. Estudios Geográficos, LVII (228), 398-423.
- PARDOS J.A., LANGE W., WEISSMANN G., 1990. Morphological and chemical aspects of *Pinus sylvestris* L. from Spain. Holzforschung, 44, 143-146.
- PASCUAL L., GARCIA F.J., PERFECTTI F., 1993. Estudio de la variabilidad genética en poblaciones de pin-sapo (*Abies pinsapo* Boiss). Evaluación de los recursos genéticos. Congreso Forestal Español, Tomo II, 201-205.
- PETIT R.J., EL MOUSADIK A., PONS O., 1998. Identifying populations for conservation on the basis of genetic markers. Conserv. Biol., 12(4), 1-13.
- PITA J.M., SANZ V., ESCUDERO A., 1998. Seed cryopreservation of seven Spanish native pine species. Silvae Genetica, 47(4), 220-223.
- PRADA M.A., GORDO J., DE MIGUEL J., MUTKE S., CATALÁN G., IGLESIAS S., GIL L., 1997. Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. OA de Parques Nacionales, DGCN, Madrid.
- PRUS-GLOWACKI W., STEPHAN B.R., 1994. Genetic variation of *Pinus sylvestris* from Spain in relation to other european populations. Silvae Genetica, 43(1), 7-14.
- PULIDO A., LÓPEZ J., 2000. *Pinus nigra* (Pinaceae) en la Sierra de Nerja: localidad más meridional de la Península Ibérica y primera cita para Málaga. Anales Jardín Botánico de Madrid, 57(2), 400.
- QUEZEL P., 1998. Diversité et répartition des sapins sur le pourtour méditerranéen. Forêt Méditerranéenne, XIX(2), 93-104.
- RIBEIRO M.M., PLOMION C., PETIT R.J., VENDRAMIN G.G., SZMIDT A.E., 2000. Variation in chloroplast single-sequence repeats in Portuguese maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Theoretical and Applied Genetics, en prensa.
- ROMAN-AMAT B., 1984. Contribution a l'exploration et a la valorisation de la variabilité intraspécifique et individuelle du pin laricio de corse, *Pinus nigra* Arn. ssp. *laricio* var. *corsicana* Loud. Université de Paris-Sud, 144 pp.
- SADA B., GORDO J., MUTKE S., IGLESIAS S., DEL CAÑO F., GIL L., 2000. Estudio y seguimiento de una parcela de ensayo de procedencias de *Pinus pinea* L. en Tordesillas (Valladolid). I Simposio del Pino Piñonero, Actas Tomo II, 55-63.
- SALVADOR L., ALÍA R., AGÚNDEZ D., GIL L., 2000. Genetic variation and migration pathways of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in the Iberian Peninsula. Theoretical and Applied Genetics, 100, 89-95.
- SALVADOR L., SEISDEDOS M.T., ALÍA R., GIL L., 1997. Estudio de la variabilidad genética en doce poblaciones naturales de *Pinus pinaster* Ait. con marcadores isoenzimáticos. Cuadernos de la SECF, 5, 119-124.
- SCHILLER G., KOROL L., UNGAR E.D., ZEHAVID A., GIL L., CLIMENT J., 1999. Canary islands pine (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.). 1. Differentiation among native populations in their isoenzymes. Forest Genetics, 6(4), 257-276.
- SIERRA DE GRADO R., DÍEZ BARRA R., ALÍA R., 1999. Evaluación de la rectitud de fuste en seis procedencias de *Pinus pinaster* Ait. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 8(2), 263-278.
- SIMÓN J.A. (Coord.), 1996. Manual de la flora para la restauración de áreas críticas y diversificación en masas forestales. Junta de Andalucía, 208 pp.
- SINCLAIR W.T., MORMAN J.D., ENNOS R.A., 1999. The postglacial history of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in western Europe: evidence from mitochondrial DNA variation. Molecular Ecology, 8, 83-88.

- SORANZO N., ALÍA R., PROVAN J., POWELL W., 2000. Patterns of variation at a mitochondrial sequence-tagged-site locus provides new insights into the postglacial history of European *Pinus sylvestris* populations. *Molecular Ecology*, 9, 1205-1211.
- TAPIAS R., GIL L., FUENTES-UTRILLA P., PARDOS J.A., 2000. Canopy seed banks in Mediterranean pines of southeastern Spain. A comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology*, en prensa.
- TUROK J., KOSKI V., PAULE L., FRISON E., 1995. *Picea abies* Network. Report of the first meeting, 16-18 March 1995, Slovakia.
- VELEZ R., 1995. El peligro de incendios forestales derivado de la sequía. *Cuadernos de la SECF*, 2, 99-109.
- VENDRAMIN G.G., ANZIDEI M., MADAGHIELE A., BUCCI G., 1998. Distribution of genetic diversity in *Pinus pinaster* Ait as revealed by chloroplast microsatellites. *Theoretical and Applied Genetics*, 97, 456-463.
- WEINSTEIN A., 1989. Geographic variation and phenology of *Pinus halepensis*, *P. Brutia* and *P. Eldarica* in Israel. *Forest Ecology and Management*, 27, 99-108.
- WILCOX M.D., MILLER J.T., 1975. *Pinus nigra* provenance variation and selection in New Zealand. *Silvae Genetica*, 24(5/6), 132-140.
- WWW-ADENA, 1998. Distribución y estado de conservación de los bosques en España. Informe Técnico, 244 pp.