

# Estado de los Bosques en Europa

Informe Ejecutivo 2011



Para más información por favor visite nuestra página Web:



---

[www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)



**FUTMON**  
forest monitoring for the future

---

[www.futmon.org](http://www.futmon.org)

# ESTADO DE LOS BOSQUES EN EUROPA

## INFORME EJECUTIVO 2011

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa,  
Convención sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia,  
Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento  
de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques (ICP Forests)

Comisión Europea  
Dirección General de Medio Ambiente  
Unidad LIFE

Reproducción autorizada, excepto con fines comerciales,  
mencionando la fuente.  
ISSN 1020-587X  
*Impreso en Alemania*

Traducción al castellano:  
Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos  
Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal  
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente  
Asistencia Técnica encargada de los trabajos: SILCO S.L.

[www.icp-forests.org](http://www.icp-forests.org)  
[www.futmon.org](http://www.futmon.org)

### Agradecimientos

La Comisión Europea e ICP Forests desean expresar su agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que han contribuido a la elaboración de este informe, en particular

- el Instituto "Johann Heinrich von Thünen" (vTI), Instituto Federal de Investigación para Áreas Rurales, Selvicultura y Pesca, Institute for World Forestry,
- sus asociados en el marco del proyecto LIFE + "FutMon",
- los Centros Focales Nacionales de ICP-Forests

### Autores

Richard Fischer, Martin Lorenz, Wolfgang Beck, Vicent Calatayud, Nathalie Cools, Bruno de Vos, Matthias Dobbertin, Stefan Fleck, Paolo Giordani, Oliver Granke, Georg Kindermann, Martin L, Henning Meesenburg, Stefan Meining, Hans - Dieter Nagel, Markus Neumann, Thomas Scheuschner, Silvia Stofer

**Copia - edición**  
Carolyn Symon

**Diseño**  
XQX AG

### Cofinanciación

La producción de este informe fue cofinanciada bajo el Reglamento LIFE + (CE) nº 614/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo

### Citas

Fischer R, Beck W, Calatayud V, Cools N, De Vos B, Dobbertin M, Fleck S, Giordani P, Granke O, Kindermann G, Lorenz M, Meesenburg H, Meining S, Nagel H-D, Neumann M, Scheuschner T, Stofer S, 2011: El Estado de los Bosques en Europa. Informe Ejecutivo 2011. ICP Forests y Comisión Europea, Hamburgo y Bruselas, 21 Págs.

[<http://www.icp-forests.org/RepEx.htm>]

## CONTENIDOS Y RESUMEN

### ■ **Introducción**

El ICP Forests ha estado colaborando con la Comisión Europea en el campo del seguimiento forestal durante más de 25 años. El sistema de seguimiento existente ha sido recientemente rediseñado con objeto de adaptar la recolección de datos a las nuevas necesidades de información.

#### **1. Un seguimiento forestal pan-Europeo armonizado ..... 4**

### ■ **Salud y vitalidad forestal**

El estado de la copa es un indicador de reacción rápida ante muchos factores medioambientales que afectan la vitalidad arbórea. Las evaluaciones anuales a gran escala del programa constituyen un valioso sistema de alerta temprana que asimismo proporciona información sobre los principales agentes dañinos directos, como insectos y hongos.

#### **2. Pocos cambios en el estado de los bosques a escala Europea .....6**

### ■ **Los suelos y la deposición atmosférica**

Los ciclos de nutrientes, del Carbono y del agua dependen de que los suelos estén intactos. La contaminación, así como las prácticas forestales inadecuadas son sus mayores amenazas. Los bosques se encuentran expuestos a los altos niveles de contaminación atmosférica ya que las grandes superficies ocupadas por las copas son muy efectivas capturando la deposición atmosférica.

#### **3. Ligera recuperación solo en los suelos extremadamente ácidos .....10**

#### **4. Continúan los excesos en las cargas críticas de nitrógeno .....13**

### ■ **Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la biodiversidad**

La biodiversidad forestal se refiere a múltiples funciones y servicios que los bosques proporcionan. Entre ellos, la composición en especies es de crucial importancia. Los líquenes epífitos se encuentran entre los bioindicadores más sensibles ante los cambios medioambientales.

#### **5. La deposición de nitrógeno afecta a la diversidad en especies de líquenes ... 16**

### ■ **El crecimiento forestal y el cambio climático**

El crecimiento arbóreo y las existencias en volumen de madera son de inmediata relevancia para la economía pero también de gran importancia como indicador ecológico del estado de los bosques. Los bosques son grandes sumideros de carbono que capturan dióxido de carbono de la atmósfera. Por tanto, siempre que exista un incremento neto de madera pueden ayudar a mitigar el cambio climático.

#### **6. Datos armonizados sobre crecimiento arbóreo de parcelas en toda Europa .. 18**

#### **7. Las condiciones climáticas extremas se hacen más frecuentes .....20**

#### **8. El crecimiento arbóreo y la vitalidad severamente afectados por la sequía ...21**

### ■ **Conclusiones .....23**

### ■ **Anexo .....24**

## PRÓLOGO

Es un placer para mí presentar este Informe Ejecutivo de ICP-Forests y la Comisión Europea. El Ministerio de Medio ambiente de Dinamarca apoya el trabajo actual del programa y ha acogido este año su Reunión Plenaria.

El ICP-Forests, en cooperación con la Comisión Europea, utiliza métodos armonizados y la tecnología más moderna para obtener datos sobre el estado de los bosques en Europa. Los objetivos de ICP-Forests han cambiado en años recientes y se han ampliado ya que hay nuevos temas de creciente importancia hoy en día, tales como el cambio climático, el secuestro de carbono, los valores recreativos, la biodiversidad y otros servicios forestales. En estrecha colaboración con el proyecto LIFE + de FutMon, cofinanciado por la Comisión Europea, ICP-Forests ha revisado el Sistema Europeo de Seguimiento (es decir, métodos, manuales, base de datos) haciendo al sistema de seguimiento más eficiente y asegurando un alto grado de comparabilidad entre las bases de datos de diferentes países.

Los datos y los hallazgos de ICP-Forests proporcionan información clave para el manejo de los bosques Europeos en el futuro con deposición atmosférica y condiciones climáticas cambiantes, mientras que los gestores forestales se están enfrentando al riesgo de ponerle freno a la pérdida de biodiversidad. Durante los últimos 25 años se ha obtenido y utilizado información valiosa sobre los procesos dentro de los ecosistemas forestales. Los futuros retos del programa se basan en proporcionar información actualizada y en mantener el sistema de seguimiento lo suficientemente flexible para que sea capaz de responder a las cada vez más complejas necesidades de información.



Agnete Thomsen, Subdirectora General

Estoy convencida de que, basándonos en la ampliamente probada experiencia y la infraestructura establecida, el ICP-Forests y la Comisión Europea responderán a estos requerimientos. Asimismo, me gustaría dar las gracias a todos los participantes involucrados por su cualificado trabajo.

Ministerio Danés de Medio Ambiente  
Agencia Danesa de Naturaleza

A handwritten signature in black ink that reads "Agnete Thomsen".

Agnete Thomsen



## INTRODUCCIÓN

El ICP-Forests ha estado colaborando con la Comisión Europea en el campo del seguimiento forestal durante más de 25 años. El sistema de seguimiento existente ha sido recientemente rediseñado con objeto de adaptar la recolección de datos a las nuevas necesidades de información.

Muestreo	Parcelas	Frecuencia
Estado de las copas arbóreas	559/938	Anualmente
Química foliar	308/859	Cada dos años
Crecimiento arbóreo	256/820	Cada cinco años
Fenología	188/240	Anualmente <sup>1)</sup>
Desfronde	162/276	En continuo
Índice de Área Foliar	107/107	Una vez
Vitalidad arbórea	115/115	Anualmente <sup>2)</sup>
Estado del suelo	68/753	Cada 10 años
Química de la solución del suelo	196/338	En continuo
Agua en el suelo	46/46	Una vez
Deposición	287/654	En continuo
Calidad del aire (activo)	28/46	En continuo
Calidad del aire (pasivo)	167/377	En continuo
Daños inducidos por el ozono	123/188	Anualmente
Meteorología	210/327	En continuo
Vegetación	169/815	Cada 5 años
Contenido de nutrientes en la vegetación	83/83	Una vez

**Tabla 1 – 1.** Muestréos de Nivel II, parcelas de muestreo (datos remitidos en 2009/parcelas instaladas) y frecuencia de los muestréos.

<sup>1)</sup> varias veces al año <sup>2)</sup> En continuo en algunas parcelas

## 1. UN SEGUIMIENTO FORESTAL PAN-EUROPEO HARMONIZADO

### Datos para la gestión forestal y la política

Un tercio de la superficie de Europa está cubierta por bosques. A lo largo y ancho de extensas áreas estos bosques constituyen ecosistemas naturales del continente. Son base para la actividad económica y juegan un papel significativo en el desarrollo de las zonas rurales, al tiempo que se usan con fines recreativos. Los bosques tienen un gran valor en términos de conservación de la naturaleza y protección medioambiental, y por su acción como grandes sumideros de carbono son muy importantes en el contexto del cambio climático. El manejo forestal sostenible y las buenas políticas medioambientales se basan en sólidos recursos científicos obtenidos por el seguimiento a largo plazo y a gran escala del estado de los bosques.

### Un seguimiento a largo plazo

El programa internacional de cooperación para la evaluación y el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bosques (ICP-Forests) se estableció en 1985. El programa funciona bajo la Convención de la CEPE de Naciones Unidas sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP) y proporciona actualizaciones regulares sobre el estado de los bosques en Europa como base para el desarrollo de estrategias de abatimiento de la contaminación atmosférica.

Desde 1986, ICP-Forests ha estado colaborando estrechamente con la Unión Europea. Hasta 2006 esta cooperación se basó en un cierto número de reglamentos específicos. El reglamento "Forest Focus" (CE N° 2152/2003) fue el último de estos reglamentos y constituyó la base legal para la cofinanciación de las actividades de seguimiento hasta 2006. Desde su adopción en 2007, el Reglamento "LIFE +" (CE N° 614/2007) ha formado la base legal para la cofinanciación del futuro desarrollo del seguimiento forestal en la Unión Europea.

El proyecto "FutMon", que proporciona cofinanciación bajo el reglamento Life + hasta mediados de 2011, ha apoyado el seguimiento forestal armonizado enlazando mecanismos de seguimiento existentes y nuevos a nivel nacional, regional y de la unión europea. Las actividades de seguimiento intensivo han sido rediseñadas en los últimos dos años, con una disminución en el número de parcelas de seguimiento pero un incremento en el nivel de intensidad de los muestreos en las que quedan. Como resultado, ahora se dispone de datos sobre bosques mejorados cuantitativa y cualitativamente, relacionados con el cambio climático, la contaminación atmosférica, la biodiversidad y el estado de los bosques.

Las actividades de seguimiento proporcionan información sobre un cierto número de criterios e indicadores de manejo forestal sostenible tal y como son definidos por la Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa de "Forest Europe". También se contribuye con datos al convenio Marco de Cambio Climático (FCCC) y el Convenio de Diversidad Biológica (CBD). El programa mantiene estrechos contactos con la Red de Seguimiento de la Deposición Ácida en Asia Oriental (EANET).

### Objetivos exigentes y un sistema de seguimiento a largo plazo

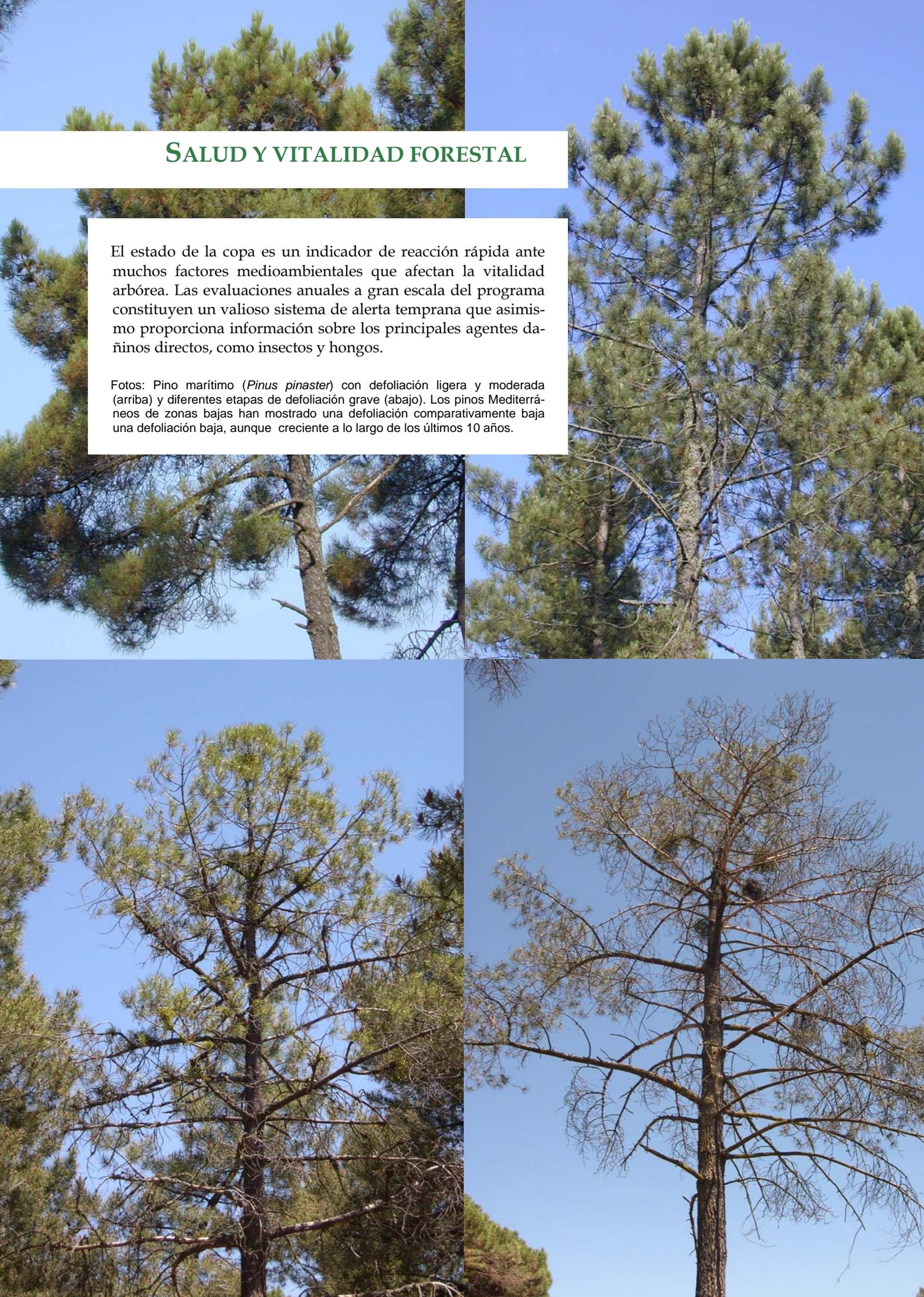
Un objetivo del programa ICP-Forests es evaluar el estado y el desarrollo de la salud y la vitalidad de los bosques Europeos a gran escala. Los efectos de la contaminación atmosférica han sido el eje central del programa. Los países participantes recogen los datos en más de 7500 puntos representativos de observación, conocidos como puntos de "Nivel I". En muchos países, los puntos de Nivel I son una submuestra de los sistemas de inventario forestal nacional. Además de los muestreos anuales del estado de las copas arbóreas, en 2006 se realizó en los puntos de Nivel I el proyecto de demostración BioSoil. Muchos de estos puntos formaban parte de un muestreo de suelos llevado a cabo en muchos países Europeos a principios de la década de los 90.

Para detectar la influencia de varios factores de estrés en los ecosistemas forestales, se lleva a cabo el seguimiento intensivo en cerca de 500 parcelas llamadas de "Nivel II" (Tabla 1 - 1). Estas parcelas proporcionan datos detallados sobre los árboles, el suelo, el agua y la meteorología así como sobre los factores de estrés relacionados y se encuentran localizadas en bosques que representan los ecosistemas forestales más importantes de Europa. La metodología de seguimiento está documentada, desde el principio del programa, en un Manual armonizado. Este manual se ha revisado y actualizado como parte del proyecto FutMon. Los análisis regulares de control, las intercomparaciones de laboratorio y los cursos de intercalibración aseguran una alta calidad de los datos.

## SALUD Y VITALIDAD FORESTAL

El estado de la copa es un indicador de reacción rápida ante muchos factores medioambientales que afectan la vitalidad arbórea. Las evaluaciones anuales a gran escala del programa constituyen un valioso sistema de alerta temprana que asimismo proporciona información sobre los principales agentes dañinos directos, como insectos y hongos.

Fotos: Pino marítimo (*Pinus pinaster*) con defoliación ligera y moderada (arriba) y diferentes etapas de defoliación grave (abajo). Los pinos Mediterráneos de zonas bajas han mostrado una defoliación comparativamente baja aunque creciente a lo largo de los últimos 10 años.



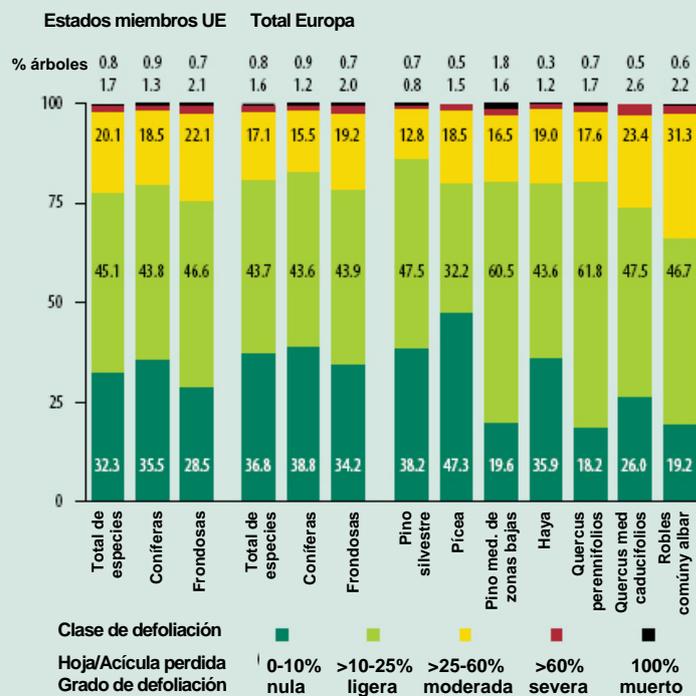


Figura 2-1: Extensión de la defoliación para las principales especies arbóreas Europeas (grupos) en 2010.

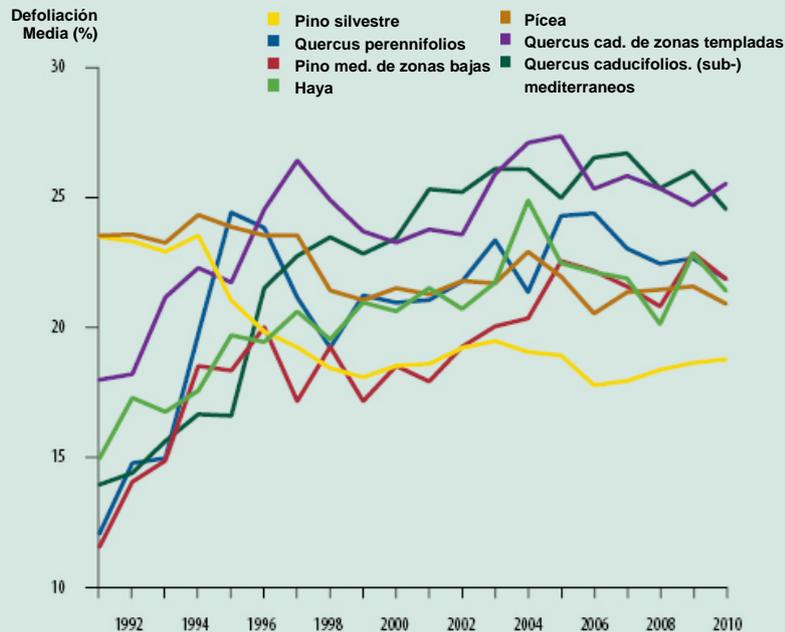


Figura 2-2: Porcentaje medio de defoliación para las especies arbóreas más frecuentes (grupos) en los bosques Europeos. Las muestras solo incluyen a países con remisión continua de datos.

## 2. POCOS CAMBIOS EN EL ESTADO DE LOS BOSQUES A ESCALA EUROPEA

### Resumen

- El estado sanitario de los bosques se ha mantenido sin cambios en cerca de 3/4 partes de todos los puntos evaluados continuamente desde 2002. El 19,5% de los árboles se clasificaron como dañados o muertos en 2010.
- Las especies de *Quercus* Mediterráneas y Centroeuropeas han sido las especies arbóreas más gravemente dañadas a lo largo de los últimos 10 años. El pino silvestre y la picea, las especies más frecuentes, muestran un estado sanitario comparativamente bueno y estable. El pino Mediterráneo de zonas bajas ha mostrado un declive casi continuo a lo largo de los últimos diez años.
- Los insectos y hongos son las causas visibles de daños en árboles que aparecen más frecuentemente. A pesar de que muchas especies de insectos viven en la naturaleza y dependen de los árboles forestales, se necesita observar más cuidadosamente las agrupaciones de puntos con altos porcentajes de árboles afectados. Estas agrupaciones normalmente se dan en la zona Este de los Pirineos, en la cordillera de los Apeninos y en Chipre.

### Una quinta parte de todos los árboles clasificados como dañados

En 2010, el 19,5% de todos los árboles evaluados presentó una pérdida de hojas o acículas superior al 25% y se clasificaron como dañados o muertos (Fig. 2-1). De las principales especies arbóreas, el roble común y albar presentó los niveles más altos de daños y muertes, con un 34,2%. Fue menor para las coníferas (17,6%) que para las frondosas (21,9%). La defoliación constituye un valioso sistema de alerta temprana para evaluar la respuesta de los ecosistemas forestales a los cambios - esto es especialmente importante, ya que se prevé que los fenómenos climáticos extremos se produzcan con mayor frecuencia en un futuro cercano.

### Mayores daños en las especies de *Quercus*, se incrementan los daños en los pinos Mediterráneos

En el 73,2% de los puntos con evaluación continua desde el año 2002 no se produjeron cambios en el estado de copas arbóreas. La defoliación se incrementó en el 16,9% de los puntos evaluados y disminuyó, lo que indica una mejora en el estado de las copas, en sólo un 10,0% (Fig. 2-3).

Las especies de *Quercus* caducifolios han sido las especies arbóreas más severamente defoliadas en los últimos cinco años (Fig. 2-2). La defoliación de los *Quercus* mediterráneos caducifolios alcanzó un máximo en 2006. Los *Quercus* de zonas templadas al igual que las hayas mostraron los grados más altos de defoliación después del verano seco y caluroso de 2003, pero se han recuperado desde entonces. El pino silvestre es de lejos, la especie arbórea más frecuente en la muestra, localizándose desde el norte de Escandinavia hasta el Mediterráneo. La picea es la segunda especie arbórea más frecuente en la muestra a gran escala. Para ambas especies, el gran tamaño de la muestra integra diferencias regionales a nivel Europeo y en general los bajos valores de defoliación indican un estado de salud estable. Los pinos mediterráneos de zonas bajas muestran un declive casi constante en su estado de salud en los últimos diez años. La defoliación media de los pinos mediterráneos de zonas bajas en la muestra se incrementó de un 17,1% en 1999 a un 22,6% en 2005 y desde entonces ha estado fluctuando. Los puntos con defoliación creciente se encuentran localizados principalmente a lo largo de la costa mediterránea francesa y el norte de España.

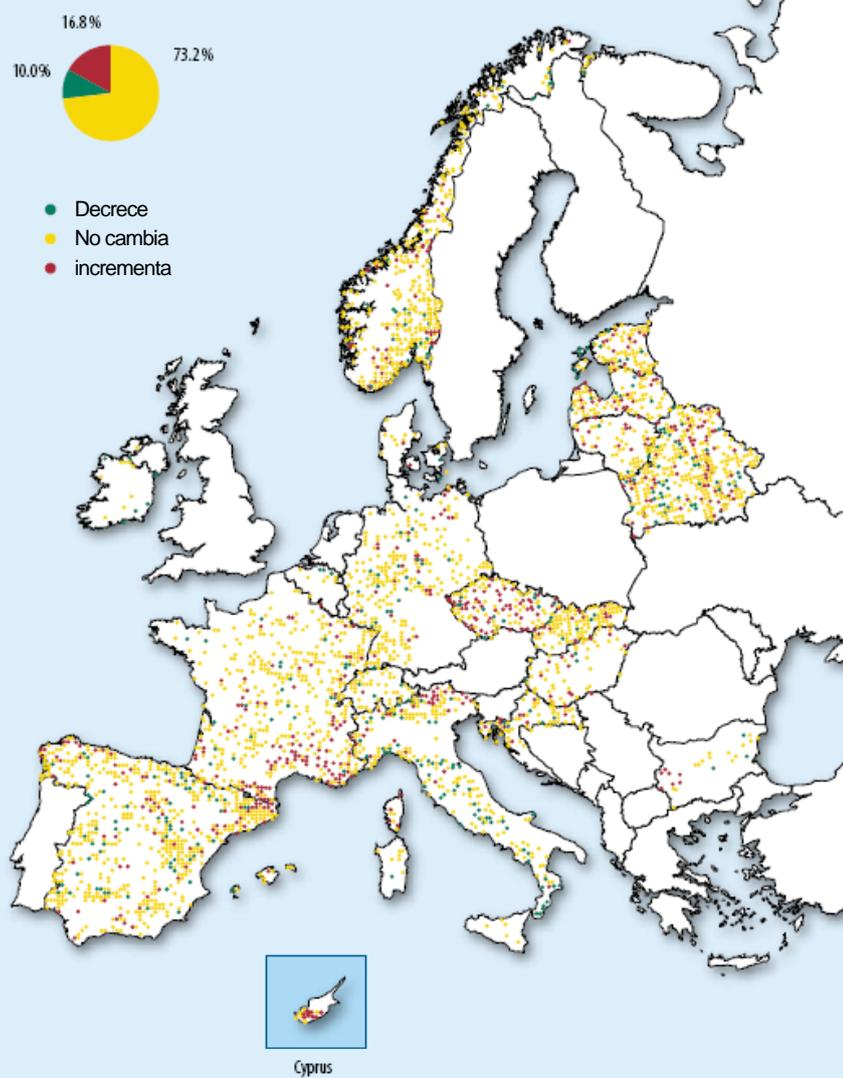


Figura 2-3: Desarrollo de la defoliación media por punto para todas las especies entre 2002 y 2010.

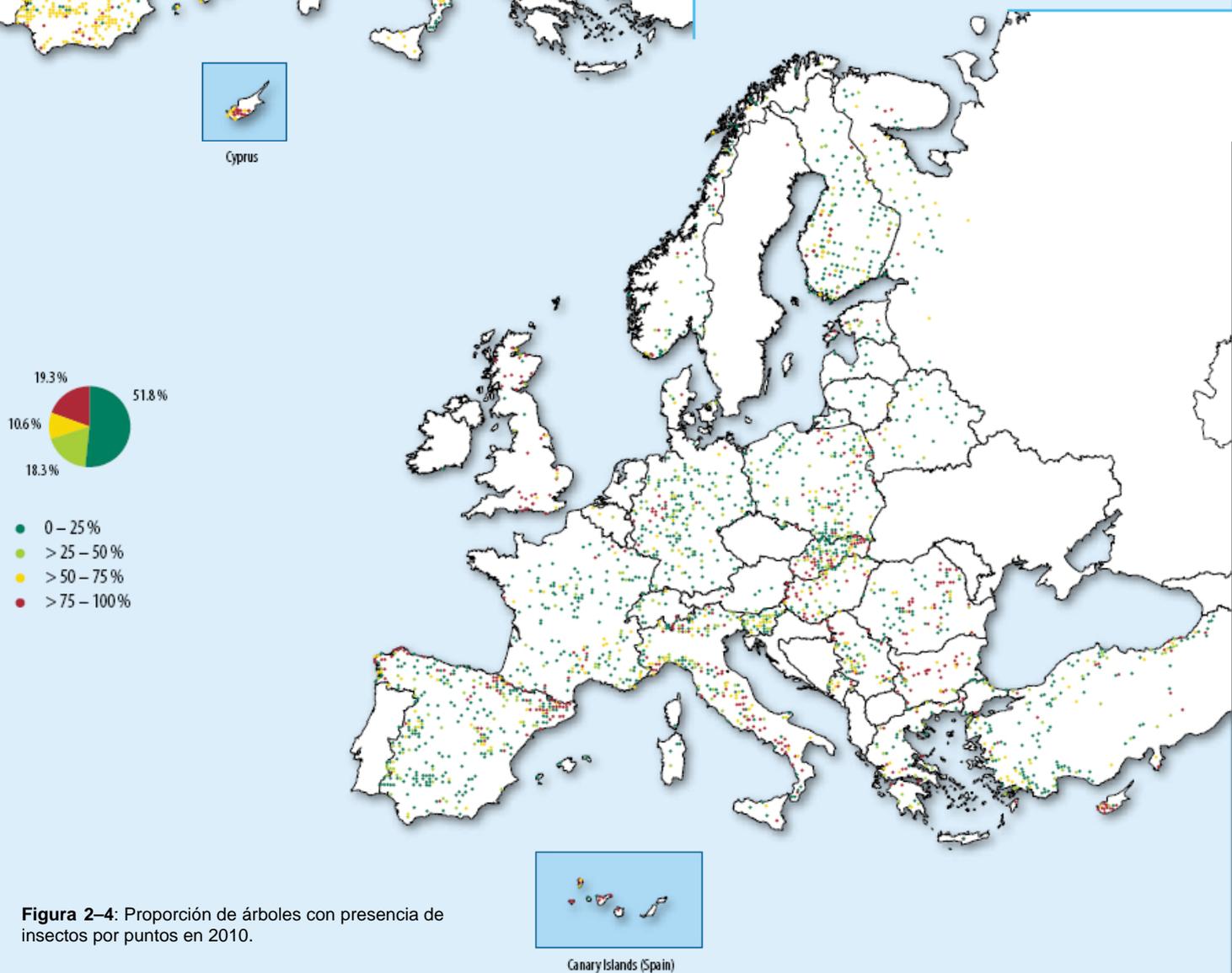


Figura 2-4: Proporción de árboles con presencia de insectos por puntos en 2010.

## Métodos y datos

El seguimiento a lo largo de grandes áreas del estado de salud de los árboles de los bosques Europeos se realiza mediante las evaluaciones del estado de salud de las copas arbóreas. Los árboles que tienen su follaje completo se consideran sanos. La Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa usa la defoliación como uno de los cuatro indicadores de salud y vitalidad forestal.

En 2010, se presentaron datos sobre el estado de las copas arbóreas correspondientes a 7.503 puntos de 33 países. En total, se evaluaron 145.323 árboles. Este número particularmente grande de puntos se debe principalmente a la re-aprobación de la cofinanciación de las actividades de seguimiento dentro de la UE entre 2009 y mediados de 2011 bajo el proyecto FutMon, lo que ha llevado a la evaluación de un número de puntos mayor que en años anteriores. Montenegro remitió datos por primera vez. Finlandia (932 puntos) y Suecia (830 puntos), tuvieron el mayor número de puntos. Sólo se utilizan para los análisis de tendencias temporales los países con evaluación y remisión de datos continua. Dentro de FutMon, en muchos países se integró los puntos de seguimiento a gran escala de ICP-Forests con los inventarios forestales nacionales para aumentar las sinergias entre ambos sistemas. En 2010, se analizaron las causas de daños en 6413 puntos de 32 países. Se trata del mayor número de puntos de seguimiento evaluados desde que en 2005 se comenzara a evaluar en detalle las causas de daños. Esto se debe, en parte, a que se han llevado a cabo las primeras evaluaciones de daños en puntos de seguimiento en Turquía (415 puntos).

Para el análisis, se agruparon varias especies de *Quercus* en los siguientes grupos: robles caducifolios de zonas templadas (*Quercus robur*, *Q. petraea*), robles caducifolios de clima (sub-) templado (*Q. frainetto*, *Q. pubescens*, *Q. pyrenaica*, *Q. cerris*) y *Quercus* de hoja perenne (*Q. coccifera*, *Q. ilex*, *Q. rotundifolia*, *Q. suber*).

## Grupos de especies arbóreas

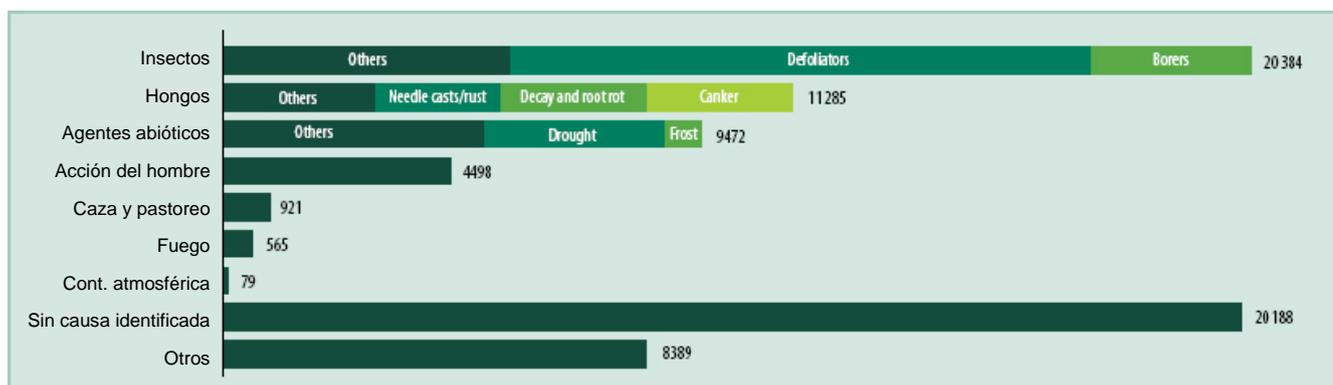
Los agentes abióticos, como la sequía o heladas fueron responsables de daños en alrededor de 10.000 árboles. "La acción directa del hombre" incluye los daños producidos por aprovechamientos forestales o construcción de carreteras. En aproximadamente 20.000 árboles se registraron daños pero no se pudo identificar la causa. La identificación de los tipos específicos de daños en árboles requiere un conocimiento muy especializado. Los

## Los insectos son en la actualidad la principal causa de daños en árboles

El estado de las copas de los árboles y por lo tanto el estado de salud de los árboles del bosque depende de múltiples influencias. Los factores dañinos directamente visibles se evalúan de manera regular junto con la defoliación. En 2010, más de 20 000 árboles, cifra que corresponde al 27% de los árboles que registraron daños, mostraban síntomas causados por "insectos" (Fig. 2-5). Cerca de la mitad de los síntomas causados por insectos se atribuyen a insectos que se alimentan de hojas (defoliadores) siendo el resto perforadores de madera y otros insectos. Alrededor del 15% de los árboles (algo más de 11.000) presentaban daños causados por "hongos". "Los agentes abióticos", como la sequía o heladas fueron responsables de daños en alrededor de 10.000 árboles. "La acción directa del hombre" incluye los daños producidos por aprovechamientos forestales o construcción de carreteras. En aproximadamente 20.000 árboles se registraron daños pero no se pudo identificar la causa. La identificación de los tipos específicos de daños en árboles requiere un conocimiento muy especializado. Los

daños causados por la "contaminación atmosférica" se refieren sólo a los efectos directos del humo o los gases contaminantes, los efectos indirectos no fueron evaluados. La "Caza y pastoreo" sólo reflejan daños en árboles adultos.

Muchas especies de insectos viven de manera natural y dependen de los árboles. Así, la información sobre insectos que influyen en el estado de los árboles también refleja aspectos de biodiversidad y los síntomas observados no se interpretan exclusivamente como daños. Sin embargo, cuando los bosques ya están dañados por tormentas, sequía u otros factores de estrés, las poblaciones de insectos pueden incrementarse y causar graves daños económicos. Los puntos con grave presencia de insectos en el año 2010 se hallan en la parte oriental de Pirineos, los Apeninos, Chipre y el este de la República Eslovaca (Fig. 2-4). La aparición de insectos y hongos reacciona dinámicamente con los cambios en las condiciones medioambientales y es de gran importancia una evaluación continua anual. El Programa de Seguimiento de Bosques de ICP-Forests es el único sistema que proporciona datos armonizados transnacionales de manera anual.



**Figura 2 – 5:** Frecuencia de diferentes agentes en árboles en 2010. Las figuras indican el número de árboles. Se presentaron causas de daños en el 64% de todos los árboles evaluados.

## LOS SUELOS Y LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

Los ciclos de nutrientes, del Carbono y del agua dependen de que los suelos estén intactos. La contaminación, así como prácticas forestales inadecuadas son sus mayores amenazas. Los bosques se encuentran expuestos a los altos niveles de contaminación atmosférica ya que las grandes superficies ocupadas por las copas son muy efectivas capturando la deposición atmosférica.

Fotos: Parcela de seguimiento intensivo en Finlandia con colectores de nieve (bolsas de plástico), colectores de desfronde (verde), de deposición húmeda (negro/naranja) y lisímetros de cápsulas de succión para el muestreo del agua en el suelo (botella de cristal).



### 3. LIGERA RECUPERACIÓN SOLO EN LOS SUELOS EXTREMADAMENTE ÁCIDOS

#### Resumen

- El muestreo de suelos sistemático basado en más de 5.000 puntos de muestreo, indica que el 14% de los mismos presenta desequilibrios de nutrientes del suelo inducidos por la entrada de un exceso de nitrógeno. Lo más probable es que la materia orgánica y el ciclo de nutrientes se encuentren alterados en estas zonas y que la salud y vitalidad del bosque pueda encontrarse también en riesgo. En los últimos 15 años ha habido pocos cambios en el índice C/N.
- Se ha observado una ligera recuperación en la acidificación del suelo a nivel Europeo pero solo en suelos forestales extremadamente ácidos, los suelos menos ácidos todavía mostraban una creciente acidificación.
- Los datos sobre suelos ofrecen información sobre el almacenamiento de carbono en suelos forestales y muestran la importancia de los suelos en el contexto de la mitigación del cambio climático. Los más altos contenidos de carbono orgánico en la capa orgánica se registraron en la región noroccidental de Europa. Se detectó un incremento en el contenido de carbono orgánico en la mayoría de los puntos revisitados, pero las incertidumbres acerca de los cambios en los stocks de carbono en los últimos 10 a 20 años siguen siendo elevadas.

#### Métodos y datos

Más de 5.000 puntos de Nivel I de ICP-Forests fueron estudiados en dos muestreos de suelos forestales en toda Europa. El primero tuvo lugar entre 1986 y 1996, y el segundo entre 2004 y 2008 bajo el Reglamento Forest Focus (CE n°2152/2003). Para estimar cambios en las propiedades del suelo forestal a escala regional y Europea, en la mayor parte de los países. Los puntos de muestreo de ambos estudios se organizaron sistemáticamente en la misma red de Nivel I de ICP-Forests, de 16 × 16 kilómetros.

La proporción carbono a nitrógeno (relación C/N) en las capas orgánicas y en los suelos es un buen indicador de la tasa de descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nitrógeno y el volumen de nutrientes. En los bosques sanos la relación C/N del suelo forestal es mayor que la de los suelos minerales. Sin embargo, en zonas con una elevada deposición de nitrógeno, esta relación se invierte y el índice C/N cae por debajo de 1. La relación de C/N en el suelo forestal sobre la relación en suelos minerales, conocida como índice C/N es un indicador útil para detectar el desequilibrio inducido por la entrada de un exceso de nitrógeno. El pH del suelo indica el grado de acidez o alcalinidad de un suelo. La saturación de bases, calculada como la proporción de cationes básicos intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) respecto a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, se considera una medida de la capacidad de amortiguación del suelo frente a la acidificación.

#### Pocos cambios en los desequilibrios de nutrientes en el suelo

Las alteraciones en el ciclo de nutrientes, tal y como indica el índice C/N se producen principalmente en la región Centro-Oeste de Europa y en partes de Europa central y oriental y los Estados bálticos (Fig. 3-1). El crecimiento de los bosques se encuentra fuertemente estimulado por la deposición de nitrógeno y por las menores proporciones C/N en el suelo del bosque. Sin embargo, si el suelo del bosque no puede proporcionar otros nutrientes de forma equilibrada, es probable que la salud de los árboles se vea afectada. Los nitratos también pueden filtrarse desde el suelo a las aguas subterráneas y superficiales.

Sólo se observó una disminución muy pequeña en el porcentaje de puntos afectados entre los dos muestreos de suelos, del 17% (1986-1996) al 14% (2004-2008). En el primer muestreo de suelos, nueve países tenían más del 20% de sus puntos con un índice C/N inferior a 1 frente cinco países en el segundo muestreo. Sin embargo, en algunos países no se repitió el muestreo. Esto demuestra la importancia de la reevaluación sistemática en los mismos puntos y en todos

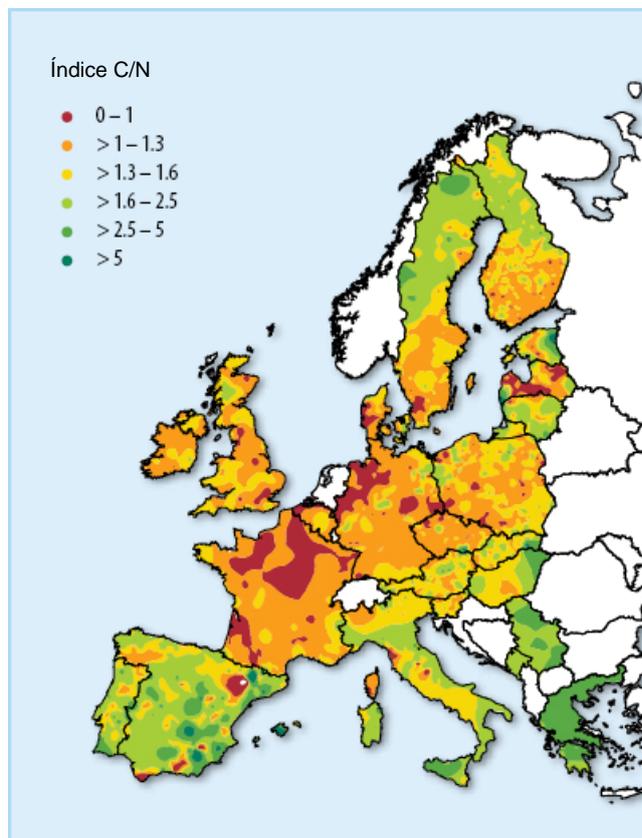
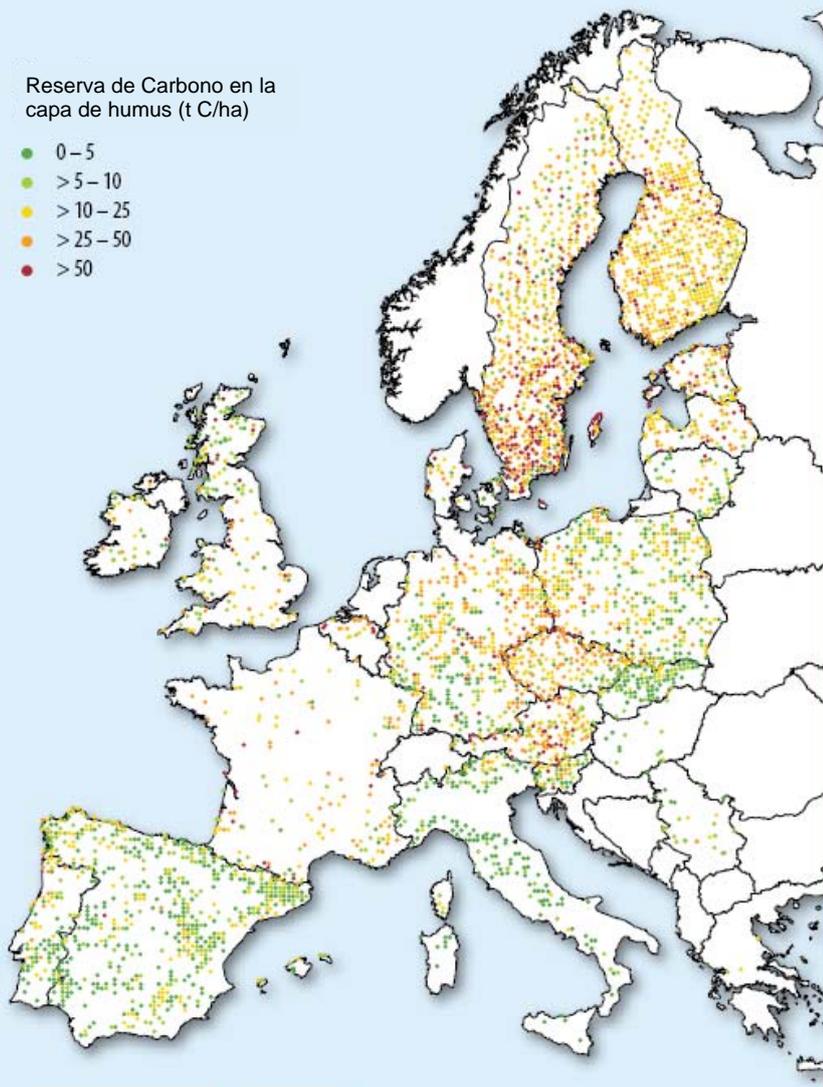
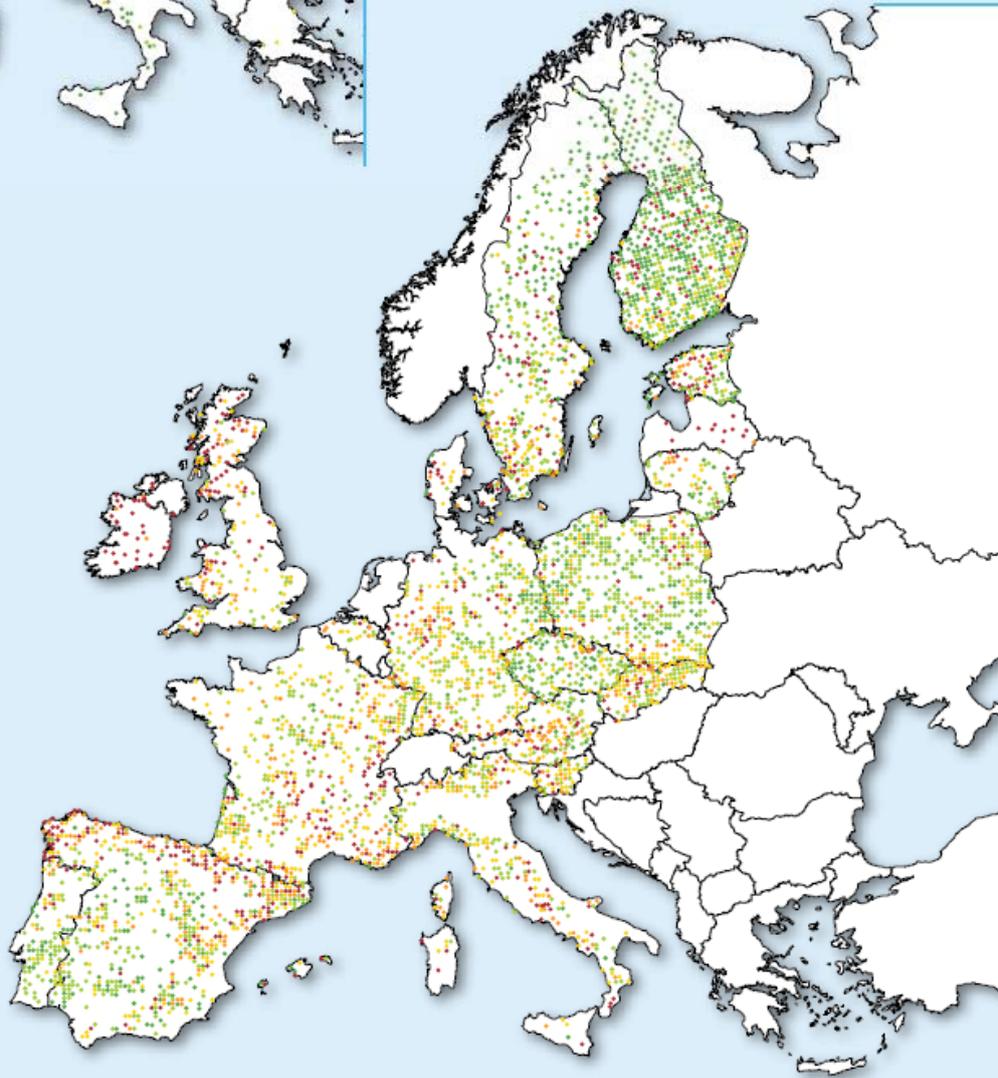


Figura 3 – 1: Regiones Europeas donde se sospecha que el desequilibrio de nutrientes en los suelos forestales se basan en el índice C/N. las áreas afectadas (índice C/N < 1) se indican en rojo. Los países en blanco no participaron en el muestreo.



Reserva de Carbono en el suelo mineral (0-30 cm.) (t C/ha)

- 0 – 30
- > 30 – 60
- > 60 – 90
- > 90 – 120
- > 120



**Figura 3 – 2:** Las reservas de carbono en las capas de humus y en el suelo mineral (0 – 30 cm.) tal y como se observaron durante el estudio BioSoil (2004 – 2008).

### Recuperación de suelos muy ácidos

El valor del pH permaneció estable en el 57% de los más de 2.000 puntos re-visitados en el segundo muestreo de suelos. Sin embargo, aumento en los suelos forestales extremadamente ácidos (con pH inferior a 4,0), pero disminuyó en los suelos forestales con pH superior a 4,0. Siguiendo los cambios en el pH, la saturación de bases se incrementó significativamente en los suelos forestales acidificados (con valores de saturación de bases por debajo del 20%) y descendió en los suelos forestales con valores de saturación de bases superior al 20% en el primer muestreo. El porcentaje de puntos con baja capacidad de amortiguación disminuyó del 48% en el primer muestreo a un 28% en el segundo muestreo. Esto podría indicar una leve recuperación del suelo frente a la acidificación a nivel Europeo. Amplias zonas forestales han sido objeto de enmiendas calizas a lo largo de los últimos 20 años; el efecto de la recuperación puede ser en parte relacionado con esta medida.

### El almacenamiento de carbono en los suelos forestales ayuda a mitigar el cambio climático

El suelo forestal tiende a fijar más carbono que el suelo cultivable. El carbono orgánico en suelos forestales se determinó de manera separada para el suelo mineral hasta 1 m. de profundidad y para la delgada capa de humus que cubre el suelo forestal y añade un 20% extra al total del carbono orgánico del suelo.

Las reservas de carbono en los suelos forestales se podrían cuantificar para toda Europa usando de base el segundo muestreo de suelos. Las reservas medias de carbono en las capas de humus son de 23,8 t/ha. Las reservas de carbono suelen ser mayores en los bosques nórdicos (25 a 50 t/ha) que en la región Mediterránea (5 a 25 t/ha).

### Los suelos de turba almacenan grandes cantidades de carbono

Las reservas de carbono orgánico en los 30 cm. superiores del suelo mineral son de 64,3 t/ha en promedio (Fig. 3-2), pero son mucho más altas en los suelos de turba, en los que ascienden a 208 t/ha. La importancia de las turberas es aún más evidente cuando se considera el promedio de las reservas de carbono a 1 m de profundidad: 633 t/ha en comparación con los 108 t/ha de suelo forestal sin capas de turba. La conservación de las turberas es de máxima importancia para la mitigación del cambio climático, y allí donde las condiciones climáticas y medioambientales lo permitan, se deben ampliar estas áreas. La mayoría de los puntos de Nivel I en turberas se localizan en Suecia, Finlandia, Polonia, Reino Unido, Irlanda y los Estados bálticos.

Cerca del 60% de las reservas de carbono se almacena en los 30 cm. superiores de los suelos forestales minerales analizados a la profundidad de 1 m. En los suelos cultivados, estas reservas tienden a la oxidación y son en parte re-emitidas a la atmósfera, acelerando el cambio climático. Por el contrario, debido a su limitada alteración y a las continuas aportaciones de material vegetal, los suelos forestales tienen la capacidad única de conservar sus reservas de carbono. El segundo muestreo Europeo de suelos forestales arrojó un incremento de carbono orgánico en la capa superior orgánica de 20 cm. en la mayor parte de los puntos que fueron re-visitados. Sin embargo, parte de este aumento podría deberse al empleo de metodologías diferentes en las evaluaciones y en los análisis, y solamente tras la realización de un tercer muestreo en los mismos puntos se podría tener una clara imagen a nivel Europeo.

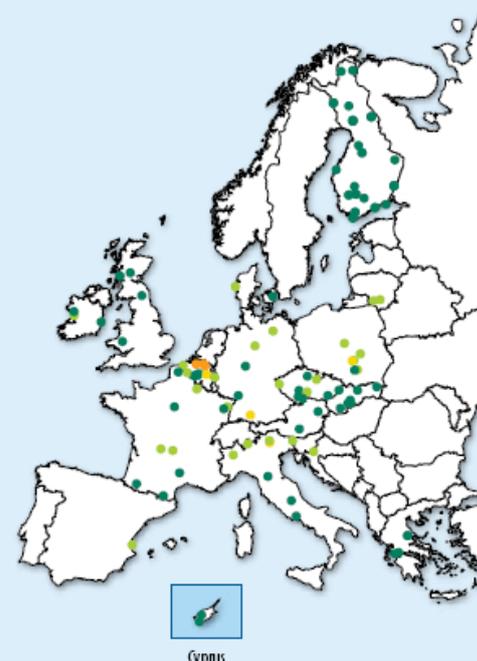
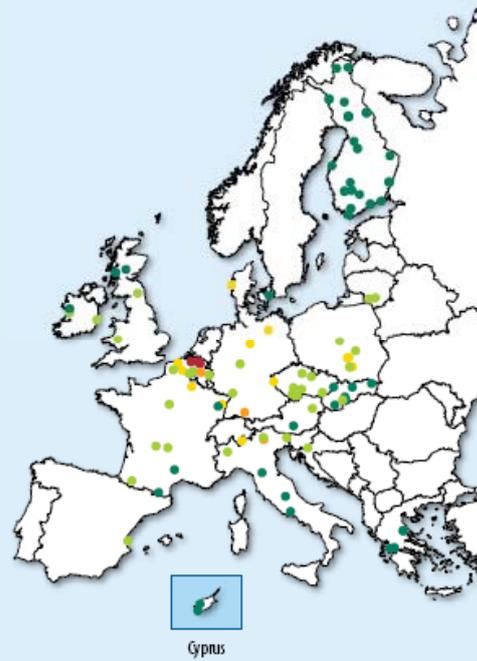
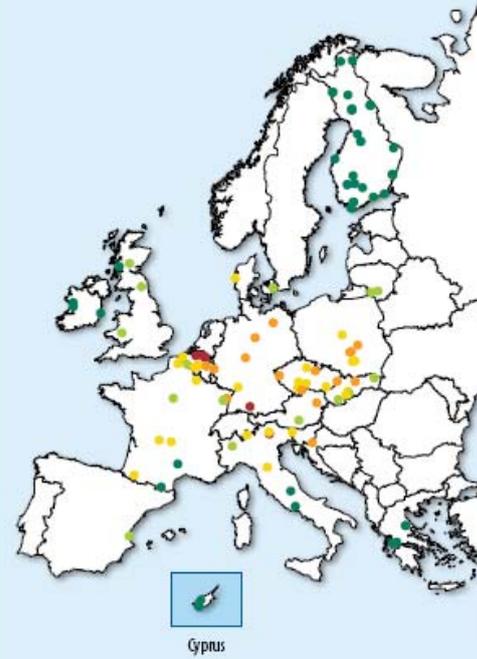
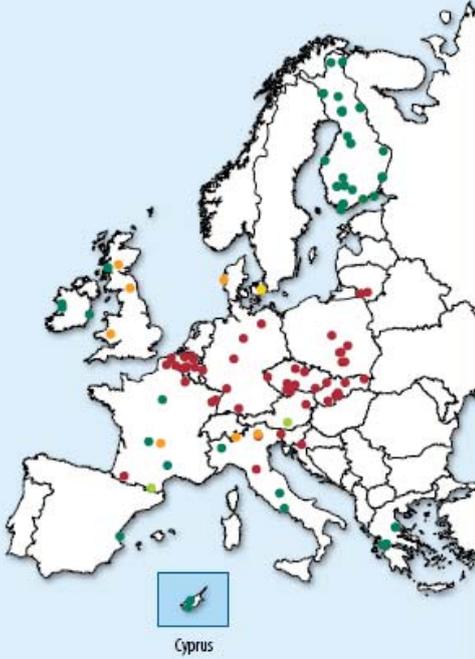
## 4. CONTINUAN LOS EXCESOS EN LAS CARGAS CRÍTICAS DE NITRÓGENO

### Resumen

- Los excesos en las cargas críticas de deposición ácida están remitiendo. Esto demuestra el rotundo éxito de las políticas de aire limpio. Sin embargo, la acidificación previa del suelo es todavía una carga ya que la recuperación de los suelos forestales puede tardar décadas.
- El continuo exceso en las cargas críticas de deposición de nitrógeno indica la necesidad de reducir más las emisiones. Es probable que en 2020 se excedan las cargas críticas en el 30% de las parcelas (en comparación con el 50% de puntos en 1980). La máxima reducción posible, factible tecnológicamente, podría reducirlo a un 10% de las parcelas.
- El agotamiento de los cationes básicos por la deposición ácida y la continua entrada de nitrógeno incluso más allá de los niveles de saturación de nitrógeno conduce a desequilibrios de nutrientes en los suelos de muchas zonas forestales e implica un riesgo para la salud y estabilidad de los bosques.

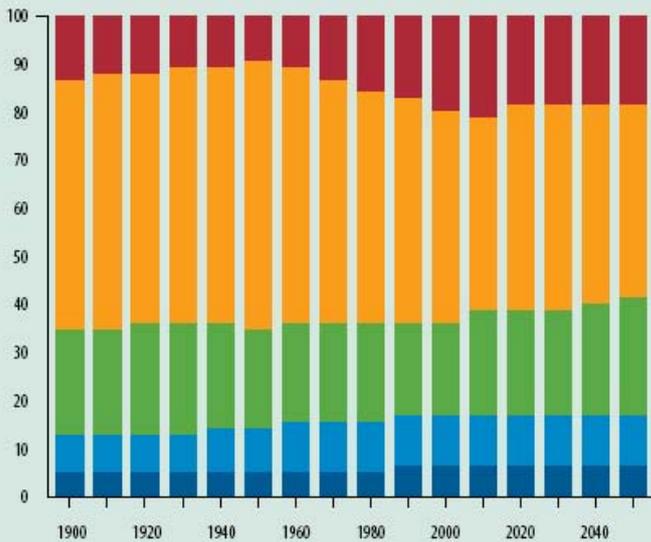
### La reducción en la deposición ácida refleja el éxito de las políticas de aire limpio

En 1980, se superaron las cargas críticas de acidez en un 56,5% de las parcelas (Fig. 4-1). El hecho de no superarse en una serie de parcelas fue porque la deposición de azufre en suelos calcáreos (por ejemplo, en muchas zonas del área Mediterránea) no superó las cargas críticas de acidez, mientras que otras parcelas se encontraban en zonas de baja deposición (por ejemplo, en los países nórdicos). En general, los excesos se redujeron entre 1980 y 2000, año en el cual las cargas críticas se superaron tan solo en el 17,6% de las parcelas. Los escenarios de deposición para 2020 se basan en los proyectos actuales de legislación nacional de que la deposición de azufre tan sólo acabará de sobrepasar las cargas críticas de acidez. Las cargas críticas de nitrógeno se superaron en el 59,7% de las parcelas en 1980 (Fig. 4-2). Los modelos sugieren que



■ 0-20 ■ >20-40 ■ >40-60 ■ >60-80 ■ >80

% de parcelas



**Figura 4 – 3:** Desarrollo de la saturación de bases modelizada en el agua del suelo en 77 parcelas. La saturación de bases decreciente indica una reducción de la capacidad tampón de los suelos frente a la acidificación.

la reducción en las emisiones sobre la base de la legislación vigente reducirá el porcentaje de parcelas con excesos en las cargas críticas de nitrógeno a un 30,6% en 2020. La máxima reducción de emisiones de nitrógeno posible (no representada en ninguna figura), factible tecnológicamente, podría sin embargo, reducir los excesos a menos de un 10% de parcelas.

### Pérdida de nutrientes debido a aportes acidificantes anteriores

Los aportes acidificantes de las últimas décadas han cambiado la química del suelo. Los cationes básicos, que son nutrientes importantes y que sirven de amortiguación del suelo frente a los aportes acidificantes, han sido lixiviados de las capas superiores del suelo mineral. Esto se refleja en los resultados del modelo a partir de parcelas en la mayoría de las regiones de Europa y también en la generalmente decreciente saturación básica de los suelos (Fig. 4-3). Es probable que se tarde muchas décadas hasta que la saturación básica recupere los niveles preindustriales. Los desequilibrios nutricionales son resultado de una menor disponibilidad de cationes básicos y un aumento de disponibilidad de nitrógeno nutriente en la solución del suelo. Tales desequilibrios pueden tener efectos directos sobre los ecosistemas forestales incluyendo el aumento de la susceptibilidad a patógenos y plagas.

### Continúa la eutrofización debido a la contaminación por nitrógeno

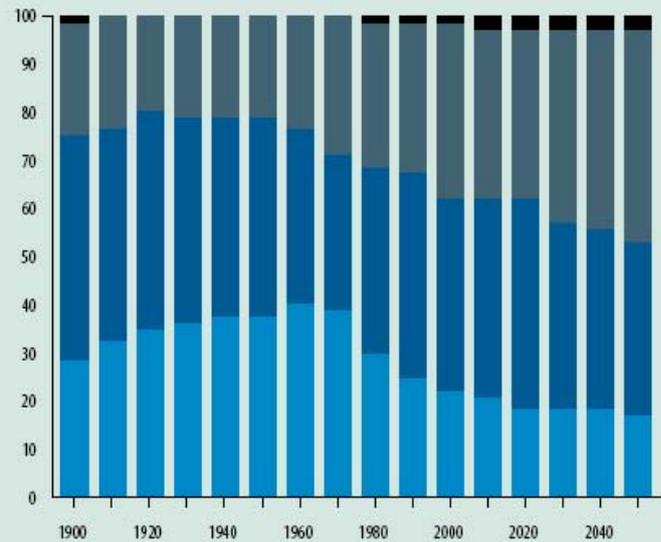
Los modelos indican una disminución significativa en la relación carbono nitrógeno (C/N) desde mediados

**Figura 4 – 1:** (columna de la izquierda): Excesos en las cargas críticas de acidez en 1980 (arriba), 2000 (medio), y 2020 (abajo) asumiendo escenarios de deposición basados en la legislación nacional vigente.

**Figura 4 – 2:** (columna de la derecha): Excesos en las cargas críticas de nitrógeno nutriente en 1980 (arriba), 2000 (medio), y 2020 (abajo) asumiendo escenarios de deposición basados en la legislación nacional vigente.

■ 0-10 ■ >10-17 ■ >18-24 ■ >24

% de parcelas



**Figura 4 – 4:** Desarrollo de la proporción carbono nitrógeno (C/N) en el agua del suelo para 77 parcelas. Una proporción C/N decreciente indica que existe más nitrógeno disponible.

de 1980, lo que sugiere un aumento en la saturación de nitrógeno debido a una deposición de nitrógeno inorgánico continuadamente alta (aunque decreciente en algunas parcelas). La disminución en curso de la relación C/N indica la continua eutrofización de las masas forestales. Está estrechamente ligado al exceso en las cargas críticas de nitrógeno nutriente modelizado. Las estimaciones según el escenario de referencia calculado por el programa ICP Modelling and Mapping esperan que un 61% del área de los ecosistemas sensibles de la UE se encuentre en riesgo de eutrofización (nitrógeno nutriente) en 2020, pero solo un 7% del área se encuentre en riesgo de acidificación.

### Métodos y datos

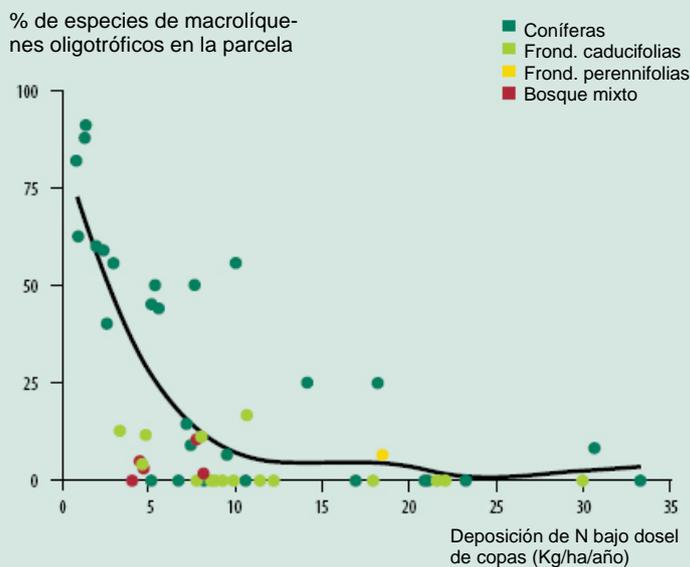
Las cargas críticas - umbrales derivados de los modelos de ecosistemas por debajo los cuales no se espera que se produzca un daño ambiental - se calculan para identificar los lugares en los cuales los niveles de deposición han llegado a un estado crítico y los ecosistemas podrían estar en riesgo. El cálculo de las cargas críticas se basa en un enfoque equilibrado que tiene en cuenta la deposición atmosférica, la estructura de la masa, la roca madre y la química del suelo. La presente evaluación se basa en parcelas de Nivel II de 17 países con datos actualizados recientemente de suelo, solución del suelo y deposición. Los escenarios de deposición recopilados por el Centro de Modelos de Evaluación Integrada (CIAM) del Programa Europeo de Evaluación y Seguimiento (EMEP) fueron proporcionados por el Programa ICP - Modelling and Mapping. Esta base de datos se utilizó para modelizar los efectos de la futura deposición de nitrógeno y azufre. Los efectos de la deposición pasada y futura de azufre se proyectaron utilizando el modelo dinámico de química del suelo VSD+. Este modelo requiere datos sobre flujos de deposición, captación de nutrientes, mineralización y erosión.

A detailed close-up photograph of a tree trunk covered in various lichens. The central focus is a large, flat, lobed lichen with a pale, almost white color and a slightly textured surface. Surrounding it are other smaller, more intricate lichen species in shades of green, brown, and grey. The background shows the rough, brown bark of the tree trunk.

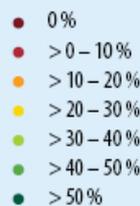
## LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA BIODIVERSIDAD

La biodiversidad forestal se refiere a múltiples funciones y servicios que los bosques proporcionan. Entre ellos, la composición en especies es de crucial importancia. Los líquenes epífitos se encuentran entre los bioindicadores más sensibles ante los cambios medioambientales.

Foto: *Parmotrema stippeum* es una especie de líquen epífita adaptada a condiciones pobres en nutrientes. Los líquenes epífitos son bioindicadores de factores medioambientales como la calidad del aire o la deposición.



**Figura 5 – 1:** Porcentaje de especies de macrolíquenes adaptadas a condiciones pobres en nutrientes en función de la deposición de nitrógeno bajo el dosel de copas a nivel de parcela.



**Figura 5 – 2:** Porcentaje de especies de líquenes adaptadas a condiciones pobres en nutrientes. Los bajos porcentajes de estas especies indican altas cargas de deposición de nitrógeno.

## 5. LA DEPOSICIÓN DE NITRÓGENO AFECTA A LA DIVERSIDAD EN ESPECIES DE LÍQUENES

### Resumen

- *Los líquenes epífitos se encuentran entre los bioindicadores más sensibles para diferentes factores de estrés medioambientales, incluyendo la deposición de nitrógeno. En el 80% de las parcelas evaluadas, la composición en especies de líquenes indica una deposición de nitrógeno insosteniblemente alta.*
- *Las especies de líquenes son solo un ejemplo especialmente sensible. Los estudios previos del programa revelan que existen claros efectos de la deposición de nitrógeno en la vegetación que cubre el suelo del bosque. La evaluación Europea de nitrógeno estima que las emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) han reducido la biodiversidad forestal en más de un 10% en dos tercios de la superficie de Europa.*

El promedio de líquenes oligotróficos en las parcelas disminuyó por debajo del umbral del 40% tan pronto como la deposición de nitrógeno medida por debajo de la cubierta forestal superó 3,8 kg./ha/año (Fig. 5-1). Esto demuestra que incluso una deposición de ni-

trógeno relativamente baja tiene una clara influencia en la composición en especies de los líquenes epífitos. La carga crítica de nitrógeno de 3,8 Kg/ha/año se superó en el 80% de las parcelas. Los efectos sobre otros grupos de especies sólo se producen con aportes de nitrógeno más elevados. Los efectos de la deposición de nitrógeno sobre los líquenes epífitos son mucho menos evidentes en los bosques de coníferas que en los de frondosas. El mayor efecto de la deposición de nitrógeno en los bosques de frondosas tiene que estudiarse con mayor detalle.

Los mayores porcentajes de especies de líquenes oligotróficos y por tanto los menores efectos de la deposición de nitrógeno se observaron en Finlandia y en algunos puntos de la región mediterránea, en Italia y España. Por el contrario, la mayoría de los puntos en Europa Central, especialmente en Alemania, se caracterizaban por porcentajes muy bajos de especies de líquenes oligotróficos, indicando entradas muy altas de nitrógeno (Fig. 5-2).

### Métodos y datos

Los líquenes se pueden utilizar como indicadores de alerta temprana, ya que probablemente son el primer grupo de especies en reaccionar al efecto de los contaminantes atmosféricos. Los líquenes oligotróficos son aquellos que se encuentran adaptados al crecimiento en condiciones pobres en nutrientes. El aumento de la deposición de nitrógeno añade nutrientes a los ecosistemas forestales y provoca un cambio en la composición en especies. Para evaluar los efectos de la deposición de nitrógeno, las especies de líquenes se clasificaron primeramente en oligotróficas y no oligotróficas en base a la información más reciente obteni-

da de literatura. Según esta evaluación, se considera umbral crítico para la deposición de nitrógeno si el 40% de todas las especies de líquenes presentes en una parcela son oligotróficas. Los estudios aquí presentados se basan en un conjunto de datos de 292 especies de líquenes epífitos determinadas en 1155 árboles de 83 parcelas de Nivel II. 142 especies fueron clasificadas como oligotróficas, lo que corresponde a un 49% de todas las especies identificadas. Los datos se recogieron entre 2004 y 2006 en diez países en el ámbito del proyecto ForestBIOTA. ([www.forestbiota.org](http://www.forestbiota.org)).



## EL CRECIMIENTO FORESTAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El crecimiento arbóreo y las existencias en volumen de madera son de inmediata relevancia para la economía pero también de gran importancia como indicador ecológico del estado de los bosques. Los bosques son grandes sumideros de carbono que capturan dióxido de carbono de la atmósfera. Por tanto, siempre que exista un incremento neto de madera pueden ayudar a mitigar el cambio climático.

m<sup>3</sup>/ha

- 0 – 150
- > 150 – 300
- > 300 – 450
- > 450 – 600
- > 600 – 800
- > 800 – 1310

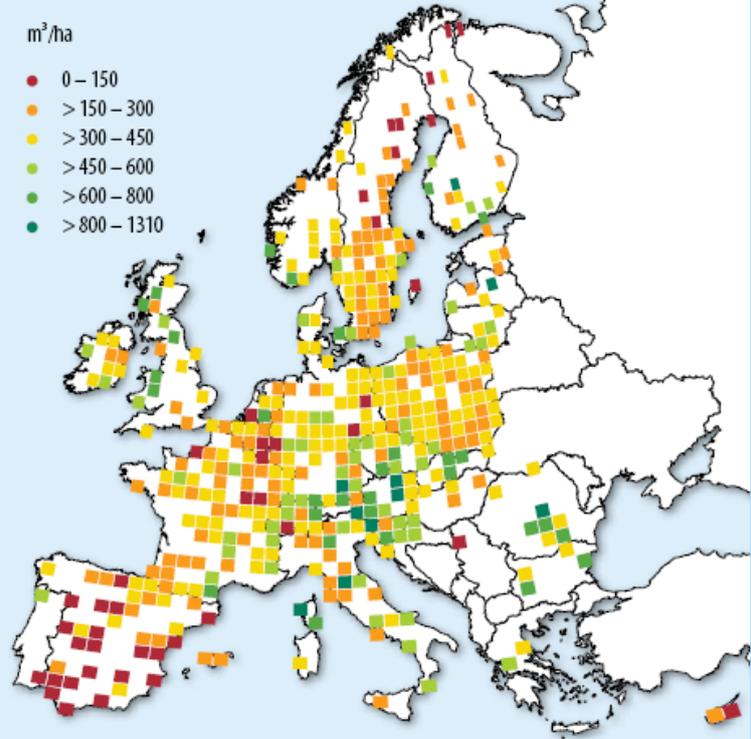


Figura 6 – 1: Volumen del tronco (m<sup>3</sup>/ha). Datos medios por par-

m<sup>3</sup>/ha/y

- 0 – 4
- > 4 – 8
- > 8 – 12
- > 12 – 16
- > 16 – 20
- > 20 – 24
- > 24 – 28

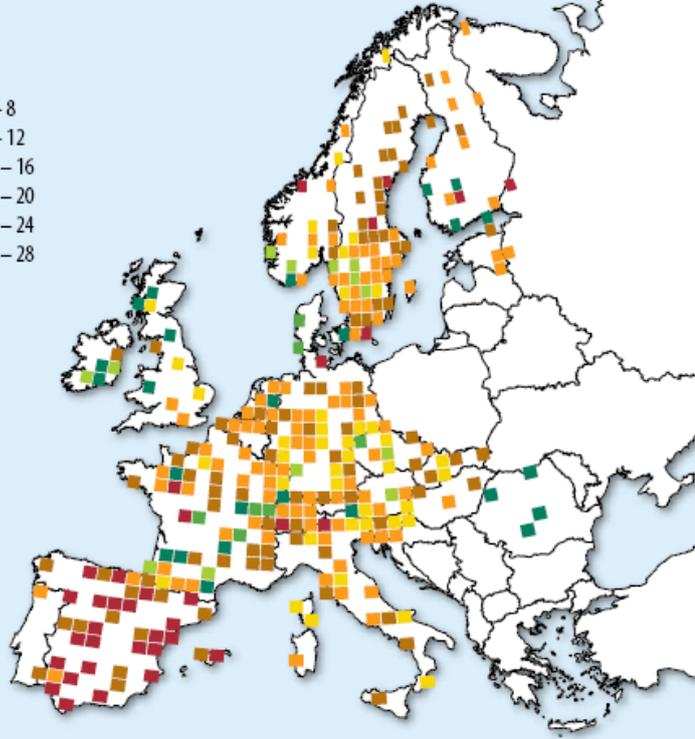


Figura 6 – 2: mediana del incremento del volumen del tronco (en

## 6. DATOS ARMONIZADOS SOBRE CRECIMIENTO ARBÓREO DE PARCELAS EN TODA EUROPA

### Resumen

- Los resultados obtenidos de parcelas de las parcelas de Nivel II reflejan las condiciones naturales de crecimiento, con mayores volúmenes de madera y tasas de crecimiento en parcelas del centro de Europa y los Alpes y valores más bajos en el norte y el sur de Europa. Estos datos son útiles para el estudio de los vínculos entre el crecimiento y la vitalidad forestal y los cambios en las condiciones medioambientales.

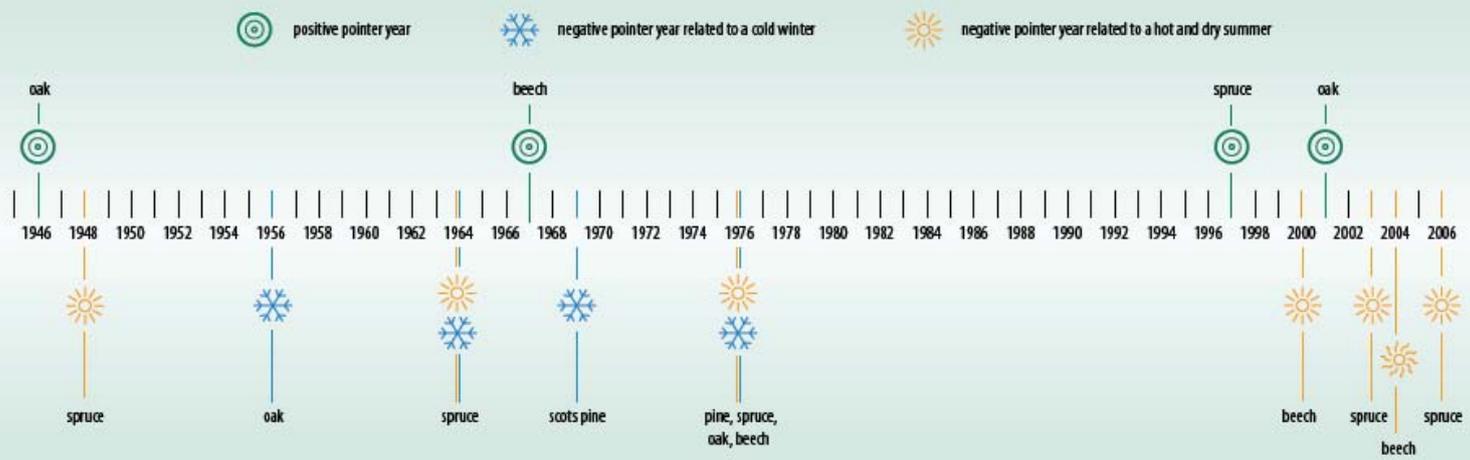
Las condiciones naturales de crecimiento se reflejan bien en el conjunto de datos Europeos. Los mayores volúmenes de madera por hectárea se encontraron en parcelas de Europa Central y los Alpes y los menores volúmenes por hectárea en las regiones norte y sur (Fig. 6-1). Muchas parcelas tienen entre 300 y 600 m<sup>3</sup>/ha. Esto refleja principalmente las condiciones naturales de crecimiento. Mientras que el clima es a menudo demasiado cálido y seco en el Sur, las bajas temperaturas impiden un mayor crecimiento en el Norte. Los grandes volúmenes en los Alpes se produjeron a altitudes más bajas donde el buen suministro de agua coincide con temperaturas moderadas, intensidades más bajas de aprovechamiento y edades de la masa más elevadas, en lugar de en condiciones alpinas. Los incrementos de volumen del tronco presentan patrones espaciales similares (Fig. 6-2). Los Incrementos de los volúmenes de madera también dependen de las

especies arbóreas. Las diferencias para especies arbóreas particulares no se muestran en los gráficos de resumen.

Los resultados proporcionan una perspectiva única en cuanto al crecimiento de los bosques partiendo de la base de mediciones estandarizadas. Constituyen una base valiosa para las futuras validaciones, el perfeccionamiento o la creación de modelos de crecimiento forestal, la determinación de las respuestas en cuanto a crecimiento frente a las condiciones medioambientales del lugar y sus cambios, así como para la estimación de la madera extraíble y la biomasa potencialmente almacenable por los bosques Europeos bajo diferentes escenarios de gestión. Hasta la fecha, estos estudios han sido llevados a cabo en su mayoría a nivel regional o de parcela y no han hecho más que empezar a escala Europea.

### Métodos y datos

El crecimiento se evaluó para 822 parcelas de 30 países Europeos en función del diámetro normal (a 1,30 metros) y las alturas de los árboles seleccionados. Existen mediciones repetidas para diferentes intervalos de medición de 600 parcelas, lo que permite la determinación del crecimiento de los bosques entre dos o más evaluaciones. Los datos fueron promediados para cada celda de la cuadrícula.



**Figura 7 – 1:** Presencia de años indicadores positivos y negativos para las principales especies arbóreas en Alemania entre 1945 y 2006. Las reacciones del crecimiento arbóreo a lo largo de la última década indican una frecuencia creciente de las condiciones climáticas extremas.

## 7. LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS SE HACEN MÁS FRECUENTES

### Resumen

- El estado de los árboles forestales indica un aumento de la frecuencia del calor y la sequía en verano durante la última década en Europa Central. Se analizaron canutillos de crecimiento cubriendo los últimos 60 años procedentes de 88 parcelas de Nivel II alemanas.
- De las cuatro especies arbóreas principales analizadas, la píceas es la que reaccionó con mayor fuerza ante el calor extremo y la sequía y mostró poca recuperación en los años siguientes. Los datos apoyan las decisiones de ordenación forestal en cuanto a la futura selección de las especies arbóreas destinadas a la adaptación de los bosques frente al cambio climático.

### Creciente frecuencia de las condiciones climáticas extremas

De 1945 a 2006 se registraron más años indicadores negativos que positivos indicando condiciones climáticas extremas. 1976 fue el año más extremo, ya que es el único año en que todas las especies arbóreas se vieron afectadas (Fig. 7-1). La reducción extrema de los crecimientos se debió a un invierno y una primavera fríos y tardíos, seguidos de un verano cálido y seco. La combinación de dos extremos climáticos dentro de un mismo año dio lugar a un año indicador extremadamente negativo en la mayor parte de Centroeuro-

### Métodos y datos

Los anillos de los árboles nos proporcionan un método para el análisis retrospectivo del crecimiento de los árboles. Estos contienen información sobre el crecimiento y la vitalidad de los árboles a lo largo de su vida. Se tomaron muestras de canutillos de crecimiento de más de 2.000 árboles en pie representando a 88 parcelas alemanas de Nivel II entre 2005 y 2007. Se analizó el crecimiento para: 33 parcelas de abeto de píceas; 19 parcelas de pino silvestre; 25 parcelas de haya; 11 parcelas de roble común y albar.

El efecto de las condiciones meteorológicas en años concretos se evaluó mediante la determinación de los llamados "años indicadores". En tales años, la mayoría de los árboles muestreados en una masa forestal muestran similares reacciones, positivas o negativas, en cuanto a su crecimiento, reflejando condiciones climáticas extremas. Los años indicadores son en su mayoría específicos para una especie concreta ya que las especies arbóreas reaccionan de manera diferente a dichos extremos. Los años indicadores se relacionaron con datos climáticos de resolución diaria.



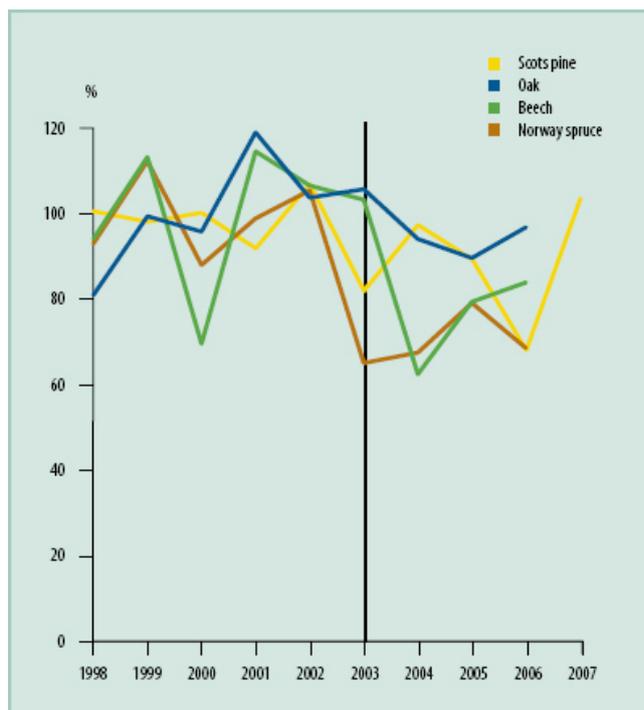
pa. Desde el año 2000, se sucedieron con frecuencia los años indicadores negativos para el caso de hayas y píceas, debido principalmente a los veranos cálidos y secos.

### La mayoría de los efectos graves los mostró la picea

Las reacciones de las diferentes especies arbóreas frente al calor y sequía extremos del verano de 2003 en Centroeuropa se analizaron con mayor detalle (Fig. 7-2). La picea mostró las reducciones de crecimientos mayores y de efecto más duradero. Las parcelas de picea analizadas no muestran casi ninguna recuperación. La mayoría de estas masas forestales crecen en las tierras bajas de Europa Central y en las regiones montañosas más bajas donde la picea no se encuentra naturalmente. La especie se encuentra menos adaptada a las condiciones del lugar y es más sensible al calor y la sequía observados.

### Hayas, de recuperación más rápida

Las hayas que se presentan naturalmente en la mayoría de las parcelas de muestreo muestran una clara, aunque retrasada, reducción del crecimiento en el año 2004. Sin embargo, el proceso de recuperación es relativamente rápido. Los pinos muestran una rápida reducción del crecimiento pero también una rápida recuperación. Los robles común y albar muestran pequeñas reducciones de crecimiento y mayor tolerancia al estrés hídrico.



**Figura 7 – 2:** Anchura media relativa de los anillos de crecimiento después de 1998 para picea, pino silvestre, haya y robles común y europeo en todas las parcelas de Nivel II en Alemania. La picea mostró las reacciones más severas ante la sequía extrema de 2003, mientras que las especies de *Quercus* se mostraron mejor adaptadas. (El crecimiento medio para todas las parcelas entre 2003 y 2007 se relaciona con la media del periodo de referencia entre 1998 a 2002. Los pinos se muestrearon después y por tanto representan un año más).

## 8. EL CRECIMIENTO ARBÓREO Y LA VITALIDAD SEVERAMENTE AFECTADOS POR LA SEQUÍA

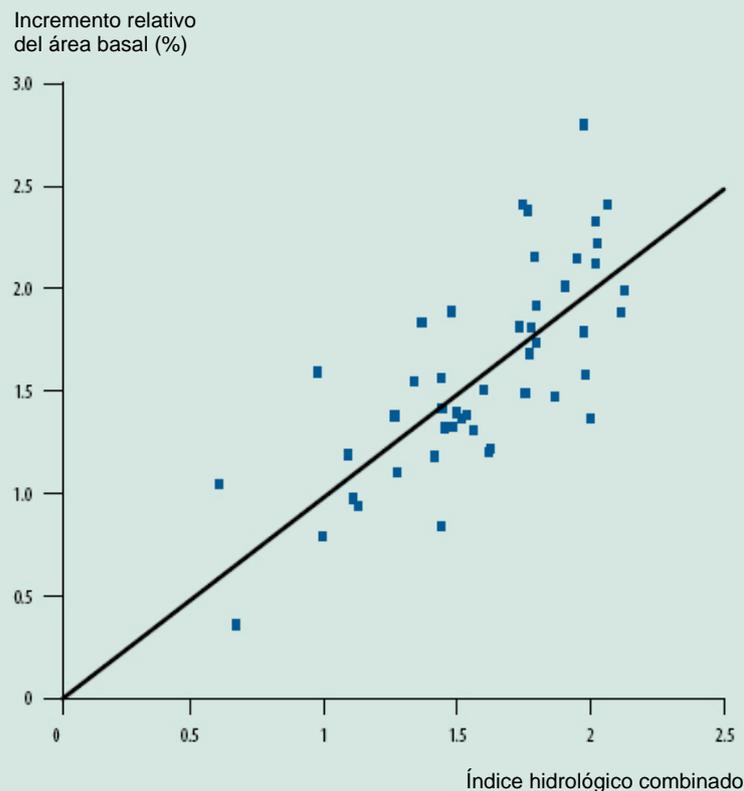
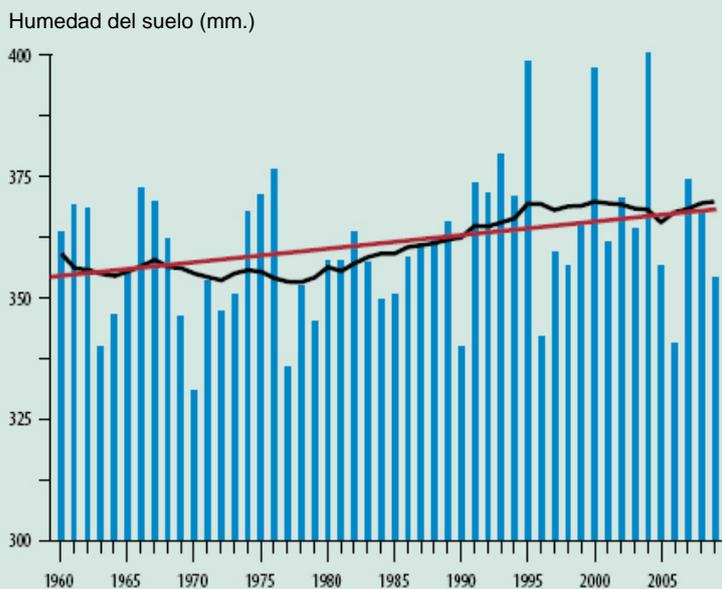
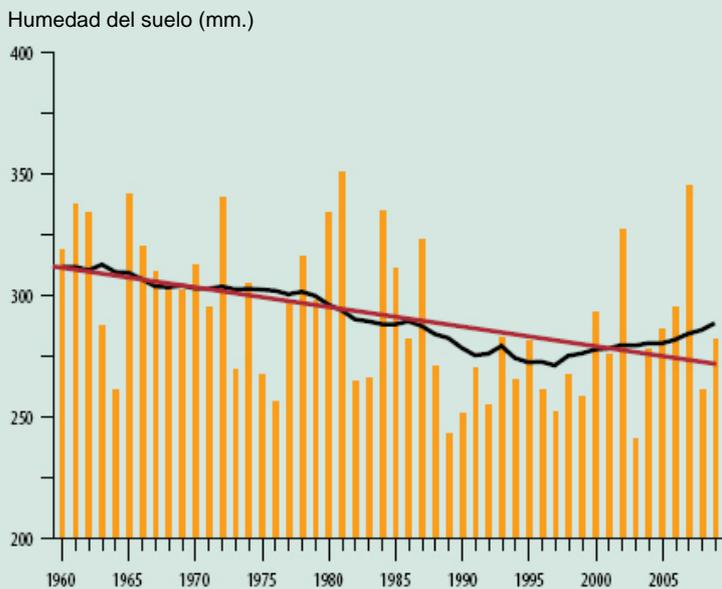
### Resumen

- Los resultados de los modelos muestran una disminución en la disponibilidad de agua en verano y unas condiciones de cada vez mayor humedad en invierno. También confirman que estas condiciones están fuertemente relacionadas con las reducciones en el crecimiento arbóreo.
- Los escenarios de cambio climático predicen un mayor aumento de las sequías estivales y de las precipitaciones en invierno así como el aumento de la temperatura del aire, y por tanto cada vez más riesgos para la vitalidad de los árboles forestales.

Las simulaciones a largo plazo de 1960 a 2009 en una de las parcelas de Nivel II con mayor seguimiento de Europa Central muestran que la disponibilidad de agua en el suelo durante los meses de verano se redujo un 13% (masa forestal de haya) y un 7% (masa de picea). Los cinco veranos más secos se produjeron durante los últimos 20 años del período de estudio. La disponibilidad de agua en el suelo fue más alta en el verano de 1981 y la más baja en el verano de 2003. En contraste con la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo, el aumento del contenido de

### Métodos y datos

La disponibilidad de agua es variable clave para la comprensión de la absorción de nutrientes, la absorción de CO<sub>2</sub>, el crecimiento arbóreo y la respuesta de los árboles a factores de estrés biótico. Las parcelas de Nivel II proporcionan datos sobre clima, humedad del suelo y nutrientes, así como sobre crecimiento y vitalidad arbórea. El contenido de agua, que representa el flujo de agua entre los bosques y el suelo, no puede medirse por completo, pero puede calcularse usando modelos que se calibran con los datos obtenidos de las mediciones. Los modelos de balance hídrico ayudan a evaluar los efectos relacionados con el agua sobre vitalidad del árbol y condición del estado de los bosques y pueden desarrollar series temporales sobre humedad del suelo. Dentro del proyecto FutMon, se compararon los modelos de balance hídrico con los datos obtenidos de mediciones en parcelas de toda Europa con el fin de mejorar la aplicación de los modelos. La parcela de 'Solling', en el centro de Alemania ofrece una serie muy extensa de mediciones desde 1966 y es una parcela de referencia importante para desarrollo y prueba de modelos.



agua en el suelo se incrementó en los meses de invierno, con los tres inviernos más húmedos ocurriendo durante los últimos 20 años (Fig.8-1).

### Reducciones en el crecimiento después de años de fuertes cambios en el agua del suelo

Los modelos y las mediciones del crecimiento arbóreo confirman la fuerte influencia de la disponibilidad de agua en el suelo sobre el crecimiento de los árboles. Un índice hidrológico podría explicar en más del 50% la variabilidad registrada en las tasas de crecimiento de las hayas en Solling (Fig. 8-2). Las reducciones de crecimiento más fuertes se hicieron evidentes en los años siguientes, con marcados cambios en el agua del suelo (1975/76, 1999/2000, 2003/04) cuando a los veranos extremadamente secos del año anterior le siguieron inviernos extremadamente húmedos y un rápido secado de los suelos en primavera. Por el contrario, los mayores incrementos del crecimiento se registraron en años con cambios moderados en el agua del suelo (1966/67, 1996/97, 2000/01, 2005/06). El índice aplicado agrega la disponibilidad de agua en el verano anterior, el contenido de agua en el suelo en el invierno siguiente y la velocidad de secado del suelo en primavera.

### Graves riesgos por el cambio climático

Para casi toda Europa, los escenarios climáticos del IPCC predicen un aumento de las tasas de precipitación en invierno y/o una bajada de las tasas de precipitación durante el verano, así como un aumento de la temperatura del aire. El estudio del caso Solling demuestra que la combinación de estos factores tiene efectos sustanciales sobre la disponibilidad de agua en el suelo y por tanto sobre el crecimiento de los árboles, ya que da lugar a inviernos muy húmedos, largos períodos de sequía en verano, y marcados cambios en la humedad del suelo durante el conjunto del año. La creciente temperatura del aire podría agravar los efectos hidrológicos. En su conjunto, estos efectos representan graves riesgos para el crecimiento de las hayas. Los efectos sobre otras especies arbóreas y posiblemente los efectos de contrarrestar el aumento de las temperaturas, tales como la aceleración de los procesos de crecimiento o la extensión de la estación de crecimiento se están estudiando actualmente dentro del programa de seguimiento.

**Figura 8 – 1:** Humedad del suelo modelizada para el verano (arriba) y el invierno (medio) dentro de la zona de raíces (mm.) para la parcela de Solling en Alemania central. La frecuencia de veranos secos e inviernos húmedos se incrementa en los últimos 50 años. (Desv. de la media y media móvil con tendencia lineal).

**Figura 8 – 2:** Relación entre índice hidrológico y crecimiento arbóreo, basado en el incremento del área basal. El contenido de agua en el suelo y la velocidad de los cambios en el contenido de agua en el suelo están estrechamente relacionados para el crecimiento forestal. (El índice hidrológico se basa en la disponibilidad de agua en verano y en invierno y en la velocidad de secado del suelo en primavera).

## 8. CONCLUSIONES

Los temas que han sido objeto de debate durante las últimas décadas reflejan las múltiples funciones y servicios que proporcionan los bosques. En la década de los 80, los temores sobre el declive general de los bosques por la deposición ácida condujeron al nacimiento del ICP-Forests. Sin embargo, en la década de los 90 se hizo evidente que, pese a las emisiones anteriores y actuales de contaminantes a la atmósfera, se estaba produciendo un mayor incremento de madera en toda Europa. Con el cambio de siglo, los efectos del cambio climático se hicieron cada vez más evidentes y ahora lo que se necesita son aclaraciones científicas sobre las cuestiones de adaptación de los ecosistemas forestales y la mitigación. El objetivo de detener la pérdida de biodiversidad para el año 2010 implicó una disminución general de la diversidad biológica. En los últimos años, los enfoques de economía verde y de eficiencia en el uso de los recursos han conducido a una creciente demanda de bioenergía y por tanto a un incremento mayor en las cortas de madera.

Los resultados del programa muestran que la situación de los bosques a gran escala se ha deteriorado de manera mucho menos grave de lo que se temía en los 80. Para especies concretas, sin embargo, la defoliación muestra picos y tendencias a la baja, aunque estos estén en su mayoría provocados por las condiciones climáticas regionales. A lo largo de los últimos diez años, los pinos mediterráneos de zonas bajas han mostrado un declive constante. Las especies del género *Quercus* de las zonas templada y mediterránea mostraron los niveles más altos de defoliación.

La deposición ácida se ha visto reducida de manera satisfactoria en la mayor parte de Europa a lo largo de las últimas décadas. Sobre la base de los escenarios de deposición de la CEPE de NNUU se asume que para el año 2020 las cargas críticas de deposición ácida no se superaran en más del 90% de las parcelas de seguimiento intensivo (Nivel II). Sin embargo viene produciéndose una lixiviación de nutrientes a partir de las capas de suelo mineral durante muchos años y se espera que la recuperación tarde décadas. La repetición del estudio a gran escala de los suelos de los bosques europeos no muestra casi ningún cambio sobre el estado de acidez del suelo entre mediados de los 90 y el 2008. Al la vez, los aportes de nitrógeno han seguido superando las cargas críticas y se prevé que siga ocurriendo en el 30% de los puntos en el año 2020.

Los resultados del programa ICP Modelling and Mapping asumen incluso excesos en las cargas críticas en el 60% de la superficie forestal. En puntos que

aún no están saturados de nitrógeno los aportes pueden aumentar el crecimiento del bosque; pero en los sitios saturados el nitrato se lixivia a las aguas subterráneas y las aguas potables haciendo probables el desequilibrio de nutrientes. Esto hace que los ecosistemas forestales sean más susceptibles a factores adicionales de estrés como sequías, insectos o daños por tormentas. Los resultados recientes muestran cambios en la composición de la vegetación y de los líquenes, relacionados con la deposición de nitrógeno.

El crecimiento arbóreo reacciona ante las condiciones meteorológicas extremas y los cambios del clima. Los análisis retrospectivos de los anillos de crecimiento de los árboles muestran un aumento en la frecuencia de episodios de ola de calor veraniegas y de periodos de sequía en Europa central para la última década. Los resultados de los modelos muestran que no es sólo el calor estival, sino también el aumento de la humedad del suelo en invierno y la transición cada vez más brusca entre los dos extremos lo que provoca una disminución en el crecimiento arbóreo. En un futuro próximo se prevé un continuo aumento de estas condiciones teniendo en cuenta los actuales escenarios de cambio climático. Las reacciones del crecimiento ante las sequías extremas difieren para las principales especies arbóreas y en el centro de Europa fueron más graves en el caso de la píce, mientras que las hayas mostraron una recuperación más rápida. Las especies de *Quercus* y el pino silvestre se encuentran mejor adaptadas a estos climas. Los trabajos de modelización actual estudian si la aceleración actual del crecimiento debida a la elevación de las temperaturas, el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y los aportes actuales de nitrógeno superarán los efectos de la sequía en el futuro. Los diferentes escenarios de gestión forestal son importantes para evaluar riesgos futuros. A lo largo de los últimos 25 años, la cooperación entre ICP-Forests y la Comisión Europea ha sido la base de obtención de datos sobre los principales servicios de los ecosistemas forestales armonizados a escala Europea. En los últimos años la cooperación con los Inventarios Forestales Nacionales en muchos países europeos gana importancia. A nivel internacional, el ICP-Forests intensifica su colaboración con el Servicio Forestal de Estados Unidos (USDA) y la red de seguimiento en Asia Oriental (EANET) de la deposición ácida. Estas redes formarán la base que hará posible la disponibilidad de datos e información para los procesos políticos y de toma de decisiones, los científicos, los gestores forestales y el público en general.

## ANEXO

### Referencias fotográficas

Página	Nombre
3 (retrato)	Agencia Danesa de Naturaleza
3 (paisaje), 4, 17	Dan Aamlid
6	Institute for World Forestry
10	Gabriele Tartari
16	Silvia Stofer
20	Wolfgang Beck
23	Richard Fischer

---

#### Para más información por favor contactar con:

Institute for World Forestry  
Programme Coordinating Centre of ICP Forests  
Dr. Martin Lorenz, Richard Fischer  
Leuschnerstrasse 91  
21031 Hamburg  
Germany

European Commission  
Directorate-General for the Environment  
LIFE Unit - BU-9 02/1  
Agriculture, Forests and Soil Unit - BU-9 04/29

B-1049 Brussels  
<http://www.icp-forests.org>  
<http://www.futmon.org>  
<http://ec.europa.eu/life>

---

## PAÍSES PARTICIPANTES Y CONTACTOS

- Albania:** Ministry of the Environment, Forestry and Water Administration, Tirana. ([info@moe.gov.al](mailto:info@moe.gov.al))
- Andorra:** Ministry of Agriculture and Environment, Andorra la Vella. Ms. Silvia Ferrer / Ms. Silvia Ferrer ([Silvia.Ferrer.Lopez@govern.ad](mailto:Silvia.Ferrer.Lopez@govern.ad))
- Austria:** Bundesforschungs und Ausbildungszentrum für Wald, naturgefahren und Landschaft, Wien. Mr. Ferdinand Kristöfel ([ferdinand.kristoefel@bfw.gv.at](mailto:ferdinand.kristoefel@bfw.gv.at))
- Bielorrusia:** Forest inventory republican unitary company "Belgosles", Minsk. Mr. V. Krasouski ([olkm@tut.by](mailto:olkm@tut.by), [belgosles@open.minsk.by](mailto:belgosles@open.minsk.by))
- Bélgica:**  
**Flandes:** Research Institute for Nature and Forest, Geraardsbergen. Mr. Peter Roskams ([peter.roskams@inbo.be](mailto:peter.roskams@inbo.be))  
**Valonia:** Ministère de la Région Wallonne, Namur. Mr. C. Laurent ([christian.laurent@spw.wallonie.be](mailto:christian.laurent@spw.wallonie.be))
- Bulgaria:** Executive Environment Agency at the Ministry of Environment and Water, Sofia. Ms Genoveva Popova ([forest@nfp.bg.eionet.eu.int](mailto:forest@nfp.bg.eionet.eu.int))
- Canada:** Natural Resources Canada, Ottawa. Mr Pal Bhogal ([Pal.Bhogal@nrcan.gc.ca](mailto:Pal.Bhogal@nrcan.gc.ca))  
**Quebec:** Ministère des Ressources naturelles, Quebec. Mr. Rock Ouimet ([rock.ouimet@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:rock.ouimet@mrnf.gouv.qc.ca))
- Croatia:** Croatian Forest Research Institute, Jastrebarsko. Mr. Nenad Potocic ([nenadp@sumins.hr](mailto:nenadp@sumins.hr))
- Chipre:** Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia Mr. Andreas K. Christou ([achristou@fd.moa.gov.cy](mailto:achristou@fd.moa.gov.cy))
- República Checa:** Forestry and Game Management Research Institute (VULHM), Prague – Zbraslav. Mr Bohumir Lomsky ([lomsky@vulhm.cz](mailto:lomsky@vulhm.cz))
- Dinamarca:** Forest and Landscape Denmark, University of Copenhagen, Hørsholm. Mr Morten Ingerslev ([moi@life.ku.dk](mailto:moi@life.ku.dk))
- Estonia:** Estonian Centre of Forest Protection and Silviculture, Tartu. Mr. Kalle Karoles ([kalle.karoles@metsad.ee](mailto:kalle.karoles@metsad.ee))
- Finlandia:** Finnish Forest Research Institute (METLA), Parkano. Ms. Päivi Merilä ([paivi.merila@metla.fi](mailto:paivi.merila@metla.fi))
- Francia:** Ministère de l'agriculture et de la pêche, Paris. Mr. Jean-Luc Flot ([jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr](mailto:jean-luc.flot@agriculture.gouv.fr))
- Alemania:** Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn. Ms Sigrid Strich ([sigrid.strich@bmelv.bund.de](mailto:sigrid.strich@bmelv.bund.de))  
**Baden-Württemberg:** Forstliche Versuchs und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg. Mr Laus von Wilpert ([Klaus.Wilpert@forst.bwl.de](mailto:Klaus.Wilpert@forst.bwl.de))  
**Baviera:** Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising. Mr Hans-Peter Dietrich (Hans [Peter.Dietrich@lwf.bayern.de](mailto:Peter.Dietrich@lwf.bayern.de))  
**Brandenburgo:** Landesforstanstalt Eberswalde, Eberswalde. Mr Reinhard Kallweit ([Reinhard.Kallweit@lfe-e.brandenburg.de](mailto:Reinhard.Kallweit@lfe-e.brandenburg.de))  
**Hesse, Baja Sajonia y Sajonia-Anhalt:** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen. Mr Hermann Spellmann ([Hermann.Spellmann@NW-FVA.de](mailto:Hermann.Spellmann@NW-FVA.de))  
**Mecklenburgo-Pomerania occidental:** Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Schwerin. Mr Jan Martin (Jan. [Martin@lfoa-mv.de](mailto:Martin@lfoa-mv.de))  
**Renania del norte-Westfalia:** Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen. Mr Joachim Gehrmann ([Joachim.Gehrmann@lanuv.nrw.de](mailto:Joachim.Gehrmann@lanuv.nrw.de))  
**Renania-Palatinado:** Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Tripstadt. Mr Hans Werner Schröck ([schroock@rhrk.uni-kl.de](mailto:schroock@rhrk.uni-kl.de), [hans-werner.schroock@wald-rlp.de](mailto:hans-werner.schroock@wald-rlp.de))  
**Sarre:** Ministerium für Umwelt, Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz, Saarbrücken. Mr Karl Dieter Fetzer ([KD.Fetzer@lua.saarland.de](mailto:KD.Fetzer@lua.saarland.de))  
**Sajonia:** Staatsbetrieb Sachsenforst, Pirna OT Graupa. Mr Henning Andrae ([Henning.Andrae@smul.sachsen.de](mailto:Henning.Andrae@smul.sachsen.de))  
**Schleswig-Holstein:** Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel. Mr Claus-G. Schimming ([cschimming@ecology.uni-kiel.de](mailto:cschimming@ecology.uni-kiel.de))  
**Turingia:** Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd u. Fischerei (TLWJF), Gotha. Mrs Ines Chmara ([Ines.chmara@forst.thueringen.de](mailto:Ines.chmara@forst.thueringen.de))
- Grecia:** Institute of Mediterranean Forest Ecosystems, and Forest Products Technology, Athens-Illissia. Mr George Baloutsos, Mr Anastasios Economou ([oika@fria.gr](mailto:oika@fria.gr))
- Hungría:** State Forest Service, Budapest. Mr László Kolozs ([aesz@aesz.hu](mailto:aesz@aesz.hu), [kolozs.laszlo@aesz.hu](mailto:kolozs.laszlo@aesz.hu))
- Irlanda:** Coillte Teoranta, Newtownmountkennedy. Mrs. Fiona Harrington ([Fiona.Harrington@coillte.ie](mailto:Fiona.Harrington@coillte.ie))
- Italia:** Corpo Forestale dello Stato– Servizio CONECOFOR, Rome. Mr Enrico Pompei ([e.pompei@corpoforestale.it](mailto:e.pompei@corpoforestale.it))
- Italia:** Agricultural Research Council CRA-MPF, Trento loc. Mrs Patrizia Gasparini ([patrizia.gasparini@entecra.it](mailto:patrizia.gasparini@entecra.it))
- Italia:** C.N.R. Institute of Ecosystem Study, Verbania Pallanza. Mr Rosario Mosello ([r.mosello@ise.cnr.it](mailto:r.mosello@ise.cnr.it))
- Letonia:** State Forest Service of Latvia, Riga. Ms Ieva Zadeika ([ieva.zadeika@vmd.gov.lv](mailto:ieva.zadeika@vmd.gov.lv))
- Liechtenstein:** Amt für Wald, Natur und Landschaft, Vaduz. Mr Felix Näscher ([felix.naescher@awnl.li](mailto:felix.naescher@awnl.li))
- Lituania:** State Forest Survey Service, Kaunas. Mr Andrius Kuliešis ([vmt@lvmi.lt](mailto:vmt@lvmi.lt))
- Luxemburgo:** Administration des Eaux et Forêts, Luxembourg-Ville. Mr Claude Parini ([claudio.parini@ef.etat.lu](mailto:claudio.parini@ef.etat.lu))
- República de Macedonia:** University St. Kiril and Metodij. Skopje. Mr Nikola Nikolov ([nnikolov@sf.ukim.edu.mk](mailto:nnikolov@sf.ukim.edu.mk))
- Republica de Moldavia:** State Forest Agency, Chisinau. Mr Anatolie Popsoi ([icaspiu@starnet.md](mailto:icaspiu@starnet.md), [icas\\_md@bk.ru](mailto:icas_md@bk.ru))
- Países Bajos:** Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Den Haag. Mr Ruben Post ([r.post2@minlnv.nl](mailto:r.post2@minlnv.nl))
- Noruega:** Norwegian Forest and Landscape Institute, Ås. Mr Dan Aamlid ([dan.aamlid@skogoglandskap.no](mailto:dan.aamlid@skogoglandskap.no))
- Polonia:** Forest Research Institute, Raszyn. Mr Jerzy Wawrzoniak ([j.wawrzoniak@ibles.waw.pl](mailto:j.wawrzoniak@ibles.waw.pl))
- Portugal:** National Forest Authority, Lisboa. Ms Maria Barros ([mbarros@afn.min-agricultura.pt](mailto:mbarros@afn.min-agricultura.pt)), Mr José Rodrigues ([jrodrigues@afn.minagricultura.pt](mailto:jrodrigues@afn.minagricultura.pt))
- Rumania:** Forest Research and Management Institute (ICAS), Voluntari, jud. Ilfov. Mr Romica Tomescu / Mr Ovidiu Badea ([biometrie@icas.ro](mailto:biometrie@icas.ro), [obadea@icas.ro](mailto:obadea@icas.ro))
- Federación Rusa:** Centre for Forest Ecology and Productivity (RAS), Moscow. Ms Natalia Lukina ([lukina@cepl.rssi.ru](mailto:lukina@cepl.rssi.ru))
- Serbia:** Institute of Forestry, Belgrade. Mr Radovan Nevenic ([nevenic@EUNET.yu](mailto:nevenic@EUNET.yu))
- Republica de Eslovaquia:** National Forest Centre, Zvolen. Mr Pavel Pavlenda ([pavlenda@nlcsk.org](mailto:pavlenda@nlcsk.org))
- Eslovenia:** Slovenian Forestry Institute, Ljubljana. Mr Marko Kovac ([marko.kovac@gozdis.si](mailto:marko.kovac@gozdis.si))
- España:** Forest Health Unit (SPCAN) / DG Nature and Forest Policy (DGMNyPF) / Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (SPCANDGMNyPF), Madrid. Mr Gerardo Sanchez ([g.sanchez@mma.es](mailto:g.sanchez@mma.es)), Ms Paloma Garcia ([at\\_pgarciaf@mma.es](mailto:at_pgarciaf@mma.es))
- España:** Fundación CEAM, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Paterna (Valencia). Mr Vicent Calatayud ([vicent@ceam.es](mailto:vicent@ceam.es))
- Suecia:** Swedish Forest Agency, Jönköping. Mr Sture Wijk ([sture.wijk@skogsstyrelsen.se](mailto:sture.wijk@skogsstyrelsen.se))
- Suiza:** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf. Mr Peter Waldner ([peter.waldner@wsl.ch](mailto:peter.waldner@wsl.ch))
- Turquía:** General Directorate of Forestry, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. Mrs Banu Karabıyık, Mr Ali Temerit ([uomturkiye@ogm.gov.tr](mailto:uomturkiye@ogm.gov.tr))
- Ucrania:** Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration (URIFFM), Kharkiv. Mr Igor F. Buksha ([buksha@uriffm.org.ua](mailto:buksha@uriffm.org.ua))
- Reino Unido:** Forest Research Station, Alice Holt Lodge, Farnham-Surrey. Mr Andrew J. Moffat ([andy.moffat@forestry.gsi.gov.uk](mailto:andy.moffat@forestry.gsi.gov.uk))
- Estados Unidos de América:** USDA Forest Service, Riverside, CA. Mr Andrzej Bytnerowicz ([abytnerowicz@fs.fed.us](mailto:abytnerowicz@fs.fed.us))

