

Criterios e indicadores genéticos para la gestión Forestal. Aplicaciones a inventarios nacionales y a unidades de gestión forestal

Ricardo Alia, Bruno Fady, Pedro Manuel Diaz-Fernandez, Regina Chambel, Santiago C. González-Martínez, Salustiano Iglesias

▶ **To cite this version:**

Ricardo Alia, Bruno Fady, Pedro Manuel Diaz-Fernandez, Regina Chambel, Santiago C. González-Martínez, et al.. Criterios e indicadores genéticos para la gestión Forestal. Aplicaciones a inventarios nacionales y a unidades de gestión forestal. Foresta, 2013, 56, pp.42-53. hal-02645276

HAL Id: hal-02645276
https://hal.inrae.fr/hal-02645276

Submitted on 29 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Criterios e indicadores genéticos para la gestión Forestal. Aplicaciones a inventarios nacionales y a unidades de gestión forestal

Ricardo Alía[1,2], Bruno Fady[3], Pedro Manuel Díaz-Fernández[4], Regina Chambel[1], Santiago C. González-Martínez[1,2], Salustiano Iglesias[5]

1 INIA. Centro de Investigación Forestal. Dpto. de Ecología y Genética Forestal. Madrid

2 Instituto Mixto de Gestión Forestal Sostenible. INIA-UVA. Madrid

3 INRA. URFM - UR629. Site Agroparc. Aviñón, Francia

4 Facultad de Ciencias y Artes UCAV. Ávila

5 Servicio de Material Genético. MAGRAMA. Madrid

ANTECEDENTES

Tanto políticos como gestores forestales necesitan herramientas que permitan definir, evaluar y monitorizar los progresos periódicos hacia una gestión forestal sostenible para un lapso de tiempo determinado en un país o región o en un área forestal específica (FAO, 2009). Este proceso comenzó en 1992, cuando la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) centró la atención mundial en la importancia de la gestión forestal sostenible como elemento clave del desarrollo sostenible. Como resultado de este encuentro internacional, 144 países adoptaron una declaración no vinculante de Principios sobre los Bosques en la que se reconoció la importancia de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques con el fin de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras. A raíz de la CNUMAD, muchos países comenzaron a considerar cómo podrían medir y seguir su progreso hacia la meta de la sostenibilidad. Estos debates se centraron en la necesidad de establecer de común acuerdo los **criterios e indicadores (C&I)** que proporcionen un marco para la recogida y la evaluación de datos y, en la medida de lo posible, estandarizar la información sobre la gestión forestal a nivel nacional. Distintos procesos han avanzado en la definición de estos C&I, que se han aplicado a tres niveles distintos: **Regional, Nacional y Unidad de Gestión forestal** (Figura 1).

Los criterios definen los elementos esenciales frente a los que se evalúa la sostenibilidad, con una consideración específica a las funciones productivas, protectoras y sociales de los bosques y de los ecosistemas forestales. Cada criterio se relaciona con un elemento importante de la sostenibilidad y puede describirse por uno o más indicadores.

Los indicadores son características que pueden medirse y corresponden a un criterio particular. Su aplicación desde el nivel político al de usuario puede incluir cuatro etapas que incluyen: *definir* los indicadores referidos a criterios ecológicos, económicos y socioculturales; *evaluar* los criterios combinando los indicadores con **verificadores** (estos permiten monitorizar la situación y los cambios de los bosques en términos cuantitativos, cualitativos o descriptivos y reflejan el valor del bosque tal como es visto por aquellos que definen cada criterio); *integrar* la información compleja a distintos niveles; y *comu-*

Los criterios e indicadores estandarizan la información sobre la gestión forestal y definen los elementos esenciales para evaluar la sostenibilidad

nicar esta información a los responsables de las políticas y decisiones (Andersson *et al.*, 2005).

Los indicadores pueden establecerse para medir Respuestas (R, indicadores que miden la aplicación de políticas o acciones parar prevenir o reducir la pérdida de biodiversidad), Presiones (P, indicadores que monitorizan la importancia e intensidad de las causas de la pérdida de biodiversidad que intentan medir las respuestas), Estado (S, indicadores que analizan la condición y el estado de distintos aspectos de la biodiversidad) o Beneficios (B, indicadores que cuantifican los beneficios que los humanos reciben de la biodiversidad) (Sparks *et al.*, 2011).

Dentro del esquema de **criterios e indicadores** se necesita identificar el menor número de C&I necesarios para una evaluación fiable de la gestión forestal sostenible de forma costo-eficiente (Ravi *et al.*, 1999). Los nuevos avances metodológicos y de información en genética forestal van a permitir la inclusión de indicadores más efectivos para evaluar la sostenibilidad. Actualmente, las tecnologías de la información (a través de grandes bases de datos en red) y las tecnologías de genotipado y fenotipado masivo están abriendo la posibilidad de utilizar verificadores genéticos en algunos procesos de monitorización. Hay que señalar que muchas de estas técnicas están desarrolladas de forma incipiente solo para algunas especies, pero se espera que sean aplicadas de forma masiva a una gran cantidad de especies en un futuro cercano como consecuencia del desarrollo de novedosos proyectos de I+D+i a escalas europea y nacional (proyectos LINKTREE, TREES4FUTURE, EVOLTREE, CLONAPIN, ADAPCON, PHENOPIN).

En España, **el Sistema Nacional de evaluación y seguimiento de los recursos genéticos forestales** establecido en la Estrategia Española para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos Forestales -en adelante,

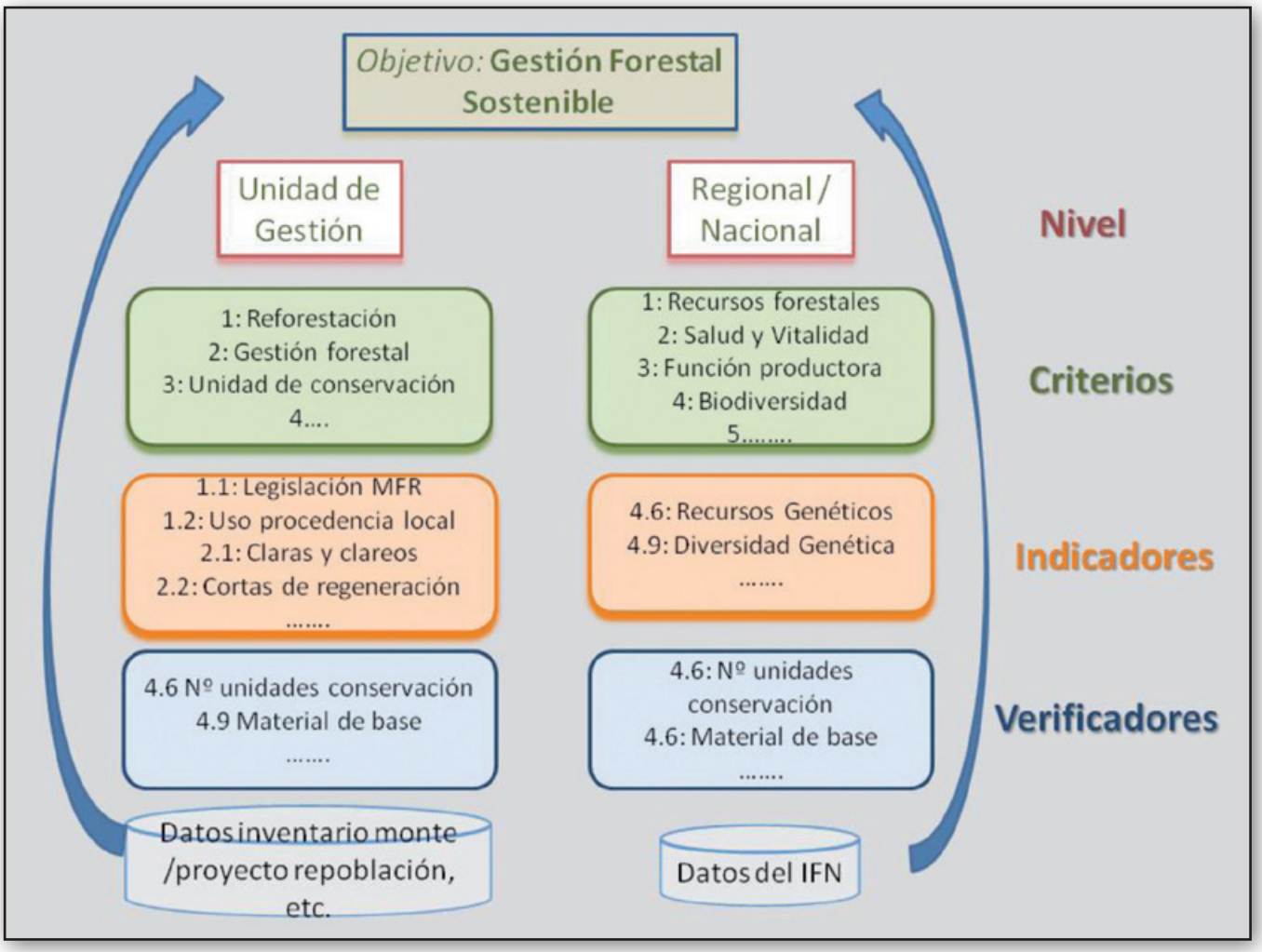


Figura 1. Esquema de C&I a escalas Regional, Nacional y de Unidad de Gestión

Estrategia de recursos genéticos forestales- (MIMAM 2006) contempla entre sus actividades la *Definición de criterios e indicadores a nivel nacional que permitan estimar, a intervalos regulares, cambios en la distribución y la estructura genética de las especies forestales, así como cambios significativos en los procesos que pueden influir en la conservación a largo plazo. Estos indicadores utilizarán información disponible a través de otras iniciativas, como las herramientas para la planificación instauradas por la Estrategia Forestal Española (p. ej., IFN, Mapa Forestal, etc.) completada con datos propios*.

En este trabajo se analizan una serie de propuestas con vistas a su aplicación a tres niveles diferentes: **regional** y **nacional** (que consideramos que han de ser similares) y a escala de **unidad de gestión forestal**. Por otra parte, se realizan una serie de propuestas en relación con la información generada en estos C&I de modo que esta pueda ser incorporada como una dato más a los ya establecidos en un Inventario Forestal Nacional **ampliado**, en el marco de una política forestal que contemple todas las funciones esperables de los bosques. Este *nuevo* Inventario Forestal incluiría una serie de herramientas y parcelas de monitorización de las distintas funciones de los montes (ver Cuadros 1 y 3 posteriormente).

En este sentido, la Estrategia de recursos genéticos forestales (MIMAM, 2006) ya planteaba unos sistemas de monitorización nacionales y la definición de criterios e indicadores para evaluar el estado de la conservación de los recursos genéticos y su uso sostenible, que en esta propuesta se ven más desarrollados.

NIVELES REGIONAL Y NACIONAL

Para los niveles regional y nacional todos los países en los que se aplican se centran en siete áreas temáticas globalmente acordadas: extensión de los recursos forestales, diversidad biológica, sanidad forestal y vitalidad, funciones protectoras de los bosques, funciones productivas de los bosques, funciones socioeconómicas y marco institucional y de política legal (FAO, 2013).

En el Proceso Paneuropeo de Protección de Bosques se han definido seis criterios que son utilizados a nivel nacional (Cuadro 1). La información genética se incluye en el Criterio 4 (Mantenimiento, conservación y aumento apropiado de la diversidad biológica en los ecosistemas forestales) como un Indicador (4.6. *Recursos Genéticos*).

A continuación describimos los indicadores propuestos en este trabajo, siguiendo la numeración correspondiente a los criterios e indicadores recogidos por la MCPFE.

Indicador 4.6. Recursos Genéticos

El objetivo de este indicador es comprobar el estado, las presiones y los beneficios aportados por los recursos genéticos forestales. Bajo este indicador se consideran dos verificadores cuantitativos: la superficie gestionada para conservación y utilización de los recursos genéticos forestales (*in situ* y *ex situ*) y el área gestionada para producción de semillas. El primer verificador se relaciona con las **unidades de conservación**. A nivel europeo se cuenta con la información obtenida dentro del programa europeo EUFORGEN (Figura 1), aunque no existe una completa armonización en los procedimientos seguidos. En España se han establecido criterios para la definición de unidades de conservación genética (MAGRAMA, 2010), pero aún no han sido regulados los procedimientos para aprobar las unidades de conservación con vistas a su inclusión en el Catálogo Nacional de Unidades de Conservación (MAGRAMA, 2006). En la actualidad un grupo de trabajo derivado del Comité Nacional para la Mejora y Conservación de los recursos genéticos forestales está finalizando la propuesta para reglamentar este procedimiento.

Cuadro 1. Criterios e indicadores derivados del Proceso Paneuropeo de Protección de Bosques.

El proceso paneuropeo de protección de bosques ha adoptado unos indicadores para evaluar la gestión forestal sostenible (MCPE, 2003). Estos indicadores son tanto cuantitativos como cualitativos. A continuación se resumen los seis criterios definidos, así como los indicadores cuantitativos dentro del Criterio 4, que está más relacionado con los recursos genéticos forestales.

Criterio 1: Recursos forestales y contribución a ciclos globales de carbono

Criterio 2: Mantenimiento de la salud y la vitalidad de los ecosistemas forestales

Criterio 3: Mantenimiento y mejora de la función productiva de los bosques

Criterio 4: Mantenimiento, conservación y mejora de la biodiversidad en los ecosistemas forestales

- 4.1. Tipos de bosque y composición por especie
- 4.2. Regeneración
- 4.3. Grado de naturalidad
- 4.4. Especies introducidas
- 4.5. Madera muerta
- 4.6. Recursos genéticos
- 4.7. Estructura del paisaje
- 4.8. Especies forestales amenazadas
- 4.9. Superficie forestal protegida

Criterio 5: Mantenimiento y mejora de la función protectora de los bosques (principalmente, suelo y agua)

Criterio 6: Mantenimiento de otras funciones y condiciones socioeconómicas

Los nuevos avances metodológicos y de información en genética forestal van a permitir la inclusión de indicadores más efectivos para evaluar la sostenibilidad

En cuanto al segundo verificador, el **área gestionada para producción de semillas** (Figura 2), se ha elaborado a partir de la información recogida en el Registro y Catálogo Nacional de Materiales de Base, que muestra la disponibilidad de materiales de base de todas las especies.

Los indicadores y verificadores incluidos en este criterio son claramente insuficientes al no precisar el estado de conservación de la diversidad genética forestal ni los esfuerzos realizados a los niveles nacional o regional para conseguir una gestión sostenible de la diversidad genética. Se deberían incluir otros indicadores y verificadores que pueden evaluarse de forma costoeficiente y que pueden incorporarse a este u otros criterios de los ya aceptados al nivel regional o nacional. Estos nuevos indicadores permitirían una mejor planificación nacional en políticas de gestión y de conservación de recursos genéticos. Han de incluir tanto aquellos relacionados con las presiones a las que son sometidos los recursos genéticos como los referidos al estado de los recursos genéticos y los beneficios derivados de su mantenimiento (siguiendo la clasificación de Sparks *et al.*, 2011).

4.6.1. **Superficie gestionada para conservación y utilización de los recursos genéticos forestales (*in situ* y *ex situ*)**

Los verificadores (indicadores) encargados de evaluar este aspecto serían dos:

a) Superficie gestionada para la conservación *in situ.*
b) Superficie y unidades gestionadas para la conservación *ex situ.*

Esta información estaría disponible a partir del Registro nacional de unidades de conservación.

4.6.2. **Nivel de conservación de los recursos genéticos forestales**

En este caso pueden establecerse dos verificadores. En el primero de ellos, la superficie gestionada para conservación ha de considerarse en comparación con el **nivel deseable de conservación** determinado respecto a la ofrecida por una red eficiente de conservación genética y para las principales especies incluidas en el listado de la Estrategia de recursos genéticos forestales. Es posible determinar un número eficiente de unidades de conservación para especies o grupos de especies (por ej., basándose en las regiones de procedencia y en los niveles de diversidad de las especies). Este valor de referencia podría ser modificado cuando aumentase la información sobre las especies. En el segundo verificador se considera el **número de unidades de conservación en las que se monitoriza** su estado de conservación periódicamente (por ej., cada diez años, que es el plazo definido para la realización del Inventario Forestal Nacional y correspondería al marco de monitorización de la Estrategia de recursos genéticos forestales. En este caso, el nivel deseable debería

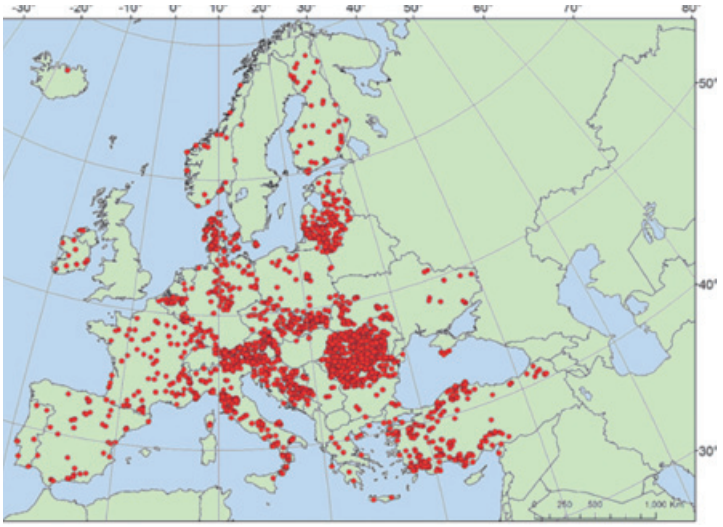


Figura 1. Unidades de Conservación de recursos genéticos en Europa (información obtenida de EUFGIS, portal.eufgis.org)

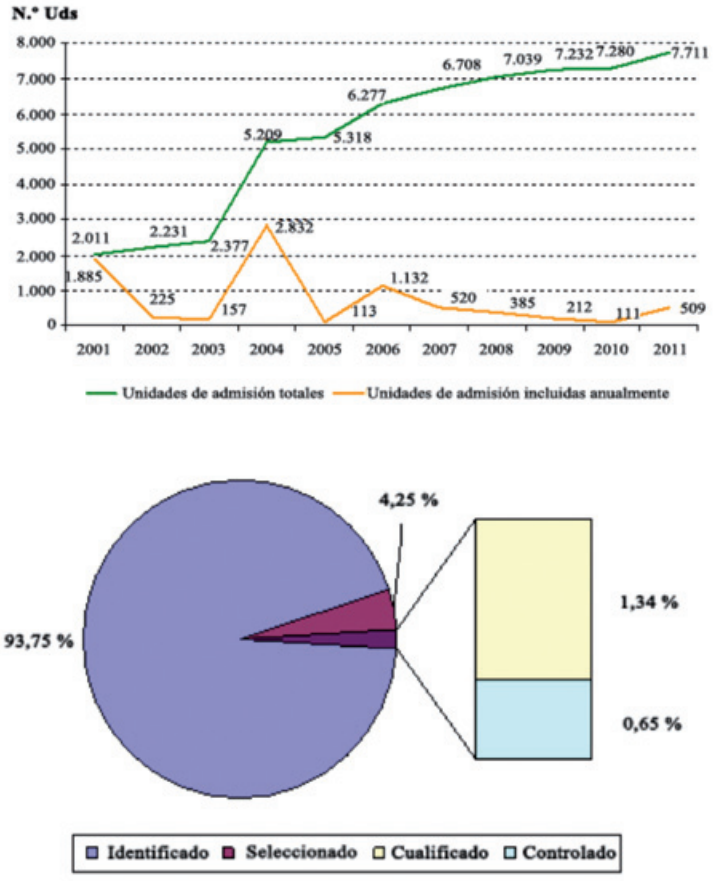


Figura 2. Evolución del número de unidades de admisión en el Catálogo Nacional (arriba) y tipo de categorías (abajo) (MAGRAMA, 2012a)

En España se han establecido criterios orientadores para la definición de unidades de conservación genética, y se está desarrollando el procedimiento de aprobación de dichas unidades

definirse previamente, pues no tiene por qué alcanzar el 100 % de las unidades de conservación. Los verificadores (indicadores) para este caso serían:

a) Porcentaje de unidades de conservación respecto al número óptimo de la red de conservación.
b) Número (porcentaje) de unidades de conservación con programa de monitorización del estado de conservación.

Esta información se recoge en el Registro nacional de unidades de conservación y en el plan de gestión que se define para incluir una unidad de conservación en el mismo (MAGRAMA, 2009).

4.6.3. **Amenazas a los recursos genéticos forestales**

Este es un indicador de la presión a la que están sometidos los recursos genéticos, y en general está relacionado con acciones de otros sectores (por ej., urbanismo, agricultura, etc.). La Estrategia de recursos genéticos identifica cinco amenazas (Fragmentación del territorio y destrucción de hábitats, Contaminación ambiental y cambio climático, Sobreexplotación de recursos y deforestación, Introducción de especies y variedades exóticas y Cambios en la intensidad de los usos del suelo). En este caso se establecen indicadores para la conservación de la variación intraespecífica. Son:

a) Fragmentación de las poblaciones naturales.
b) Reducción prevista de superficie en poblaciones naturales evaluada mediante modelos de nicho.
c) Reducción de censos poblacionales en unidades de conservación.
d) Riesgo de introgresión de unidades de conservación por materiales alóctonos.
e) Desaparición de poblaciones naturales.

4.6.4. **Área gestionada para producción de semillas**

Debe añadirse una valoración sobre la disponibilidad de materiales de base para el conjunto de las regiones de procedencia definidas.

a) Superficie gestionada para la producción de semilla, por categorías.
b) Evolución del número de unidades gestionadas para la producción de semilla.
c) Representación de los materiales de base respecto al total de regiones de procedencia de las especies reguladas (Figura 3).

Esta información está disponible a partir del Registro Nacional de materiales de base (MAGRAMA, 2013).

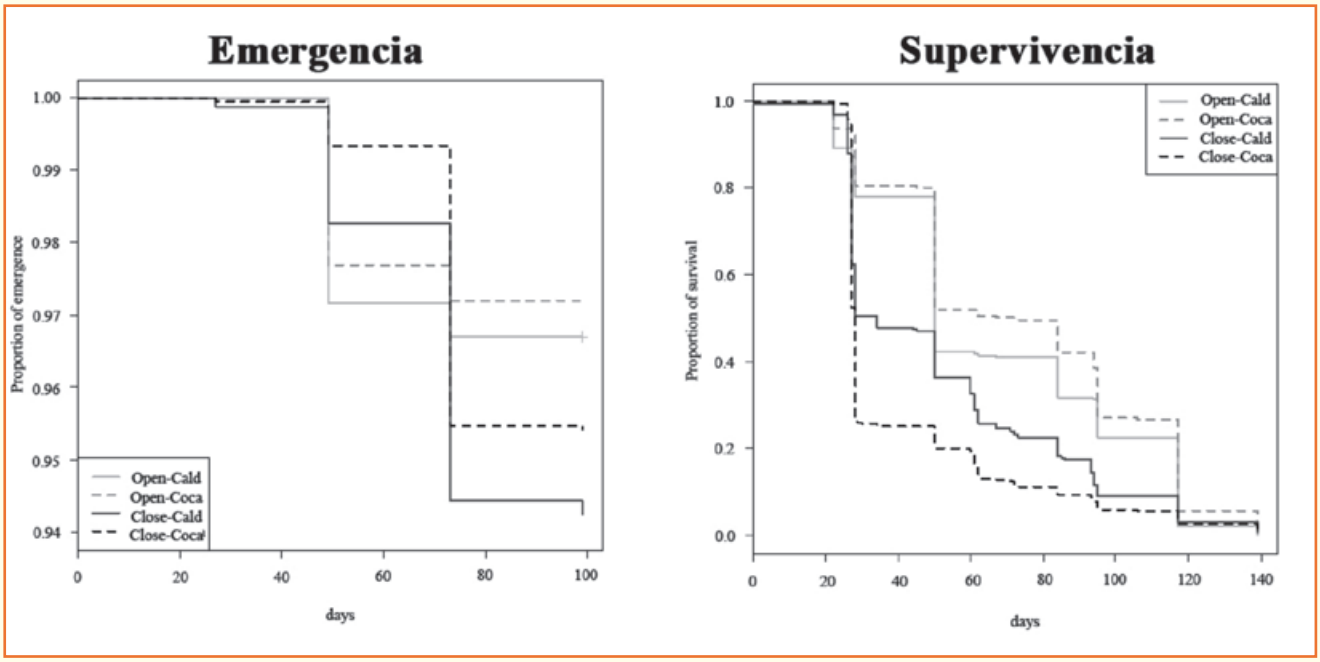
4.6.5. **Utilización de material forestal de reproducción**

El registro del material de base *per se* no indica cómo se están utilizando los materiales de reproducción; sin embargo, este hecho es esencial para muchos procesos que modelan la diversidad genética de las especies forestales. Uno de los principales resultados obtenidos en los proyectos antes mencionados, así como en otros, señalan la importancia de la adaptación local para algunas especies o su diferenciación frente a otras poblaciones. En cualquiera de los dos casos, las poblaciones locales pueden presentar características diferenciales frente a otras poblaciones alóctonas de la misma especie, aunque en el primer caso están mejor adaptadas, y

Cuadro 2. La importancia de la Adaptación local y la diferenciación de las poblaciones

En especies forestales se ha demostrado la existencia de diferencias genéticas entre poblaciones en caracteres tanto de crecimiento como de adaptación. En ocasiones estas diferencias se traducen en una superioridad (en aptitud biológica) de la población local frente a las poblaciones foráneas. Es lo que se denomina adaptación local.

En un ensayo de trasplante recíproco (dos poblaciones de *Pinus pinaster*: Coca y Calderona, sembradas en los dos sitios y bajo condiciones de cubierta y en claros), se comprueba que en Calderona existe una mayor emer-



en el segundo no tienen por qué estarlo (Cuadro 2).

Por tanto, debería contemplarse la valoración de distintos factores como:

a) Número de procedencias usadas durante un lapso de tiempo en un paisaje determinado.
b) Porcentaje de procedencias alóctonas frente a autóctonas utilizadas en repoblaciones o restauraciones forestales dentro de un paisaje.
c) Superioridad estimada y diversidad de los materiales de reproducción utilizados.

Indicador 4.8. Especies forestales amenazadas

Este indicador está relacionado con los recursos genéticos forestales, pero al nivel específico, basado en el Listado de especies silvestres en régimen de protección especial y en el Catálogo español de especies amenazadas. No proponemos ningún cambio en este indicador.

Indicador 4.10. Diversidad Genética

En el criterio 4 debe añadirse un indicador actualmente no contemplado y relacionado con la diversidad genética, uno de los componentes de la biodiversidad que usualmente no es incluido en las evaluaciones realizadas. La diversidad genética intraespecífica es esencial en distintos procesos, como por ejemplo la adaptación a condiciones futuras, especialmente en el sur de Europa (Alberto *et al.*, 2013).

Se deben precisar los niveles de diversidad entre y dentro de poblaciones a lo largo del tiempo para especies clave definidas en el país. Existe un gran número de estudios gené-

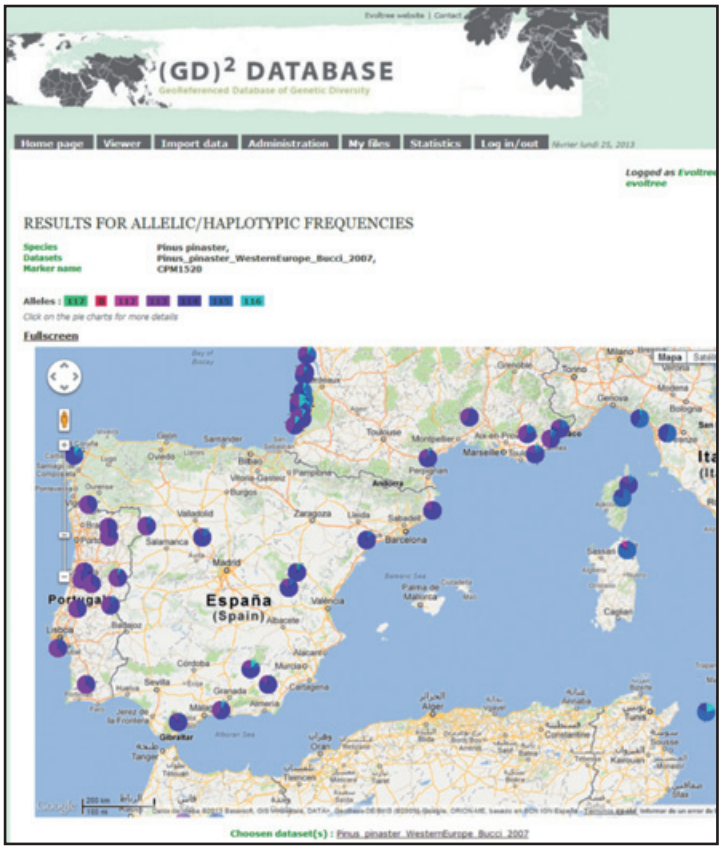


Figura 3. Base de datos (GD)2 (INRA, 2013)

gencia bajo copas para los dos orígenes y una ligera mayor emergencia de la procedencia local en ambos tipos de cobertura. Además, hay un mejor comportamiento del origen foráneo en un ambiente abierto, pero hay una ventaja del origen local bajo cubierta. (Vizcaíno, en prep. Resultados del proyecto LINKTREE).

La adaptación local no suele ser lo general. En otras ocasiones existe diferenciación genética entre poblaciones pero no está asociada a una superioridad de estas poblaciones locales. Son por tanto diferentes, y como tal han de considerarse en programas de mejora y conservación de recursos genéticos forestales (por ej., para definir regiones de procedencia o decidir sobre la combinación de poblaciones para restaurar zonas amenazadas). Esta diferenciación en muchas ocasiones se evalúa tanto mediante marcadores moleculares como a través de caracteres cuantitativos.

Por ejemplo, existen diferencias en poblaciones de *Pinus pinaster* en la edad a la que empieza la reproducción femenina (*Female*), y menos, en la masculina (*Male*), lo que demuestra la diferencias existentes entre poblaciones incluso de una misma zona geográfica (Santos de Blanco *et al.*, 2012).

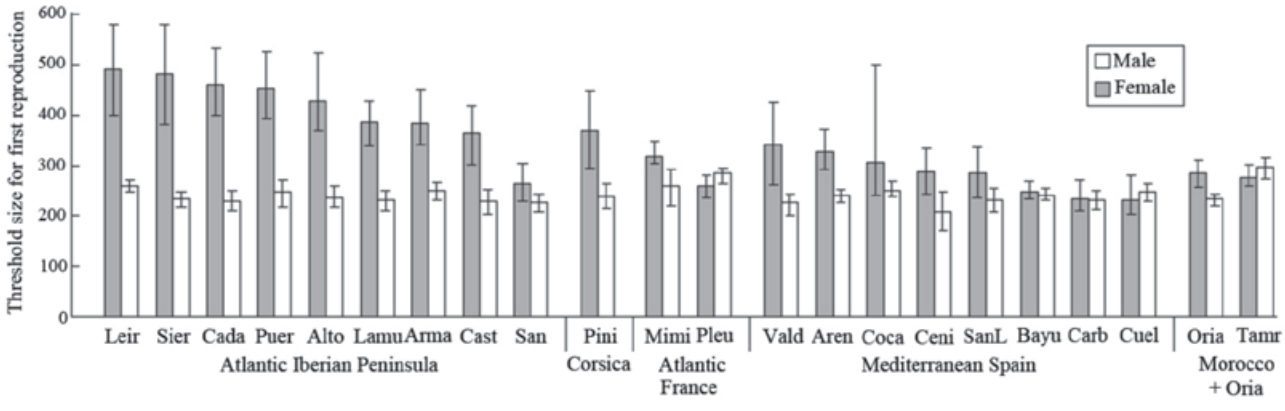




Figura 4. Red Nacional de ensayos genéticos GENFORED (CITA-INIA, 2013)

ticos, en muchos de los cuales se combinan datos obtenidos con marcadores y con ensayos genéticos. Dentro de este indicador deben recogerse los niveles de diversidad de las principales especies (tanto en marcadores cuantitativos como en moleculares), los cambios con el tiempo si se detectan y los déficits existentes en estos estudios.

Para este criterio es necesario disponer de bases de datos actualizadas tanto con datos moleculares [por ej., base de datos (GD)[2] (INRA, 2013), Demiurge (JBC, 2013)] como en ensayos de campo [Genfored (CITA-INIA, 2013)]. Esta necesidad se reflejaba ya en la Estrategia de recursos genéticos forestales. A partir de estas base de datos podemos obtener unos indicadores de variación genética con marcadores moleculares (número de especies, numero de poblaciones, marcadores utilizados, niveles de diversidad) (Figura 3) y en ensayos genéticos (área total existente, número de poblaciones analizadas, caracteres evaluados, niveles de diferenciación) (Figura 4). A partir de estas bases es posible evaluar cuatro verificadores:

a) Número de poblaciones e individuos analizados con marcadores moleculares, por especie.
b) Niveles de diversidad de las principales especies en marcadores moleculares.
c) Superficie dedicada a ensayos genéticos, con número de poblaciones y caracteres medidos, por especie.
d) Niveles de diversidad y diferenciación entre poblaciones de las principales especies en marcadores cuantitativos.

En resumen, el inventario forestal ampliado que señalamos anteriormente debería ser modificado para incluir la información generada por otras iniciativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Implicaciones para el Inventario Forestal Nacional

Para poder contemplar estos nuevos indicadores, el Inventario Forestal ampliado, junto con el Inventario de Patrimonio Natural, debería incluir una serie de herramientas contempladas en la Estrategia Española para la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos o desarrollados a nivel europeo dentro del Programa EUFORGEN y otras iniciativas:

a) Registro Nacional de materiales de base
b) Registro Nacional de unidades de conservación
c) Banco de Germoplasma en Red
d) Base de datos de ensayos genéticos (GENFORED)
e) Base de datos moleculares (GD2, Demiurge)
f) Red de seguimiento y monitorización de los recursos genéticos forestales

El mantenimiento de estas herramientas de planificación es esencial para una evaluación correcta del uso sostenible y la conservación de la diversidad genética forestal.

NIVEL DE UNIDAD DE GESTIÓN FORESTAL

Los indicadores para el nivel de unidad de gestión forestal dependen de factores ambientales locales, a menudo específicos del sitio, tales como el tipo de bosque y el relieve, así como las prioridades y consideraciones económicas y sociales locales. Estos indicadores pueden diferir por tanto

Criterios e Indicadores	Verificadores
CR- Conservación de los procesos que mantienen la variación genética (Namkoong *et al.*, 2002).	
I 1 – Cambio en los niveles de la variación genética	Demográficos; Marcadores genéticos
I 2 – Cambio direccional en las frecuencias génicas o genéticas	Demográficos; Marcadores genéticos
I 3 – Migración entre poblaciones	Demográficos; Marcadores genéticos
I 4 – Cambios en los procesos reproductivos	Demográficos; Marcadores genéticos
CR- Cambios temporales en el monitoreo genético de unidades de conservación genética de plantas perennes (Aravanopoulus, 2011)	
I 1- Selección	Demográficos y Reproductivos
I 2- Deriva Genética	Marcadores genéticos
I 3- Flujo Genético	Marcadores genéticos

Tabla 1. Ejemplo de Criterios e Indicadores para la unidad de gestión forestal que se han definido

entre áreas forestales individuales en un país determinado, en un momento determinado, de acuerdo a las condiciones prevalentes, las prioridades y los objetivos de gestión. Se han definido métodos para desarrollar, testar y seleccionar criterios e indicadores a escala de unidad de gestión forestal (Ravi *et al.*, 1999).

Hay algunos intentos para establecer criterios e indicadores genéticos a este nivel (por ej., Namkoong *et al.*, 2002), y especialmente para unidades de conservación genética (Aravanopoulus, 2011) (Tabla 1, Cuadro 4). La gestión forestal afecta a la diversidad genética forestal a través de varias acciones, principalmente el sistema selvícola (con impacto en la estructura y composición del rodal y del paisaje) y tipo de regeneración (regeneración natural frente a plantaciones). Estas operaciones pueden influir tanto en los recursos genéticos de las especies objeto de la gestión forestal como de cualquier otra del ecosistema (planta, animal u otros organismos).

Dados los principales tipos de actividades, pueden distinguirse (Jiménez *et al.*, 2010): *Uso del material forestal de reproducción en repoblaciones y restauración forestal* y *criterios para la gestión sostenible.* A ellos podríamos añadir los correspondientes a la *Gestión de unidades de conservación.*

Otra aproximación consiste en definir criterios orientadores para la gestión forestal sostenible. Esta aproximación es la seguida en la Estrategia de recursos genéticos forestales (MIMAM 2006, Jiménez, 2009). En ella se plantea definir unos criterios orientadores que puedan ser utilizados por los gestores forestales en el proceso de toma de decisiones, en el uso de los materiales forestales de reproducción, en las labores de gestión de las masas forestales y en la elaboración y seguimiento de los planes de ordenación de los recursos forestales y naturales (PORF, PORN y otras herramientas de planificación). Actualmente están desarrollados los correspondientes al uso de los materiales de reproducción para su uso en repoblación, reforestación y restauración forestal (MAGRAMA 2012b) y en restauración de riberas (MAGRAMA, 2012c) (Figura 5).

Una vez establecidos estos criterios orientadores, podrían establecerse un sistema de C&I para verificar su cumplimiento en las distintas actividades de gestión.

Cuadro 4. Criterios e indicadores genéticos (Namkoong *et al.*, 2002)

Estos autores plantean la elaboración de verificadores demográficos y genéticos para comprobar el cumplimiento del criterio: Conservación de los procesos que mantienen la variación genética. Por ejemplo, el Indicador I 3: Migración entre poblaciones cuenta con cuatro verificadores demográficos y un verificador genético.

Verificadores demográficos

3.D.1 Aislamiento físico
3.D.2 Aislamiento reproductivo
3.D.3 Dispersión de semilla
3.D.4 Dispersión de polen

Verificadores genéticos

3.G.1 Flujo genético

Para estos verificadores sería necesario definir unos niveles críticos a partir de los cuales se cumple la sostenibilidad de la gestión aplicada.

Niveles críticos: Cambios de menos del 50 % en los verificadores demográficos o menos del 10 % en los parámetros genéticos => Sostenibilidad

La aplicación de esta metodología obliga a definir estos niveles críticos, así como los métodos de muestreo o medición de los verificadores y el lapso espacial y temporal de las mediciones. Por tanto, a pesar de su aparente simplicidad no han sido aplicados en la gestión real.

Uso de los materiales forestales de reproducción.

El uso de material forestal de reproducción cuenta con unas condiciones fijadas por la legislación sobre comercialización de material forestal de reproducción que aseguran la calidad genética y exterior de acuerdo a unos estándares para cada especie y categoría (requisitos de los materiales de base, requisitos de producción de los materiales de reproducción, etc.), así como de los posibles efectos sobre la diversidad genética en la zona donde se introducen y de los propios materiales utilizados.

El Comité Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos Forestales (órgano de coordinación entre administraciones para los recursos genéticos forestales) ha aprobado unos criterios orientadores a aplicar en lo relativo a los materiales forestales de reproducción en la redacción y ejecución de proyectos de repoblación y restauración forestal (MAGRAMA 2012a). Siguiendo estos criterios, los indicadores pueden establecerse para:



Figura 5. Criterios orientadores para realizar trabajos de repoblación, reforestación y restauración forestal aprobados en España (izda.) y para las labores de revegetación de riberas (dcha.) (MAGRAMA, 2012b y c)

1. Zona de utilización

Los sitios para realizar las repoblaciones o forestaciones deben ser seleccionados de tal forma que se eviten los posibles efectos negativos sobre áreas de alto valor ecológico, particularmente la conversión de áreas no forestales naturales o seminaturales (recomendación 18, MCPFE, 2009). Las procedencias y variedades o ecotipos de especies nativas que están bien adaptadas a las condiciones del sitio deben utilizarse para forestación y reforestación cuando sea apropiado (recomendación 19, MCPFCE 2009). La necesidad de considerar la adaptación al cambio climático debe tenerse en cuenta cuando se elige la especie, procedencia y variedades o ecotipos para forestación y reforestación (recomendación 20, MCPFCE 2009).

En España se han establecido 57 regiones de utilización (RU) que se definen como "una parte del territorio, ecológicamente homogénea, donde el material de reproducción presenta un comportamiento y adaptación similar" (García del Barrio *et al.*, 1999, 2005). Estas regiones constituyen la base para las recomendaciones de uso de materiales de reproducción realizadas a nivel nacional y, por tanto, facilitan la elección del material más adecuado para la zona de siembra o plantación.

2. Especies utilizadas

Se debe promover que la composición de especies y la diversidad estructural refleje la diversidad natural a nivel del paisaje (recomendación 23. MCPFE 2009).

La elección de la especie es una decisión técnica que ha de considerar, entre otros aspectos, el objetivo de la repoblación o restauración forestal. En cualquier caso, esta elección ha de tener en cuenta una serie de aspectos, entre los que destaca la elección de las especies locales, aunque no siempre estas tienen por qué ser las más productivas ni las más adecuadas a las condiciones del sitio. Actualmente se dispone de una lista de especies locales (INIA,2013) y de información relativa a comportamiento en ensayos y de predicciones basadas en el nicho actual o potencial.

3. Origen del material

Se ha comprobado la importancia de la fuente local en muchos casos (ver cuadro 2). Se han realizado en ocasiones esfuerzos para aportar recomendaciones de uso de los materiales o de su posible movimiento basándose en predicciones o en ensayos de campo. Aunque la legislación obliga a identificar el origen de los materiales (para algunas de las categorías), se pueden aplicar nuevos métodos de genotipado masivo para comprobar el origen del material de base y de la región de procedencia.

El Comité Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos Forestales ha aprobado unos criterios orientadores a aplicar en lo relativo a los materiales forestales de reproducción en la redacción y ejecución de proyectos de repoblación y restauración forestal

4. Niveles de diversidad genética de los materiales forestales de reproducción

En muchas ocasiones está implícito en el tipo de material de base y en la categoría del material de reproducción. Este nivel puede evaluarse tanto con marcadores genéticos neutrales como adaptativos. Han de seleccionarse materiales con niveles de diversidad genética y con tamaño efectivo poblacional adecuados a los objetivos de las repoblaciones o forestaciones.

Se recomienda la cautela en el caso de utilizar árboles genéticamente modificados. Los impactos ecológicos, socioeconómicos y culturales, incluyendo los efectos a largo plazo, deben analizarse y conviene realizar una evaluación del riesgo profunda, exhaustiva y transparente de acuerdo al Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad. En este contexto, los impactos potenciales de los árboles modificados genéticamente sobre los recursos genéticos naturales deben ser considerados en profundidad (recomendación 22, MCPFE 2009).

Debe realizarse un análisis similar sobre los impactos socioeconómicos y sobre los recursos genéticos autóctonos con todos los materiales utilizados.

5. Contaminación/introgresión del material forestal de reproducción con material no deseado. Amenaza a los recursos genéticos locales

Estos verificadores pueden aplicarse a la producción de material forestal de reproducción de algunas fuentes semilleras, huertos semilleros y progenitores de familia estimando la tasa de contaminación de los materiales utilizados con otros materiales no deseados. La amenaza que ofrece una nueva plantación para los recursos genéticos locales (poblaciones amenazadas, unidades de conservación, poblaciones localmente adaptadas) puede estimarse previamente al establecimiento utilizando unas metodologías similares. Se pueden aplicar nuevos métodos desarrollados para estimar el flujo genético utilizando conjuntos existentes de marcadores moleculares.

6. Superioridad de los materiales

Esta superioridad se puede evaluar para algunos tipos de materiales (por ej., materiales controlados) utilizando bien ensayos precoces o marcadores moleculares tras la aplicación de estudios de asociación o de selección genómica.

7. Adaptabilidad del material

Ya están desarrollados para algunas especies. Mediante modelos predictivos pueden estimarse la supervivencia de los materiales en función de las condiciones climáticas de origen y de las del lugar donde van a ser plantadas.

8. Registro de la información en el banco de datos del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad

Existe una aplicación desarrollada por la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal relativa a actuaciones forestales, y en particular a repoblaciones, mediante la cual, una vez finalizada la obra, se suministrará información



sobre sitio de actuación, especie y características genéticas del material forestal empleado, etc.. De cara al futuro, esta información es imprescindible para discriminar el material de base a catalogar evitando que por desconocimiento del origen de la masa se cataloguen fuentes semilleras o rodales inadecuados.

Gestión de masas forestales

Para asegurar la gestión sostenible desde un punto de vista genético se han de elaborar unos criterios e indicadores de gestión sostenible que puedan ser utilizados en los procesos de certificación de la gestión forestal, al menos para las especies prioritarias de la Estrategia de recursos genéticos. Estos criterios deberían ser tenidos en cuenta en operaciones tales como la planificación de labores selvícolas, incluyendo regeneración, claras y clareos, cortas finales, recolección de material forestal de reproducción, aprovechamientos maderables y no maderables (p. ej., los aprovechamientos micológicos o de especies secundarias), limpiezas, cortafuegos, etc. Todas estas actividades han de optimizarse para asegurar que ninguno de los indicadores asociados a la conservación de los procesos que mantienen la diversidad genética (niveles de variación de las especies, migración entre las poblaciones, cambios direccionales en las frecuencias genéticas, sistema reproductivo, etc.) se vean negativamente afectados. Los criterios e indicadores han de ser divulgados entre los gestores para garantizar su aplicación a escala práctica. La elaboración de estos criterios ha de ser realizada en colaboración con los sistemas de certificación forestal y con la contribución de otras iniciativas (p. ej., la red temática SELVIRED y otras actuaciones previstas en la Estrategia Forestal Española y en el Plan Forestal).


Ismael Muñoz

Gestión de unidades de conservación

Se han definido (MAGRAMA, 2010) unos indicadores para valorar la inclusión de una unidad de conservación dentro de la red nacional de conservación, unos indicadores de monitorización, otros de gestión de la unidad una vez incorporada en la red y otros de monitorización a lo largo del tiempo.

Los relacionados con la selección son: número de unidades en la red (objetivo de la red), distribución de las unidades de la red, disponibilidad de datos genéticos, valor de la unidad para la red, naturaleza (origen) de la unidad, tamaño de la población, caracterización, propiedad, elección de unidades para varias especies, y el estado de conservación y amenazas.

Los relacionados con la gestión incluyen algunas recomendaciones generales y la realización de planes de gestión de las unidades de conservación genética.

Por último, los relacionados con la monitorización (propuesta en un plazo de diez años), que sirven para verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos por los cuales una unidad ha sido aprobada como tal, estimar el impacto de las medidas propuestas en los planes de gestión, detectar de nuevas amenazas y reorientar los planes de gestión si es el caso. La evaluación y revisión será específica para cada unidad de conservación y ha de incluir algunos de los aspectos propuestos para la selección de la unidad, además de los indicadores sobre la evolución de la diversidad genética de la la misma (por ej. Indicadores propuestos por Aravanopoulos 2011).

CONCLUSIONES

La elaboración de criterios e indicadores útiles para la toma de decisiones a distintas escalas de trabajo es un método eficaz para sistematizar la información recogida, además de ser flexible al ir adoptando los desarrollos teóricos y metodológicos de forma eficiente. A nivel nacional, el desarrollo de estos criterios e indicadores y su integración en un Inventario Nacional ampliado permitiría monitorizar de forma eficiente las actuaciones relacionadas con los recursos genéticos y su posible impacto. Pero sería necesario definir una red permanente y costoeficiente de monitorización, basada en las redes de ensayos genéticos existentes, las unidades de admisión del registro nacional y de un subconjunto de las unidades de conservación. A nivel de unidad de gestión, la aproximación seguida debe basarse en utilizar la información genética para el establecimiento de buenas prácticas que puedan ser monitorizadas mediante la aplicación de técnicas de análisis cada vez más eficientes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo deriva del Deliberable D10 del proyecto financiado por la ERA-Net BiodivERsA (Proyecto LinkTree, EUI2008-03713), con el Ministerio de Economía y Competitividad como financiador nacional, y parte de la convocatoria BiodivERsA de 2008 para proyectos de investigación. También forma parte de las actividades del proyecto Europeo 284181 SP4 CAPACITIES- "TREES4FUTURE. Designing trees for the future" y de los proyectos financiados por el Plan Nacional de investigación RTA2010-00120-C02-02 "CLONAPIN, Mejora genética y variación geográfica en caracteres fenotípicos de *Pinus pinaster* Aiton", RTA2011-00016-00-00 "Variabilidad genética y plasticidad fenotípica en la capacidad de captura de carbono y resiliencia en pinos mediterráneos (MITIGENFOR)" y CGL2011-30182-C02-01 "Variación adaptativa, gradientes ambientales y demografía en coníferas mediterráneas: de los genes a los fenotipos y nichos (ADPACON)". Agradecemos la posibilidad de utilizar el Estudio temático 1 (*Thematic study 1*) incluido en el informe sobre recursos genéticos mundiales elaborado por FAO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, F.J., AITKEN, S.N., ALÍA, R., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., HANNINEN, H., KREMER, A., LEFEVRE, F., LENORMAND, T., YEAMAN, S., WHETTEN, R. & SAVOLAINEN, O. (2013). *Potential for evolutionary responses to climate change - evidence from tree populations.* Global Change Biology.

ARAVANOPOULOS, F.A. (2011). Genetic monitoring in natural perennial plant populations. *Botany* 89: 75-81

CITA-INIA (2013). *Red Nacional de Ensayos genéticos*. www.genfored.es [11/03/2011]

FAO (1999). *Practical Guidelines for the implementation of criteria and indicators for sustainable forest management in the Near East Region.* United Nations Environmental Programme. Regional Office for the Near East. Cairo.

FAO (2013). *Criteria and indicators for sustainable forest management*. http://www.fao.org/forestry/ci/en/ [11/03/2013]

GARCÍA DEL BARRIO, J.M., ALÍA, R. & IGLESIAS, S. (2005). *Regiones de identificación y utilización del material forestal de reproducción. Regiones de procedencia de especies forestales en España realizadas por el método divisivo.* Adenda.

GARCÍA DEL BARRIO, J.M., MIGUEL, J. DE, ALÍA, R. & IGLESIAS, S. (1999). *Regiones de identificación y utilización del material forestal de reproducción.* O.A. Parques Nacionales. MMA. Madrid. 293 pp.

GRAUDAL, L., KJÆR, E.D., LOO, J., FADY, B., VENDRAMIN, G., ARAVANOPOULOS, F.A., BALDINELLI, G., BENNADJI, Z. & RAMAMONJISOA, L. (2012). Thematic Study 1: State of the World's Forest Genetic Resources 2013. *Indicators of forest genetic diversity, erosion and vulnerability.* Combined draft document 23 August 2012.

INIA (2013). *Especies forestales locales*. http://sites.googlesite.com/site/forestspecies [11/03/2013]

INRA (2013). *(GD)2 Database*. http://gd2.pierroton.inra.fr/gd2/home?page=home. [11/03/2013]

JBC (2013). *Demiurge*. http://demiurge-project.org/home [11/03/2013]

JIMÉNEZ, P., DÍAZ-FERNÁNDEZ, P.M., IGLESIAS, S., PRADA, A., GARCÍA DEL BARRIO, J.M., ALBA, N. & ALÍA, R. (2009). National strategy for the conservation and sustainable use of forest genetic resources: a framework for coordinating Central and Autonomous Regional Government activities in Spain. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 18(1).

MAGRAMA (2010). *Unidades de conservación genética: Criterios para la aprobación de las unidades, su identificación, seguimiento y gestión.* MAGRAMA. Madrid. (Documento de trabajo).

MAGRAMA (2012a). *Criteria and indicators for sustainable forest management in Spanish forests.* MAGRAMA. Madrid. 75 pp.

MAGRAMA (2012b). *Protocolo Técnico a aplicar en lo relativo al material forestal de reproducción en la redacción y ejecución de proyectos de repoblación y restauración forestal. Criterios Orientadores. Estrategia Española para la Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales.* MAGRAMA, Madrid. 84 pp.

MAGRAMA (2012c). Guía *técnica para la gestión de materiales forestales de reproducción en la revegetación de riberas. Criterios Orientadores.* Estrategia Española para la Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales. MAGRAMA, Madrid. 77 pp.

MAGRAMA (2013). *Catálogo Nacional de materiales de base*. http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/montes-y-politica-forestal/ Informe_anual_sit_reg_cnmb_2011_tcm7-184267.pdf [11/03/2013]

MCFPE (2003). *Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7-8 October 2002*. MCFPE. Vienna. 6 pp.

MCPFE (2009). *Paneuropean guidelines for afforestation and reforestation with special focus on the provisions of the UNFCCC*. MCFPE. Norway. 18 pp.

MIMAM (2006). *Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de los Recursos Genéticos Forestales*. MIMAM. DGB. Madrid. 81 pp.

NAMKOONG, G., BOYLE, T., EL-KASSABY, Y.A., PALMBERG-LERCHE, C., ERIKSSON, G., GREGORIUS, H.R., JOLY, H., KREMER, A., SAVOLAINEN, O., WICKNESWARI, R., YOUNG, A., ZEH-NLO, M., & PRABHU, R. (2002). *Criteria and indicators for sustainable forest management: assessment and monitoring of genetic variation*. FGR 37. FAO. Rome.

NAMKOONG, G., BOYLE, T., GREGORIOUS, H.R., JOLY, H., SAVOLAINEN, O., RATMAN, W. & YOUNG, A. (1996). *Testing criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: genetic criteria and indicators.* Centre for International Forestry Research (CIFOR). Working paper No. 10. Bogor.

PRABHU, R., COLFER, C.J.P. & DUDLEY, R.G. (1999). *Guidelines for Developing, Testing and Selecting Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management*. The Criteria & Indicators Toolbox Series. CIFOR.

SANTOS DEL BLANCO, L., CLIMENT, J., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C. & PANNELL, J.R. (2012). Genetic differentiation for size t first reproduction through male versus female functions in the widespread Mediterranean tree Pinus pinaster. *Ann Botany* 110(7): 1449-1460

SPARKS, T.H., BUTCHART, S.H.M. & BALMFORD, A. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Fauna & Flora International, Oryx* 45 (3): 411-419.