

EL INVENTARIO ECOLÓGICO Y FORESTAL DE CATALUNYA Y SU CONSULTA MEDIANTE LA APLICACIÓN MIRABOSC *ON-LINE*

J. Vayreda Duran¹, J.J. Ibàñez Martí¹ y C. Gracia Alonso^{1,2}

¹ CREAM. Campus de la UAB. Edifici C. 08193-BELLATERRA (Barcelona, España)

² Departamento de Ecología. UB. Avda. Diagonal 645. 08028-BARCELONA (España)

Resumen

El Inventario Ecológico y Forestal de Catalunya (IEFC, <http://www.creaf.uab.es/iefc>), que el CREAM llevó a cabo en el período 1988-98, representó una contribución metodológica a los inventarios forestales nacionales, ya que, además de las variables habituales incorporó otras nuevas como: la biomasa arbórea de ramas, hojas y aérea total, la concentración y la cantidad de nutrientes en las distintas fracciones aéreas del árbol, la vida media de las hojas, el índice de área foliar, la estructura y composición del sotobosque o los modelos de combustible y de inflamabilidad. El IEFC ha sido un inventario innovador, también en lo que respecta a la transferencia de la información a la sociedad. Las tradicionales publicaciones en forma de libros han ido acompañadas de versiones digitales de acceso libre y gratuito, que permiten una consulta mucho más ágil de la información y se ha desarrollado una aplicación, MiraBosc on-line (<http://natura.creaf.uab.es/mirabosc/>), que permite realizar consultas en tiempo real sobre la base de datos del IEFC desde cualquier ordenador conectado a Internet. En solo tres pasos y mediante sencillos menús se puede obtener información relativa a parcelas de muestreo, tarifas de cubicación, dasimetría o indicadores dendrométricos; escogiendo el ámbito geográfico, las especies y el nivel de protección del suelo.

Palabras clave: *Variables ecológicas, Biomasa aérea total, Cantidad de carbono acumulada, Internet, Consulta on-line*

INTRODUCCIÓN

Un inventario forestal es una aproximación estadística a la realidad forestal de un país. En Catalunya hay cerca de mil cuatrocientos millones de árboles forestales distribuidos por una superficie de más de un millón doscientas mil hectáreas. Es evidente que resulta imposible medir todos y cada uno de estos árboles y por ello es necesario seleccionar una muestra representativa de los mismos que permita tener una buena aproximación del conjunto. Esto es lo que se pretende con los inventarios forestales.

Son pocos y relativamente recientes los inventarios forestales que incluyen el territorio catalán, concretamente cuatro. El primero fue el resultado de una iniciativa del antiguo Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). Pero aquel Primer Inventario Forestal Nacional (IFN1) no tuvo continuidad. No fue hasta 20 años después, en la década de los 90, que se realizó el Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) promovido por el mismo ICONA. Éste coincidió en el tiempo con el Inventario Ecológico y Forestal de Catalunya (IEFC), una figura para el conocimiento de los bosques de Catalunya que se creó

por iniciativa del Parlamento de Catalunya. El Departamento de Agricultura, Ramadería i Pesca (DARP), depositario en aquella época de las competencias sobre bosques, encargó el IEFC al *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals* (CREAF) el año 1988.

El IEFC fue el inventario que incorporó el muestreo sistemático de un conjunto de variables que aportan información de aspectos que permiten una aproximación al bosque como un ecosistema forestal, superando la tradicional concepción de bosque estrictamente productor. Como consecuencia de esta concepción “ecológica”, en Catalunya, se dispone de una valiosa información relativa a cuestiones medioambientales, como por ejemplo el papel de los bosques en el ciclo del carbono, que únicamente con los datos de los inventarios forestales tradicionales no es posible obtener.

El IEFC ha sido un inventario innovador también en lo que respecta a la transferencia de la información a la sociedad. Así, las tradicionales publicaciones en forma de libros (8 volúmenes de resultados por regiones forestales, uno para el conjunto de Catalunya y otro de métodos, GRACIA et al., 2000-04) han ido acompañadas de versiones digitales de acceso libre y gratuito (IEFC, <http://www.creaf.uab.es/iefc>) y se ha desarrollado una aplicación, *MiraBosc on-line* (<http://natura.creaf.uab.es/mirabosc/>), que permite realizar consultas en tiempo real sobre la base de datos del IEFC desde cualquier ordenador conectado a Internet.

Más recientemente, el año 2001, acabaron los trabajos de campo en Catalunya del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), promovido en este caso por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (DGCONA) del Ministerio de Medio Ambiente, la institución heredera del antiguo ICONA. En el caso de Catalunya, la DGCONA y la *Direcció General de Patrimoni Natural i Medi Físic de la Generalitat de Catalunya* (DGPNUMF) acordaron completar y mejorar los trabajos del IFN3 con información referida a parámetros ecológicos seleccionados, relevantes especialmente para calcular los balances de carbono, energía y nutrientes en los bosques. Del mismo modo se acordó que esta ampliación del inventario fuera diseñada, analizada y procesada por el CREAM. En la justificación de la correspondiente propuesta se decía: “esta colaboración entre la Administración Gene-

ral del Estado y la autonómica, que se ha aumentado notablemente en relación con la tenida hasta ahora en otras regiones por expresos deseos de la Generalitat de Catalunya y del Ministerio de Medio Ambiente, se extenderá también, si se considera oportuno, al resto de las comunidades autónomas que faltan por inventariar, pues significa una mejora importante en el proyecto que compensa con creces el aumento de gastos.”

¿Por qué un inventario ecológico?

Planificar y adelantarse a las necesidades de la sociedad acostumbra a dar buenos resultados. Ésta ha sido la principal virtud del IEFC, que se pensó para dar respuesta a preguntas que se han comenzado a formular con insistencia casi 10 años después.

¿Afecta a la productividad forestal la extracción sistemática de las ramas, las hojas y la corteza cuando se cortan los árboles? ¿Qué cantidad de compuestos de azufre y nitrógeno (potenciales problemas de lluvia ácida) se liberarían en la combustión de restos vegetales para obtener energía de la biomasa arbórea (ramas y hojas, por ejemplo)? ¿Qué cantidad de carbono hay almacenada en los bosques? Estas y muchas otras cuestiones sólo pueden contestarse conociendo las concentraciones de estos nutrientes en las diferentes fracciones del árbol y las biomásas de dichas fracciones.

¿Dónde hay más biodiversidad, en un pinar de pino carrasco o en un encinar? ¿Cuál de esas dos formaciones forestales es más inflamable? Considerar el estrato arbustivo en el IEFC ha posibilitado desde valorar la diversidad de uno de los componentes del ecosistema (TERRADAS et al., 2003; VAYREDA et al., 1999), probablemente el más fácil de muestrear ya que siempre puede identificarse (cosa que no pasa con las plantas anuales o los hongos, por ejemplo), hasta elaborar mapas útiles para la prevención y extinción de incendios forestales como son los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad de las zonas arboladas (VAYREDA et al., 1998).

MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo de campo de IEFC se realizó, básicamente, durante el período 1989-96, levan-

tándose un total de 10.644 parcelas distribuidas al azar dentro de la superficie forestal arbolada con un recubrimiento arbóreo superior o igual al 5%, a razón de una parcela por cada 100 ha arboladas aproximadamente.

En todas las parcelas, de todos los árboles de más de 5 cm de diámetro normal, se efectuaron mediciones del diámetro normal (en total 312.496 árboles). También se midió la altura de una amplia muestra de árboles (102.122 árboles) y diversas variables topográficas, se estimaron los recubrimientos arbóreo, arbustivo y herbáceo, se hizo un listado de las especies de cada estrato y se valoró el estado fitosanitario. En un 20% de estas parcelas (Figura 1), también se efectuaron mediciones de los diámetros NS y EW de las copas así como del espesor de la corteza y se seleccionaron árboles tipo de las diferentes clases diamétricas, a los que se midió el coeficiente mórfico con relascopio de Bitterlitch y se les contó el número de ramas para diversos intervalos de diámetro de rama; en esas parcelas también se cuantificó el recubrimiento arbustivo para cada especie presente (mediante transectos).

Finalmente, se tomaron un conjunto de muestras que posteriormente se llevaron al laboratorio: muestras de hojarasca, madera, corteza, ramas y hojas para obtener la concentración de nutrientes (C, N, P, S, K, Mg y Ca); testigos de madera del tronco de los árboles para determinar la edad, la producción y los patrones de crecimiento; muestras de ramas y de hojas para determinar la biomasa de esas fracciones y también para determinar la vida media de las hojas, el peso específico foliar y el índice de área foliar, etc.

Una de las características diferenciales del muestreo de muchas de estas variables "ecológicas" es la necesidad de añadir una fase de trabajo de laboratorio antes de proceder al proceso de datos.

Biomasa de madera, corteza, ramas y hojas

Calcular la biomasa de madera y corteza es relativamente sencillo. Basta con conocer sus volúmenes y sus densidades. Sin embargo, estimar la biomasa de ramas y hojas es bastante más complicado (Figura 1). La estima de la biomasa de ramas y de hojas en el IEF3 (y también en el IFN3 en Catalunya) se basa en el análisis dimensional normalizado (WITTAKER & WOODWELL,

1969; DUVIGNEAUD, 1971). A la práctica se procede como muestra la figura 1:

1. Para cada uno de los árboles tipo de la parcela se estima el coeficiente de forma y se cuenta el número de ramas vivas para cada intervalo (de 2 cm) de diámetros de las ramas.
2. En la parcela de muestreo se corta, en el punto de inserción con el tronco, un conjunto de ramas (unas 3 o 4) de la parte media de la copa (ramas de primer orden). Asimismo, de cada una de ellas se corta una o dos ramillas (ramas de segundo orden) de manera que se obtenga un conjunto que abarque el rango de diámetros de las ramas del árbol muestreado.
3. Se mide el diámetro basal de las ramas y se pesan.
4. Se etiquetan convenientemente para transportarlas al laboratorio.
5. Ya en el laboratorio, de cada rama se separan las hojas, se secan y se pesan.
6. Se estiman los parámetros de la ecuación que relaciona los diámetros de las ramas y sus biomásas y también los diámetros de las ramas y las biomásas de sus hojas. Estas dos relaciones acostumbran a presentar buenos ajustes porque se trata de relaciones funcionales dado que una rama ha de tener una superficie conductora suficiente como para poder transportar el agua que sus hojas transpiran. Es fácil comprender que una vez establecida esta relación es más fácil medir los diámetros basales de las ramas de un árbol que separar y pesar todas sus hojas.
7. A partir de estas ecuaciones se pueden obtener los pesos de las ramas tipo de cada uno de los intervalos de diámetros de las ramas establecidos; y multiplicándolos por el número de ramas contadas en cada intervalo se puede determinar la biomasa de ramas de todo el árbol. A partir del conteo de ramas de un conjunto de árboles de la parcela (7 u 8) se puede establecer una segunda ecuación que relaciona el diámetro normal del árbol y su biomasa de ramas. De manera análoga se procede en el caso de las hojas. La biomasa aérea total es la suma de la biomasa de cada una de las cuatro fracciones aéreas.

Lamentablemente, estas relaciones no sólo dependen de la especie sino también de la cali-

dad de la estación y de las condiciones de crecimiento de la masa forestal (indirectamente del clima, del suelo y muy especialmente de la gestión forestal) y por lo tanto son específicas y locales. Con el fin de captar esta variabilidad, en el IEFC se obtuvieron estas relaciones para un conjunto de más de 20 especies en un 20% de las parcelas de muestreo. Esto representó que a este 20% se les pudo aplicar directamente su propia relación pero para el resto se tuvieron que aplicar relaciones más generales a nivel de comarca y especie (y que también se pueden aplicar a posteriores inventarios forestales, como por ejemplo el IFN3). Este trabajo supuso cortar, pesar, secar y separar las ramas de las hojas de un conjunto de más de 16.000 ramas de las especies arbóreas forestales más abundantes en Catalunya.

Concentración de nutrientes en las fracciones aéreas de los árboles

La estima de la concentración de nutrientes implica la obtención en el campo de muestras

compuestas de las fracciones del árbol deseadas. Estas muestras, una vez en el laboratorio siguen un proceso que consiste en secar las muestras y triturarlas con un molino especial para obtener un tamaño de partícula adecuado para su análisis. Las muestras así preparadas se someten a dos tipos de análisis; uno para conocer la concentración de carbono y nitrógeno y otro para determinar la concentración del resto de nutrientes (P, S, Ca, Mg y K). La fracción sobrante de cada muestra triturada se conserva por si más adelante se deseara efectuar algún otro tipo de análisis.

Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles

La estima de la cantidad de carbono que hay en las diferentes fracciones de la biomasa aérea de los bosques de Catalunya es un caso particular de la estima de la cantidad (o mineralomasa) de cualquier otro nutriente. Esta estima se basa en dos datos: la biomasa de las diferentes fracciones aéreas del árbol (o del bosque) y la concentración

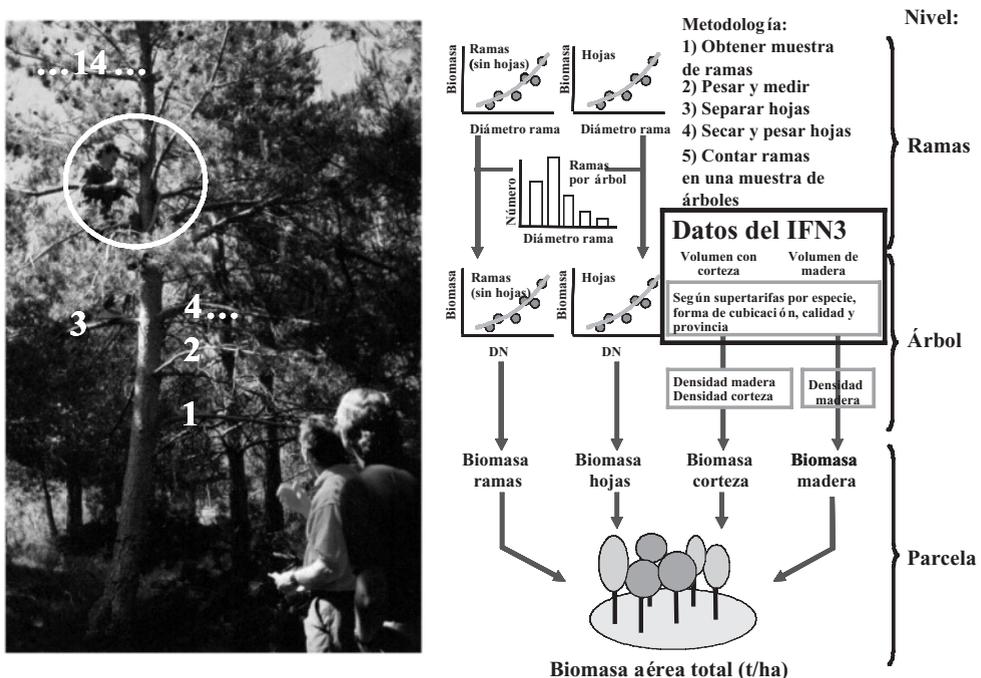


Figura 1. Esquema metodológico para la obtención de la biomasa aérea total y de cada una de las fracciones aéreas arbóreas en el IEFC. Se ha enmarcado en negro la información que normalmente se obtiene en los inventarios forestales (como el IFN3)

descomposición y compactación. De este modo se asignó a cada parcela alguno de los 13 modelos de combustible de la clasificación de Rothermel (ROTHERMEL, 1972, ANDERSON, 1982) aunque se evitó la asignación de modelos de combustible del grupo de restos vegetales (Modelos 11, 12 y 13) porque los fenómenos que implican la presencia de una gran cantidad de restos vegetales en el bosque (como por ejemplo las cortas a hecho) son muy puntuales y los modelos que generan son poco permanentes en el contexto de un ciclo de inventario forestal.

También se asignó un modelo de inflamabilidad, que en orden creciente de probabilidad de ignición va desde formaciones de escaso recubrimiento y compuesto por especies poco inflamables a formaciones con un recubrimiento muy elevado y formado por especies muy inflamables (Modelo 10). Los correspondientes mapas de modelos se obtuvieron mediante un algoritmo de poligonización, expandiendo concéntricamente la información de cada parcela dentro de unos estratos de vegetación homogénea (Figura 3) previamente definidos a partir del mapa forestal de Catalunya elaborado en su día por el DARP. Para mayor información acerca de los mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad pueden consultarse http://www.creaf.uab.es/sibosc/models/s_models.htm.

Transferencia de la información a la sociedad

Con la intención de facilitar la transferencia de la información a la sociedad se realizó una versión digital de la serie de 10 publicaciones que constituyen la síntesis de resultados del IEF. Esta versión digital (<http://www.creaf.uab.es/iefc>) contiene la misma información de tablas y mapas que la serie de libros pero con la ventaja de facilitar las comparaciones entre ámbitos geográficos y especies (MATA et al. 2001).

Pero la información que genera un inventario forestal constituye en realidad una gran base de datos de la que cualquier publicación de síntesis de resultados solo permite extraer una mínima parte. Por ello se ha desarrollado MiraBosc on-line (<http://natura.creaf.uab.es/creaf/mirabosc/>), una aplicación programada bajo entorno Visual .NET que permite, a través de Internet, obtener

una amplia gama de consultas en tiempo real sobre la base de datos del IEF. Esta aplicación es una herramienta potente, flexible y rápida que usa el lenguaje de consulta de bases de datos de uso más extendido: SQL (Lenguaje estructurado de consultas). Durante el desarrollo de esta aplicación se ha procurado conseguir una herramienta fácil de utilizar. En tan solo 4 pasos se consigue obtener un resultado:

Primer paso: elegir uno de los cuatro niveles de consulta:

- Datos de cada parcela de muestreo
- Datos dasométricos resumidos
- Datos dendrométricos resumidos, con la posibilidad de definir los rangos de las clases diamétricas
- Tarifas de cubicación de doble entrada (diámetro normal, altura)

A continuación, escoger el tipo de información de salida según una o varias de las siguientes posibilidades:

- por ámbito geográfico (comarca, provincia, municipio, etc.)
- por tipo funcional (especie, género, frondosas o coníferas, etc.)
- por espacios protegidos (parque natural, reserva, parque nacional, etc.)
- por clases diamétricas

Segundo paso: en función del tipo de información escogida en el punto anterior aparecen unas listas para que el usuario pueda elegir uno o varios de sus elementos. Por ejemplo, tal y como muestra la figura 4, dado que se ha seleccionado la Veguería como ámbito geográfico de interés, la lista de más a la izquierda ofrece todas las Veguerías para que el usuario pueda elegir. De la misma forma se confeccionan las otras dos listas de la figura.

Tercer paso: consiste en elegir, de los campos que se ofrecen, cuales se desean mostrar y bajo que condiciones. Los campos ofrecidos están en función del nivel seleccionado en el primer paso:

- *Parcela de muestreo:* información en cada parcela de muestreo de la topografía, de la estructura del estrato arbóreo, demografía, volumen, biomasa y producción de las distintas fracciones (madera, corteza, ramas y hojas), etc.
- *Dasometría:* información estadística resumida (valores mínimo, máximo, media, error

estándar, número de parcelas, existencias y superficie ocupada) de un conjunto de parcelas agrupadas según los niveles seleccionados en el segundo paso. La información estadística que se ofrece se calcula de acuerdo a la misma información del punto anterior.

- **Indicadores dendrométricos:** información estadística de los árboles medidos en el campo por clases diamétricas de: la altura, el diámetro de copa, el grosor de la corteza, el crecimiento corriente y medio, la concentración de nutrientes (C, N, S, Mg, K, Ca i P), etc.
- **Tarifas de cubicación:** en función del diámetro normal y la altura para: el volumen con corteza, el incremento anual del volumen con corteza, la biomasa de madera y la biomasa de corteza se pueden obtener los valores medios, la desviación estándar, el número de datos, etc.

Cuarto paso: obtención de la tabla de resultados. Una vez completada toda la información necesaria se ejecuta la consulta contra

el servidor que devuelve la respuesta inmediatamente en forma de tabla. Dicha información se puede ordenar, en sentido ascendente o descendente por alguno de sus campos. Asimismo, esta tabla puede ser exportada a otras aplicaciones como por ejemplo una hoja de cálculo.

En futuras versiones de MiraBosc *on-line* está previsto que incluya la posibilidad de consultar la información del segundo y tercer Inventarios Forestales Nacionales.

RESULTADOS

Si resulta insuficiente el espacio de una serie de 10 libros para ofrecer los resultados del IEFC, es obvio que poco puede hacerse al respecto en el apartado de resultados de una publicación como la que nos ocupa. Por ello se ha optado por ofrecer unos resultados de carácter muy sintético y dar algunas pinceladas de los

MiraBosc · On Line
 Consultes On Line de l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC)

1 Tipus de consulta: Dàsimetria, Indicadors dendromètrics, Tarifas de cubicació, Parcel·les de mostreig

2 Dàsimetria: Nom llatí, Nom comú. Especies: Alnus glutinosa, Alnus arborea, Alnus arborea, Acer sp., Acer campestris, Acer monspeliense, Acer negundo, Acer spicatum, Acer platanoides, Acer pseudoplatanus, Asclepias hippocastanum, Allanthus altissima, Alnus cordata, Alnus glutinosa.

3 Dàsimetria-Vegueria-Nivell de protecció-Espècie. Variables: Superfície ocupada (ha), Mitjana Màxima Mitjana Error, Noves Existències, Condició.

4 Dàsimetria-Vegueria-Nivell de protecció-Espècie. Taula de resultats:

Especie	Vegueria	Nivell de protecció	MJ/Lesà densitat (copas/ha)	Superfície ocupada (ha)	Mitjana Índex d'Arbr. Foliar
Albes alba	Alt Pirineu i Aran	Cap tipus de protecció	910	70,55	4,78
Albes alba	Alt Pirineu i Aran	Parc Nacional	480		1,52
Albes alba	Alt Pirineu i Aran	Parc Natural	856,71	122,53	3,52
Albes alba	Alt Pirineu i Aran	Reserva Natural Parc	700,33	23,17	3,54
Albes alba	Àmbit Metropolità	Cap tipus de protecció	383		4,7
Albes alba	Àmbit Metropolità	Parc Natural	520		7,6
Albes alba	Comarques Gironès	Cap tipus de protecció	2534		7,10
Acer monspeliense	Comarques Gironès	Paratge Natural d'Interès Nacional	473		3,3

Figura 4. En sólo 3 pasos se hace la consulta (de 1 a 3) y se obtiene la respuesta (4). En los pasos 1 y 2 hay que escoger el tipo de consulta que se desea, el ámbito geográfico que se contempla, las especies o agrupaciones de especies y si se quiere considerar algún nivel de protección. En el tercer paso se selecciona las variables y las condiciones. Una vez efectuada la consulta, la aplicación devuelve como resultado una tabla (4)

resultados que aportan las denominadas “variables ecológicas”. Por otra parte animamos a todos los lectores de este texto a consultar las publicaciones digitales de síntesis de resultados y a probar el funcionamiento y las prestaciones de MiraBosc on-line, hasta desgranar tanto como se desee estos resultados.

Concentración de nutrientes en las fracciones aéreas de los árboles

La tabla 1 muestra la concentración media y la desviación estándar de nitrógeno en las diferentes fracciones de la biomasa aérea para las especies más abundantes en Catalunya. Se pone de manifiesto que la concentración foliar de nitrógeno (y esto también pasa con otros nutrientes importantes desde el punto de vista fisiológico como el fósforo y el potasio) es muy superior a la del resto de las fracciones. De modo que sacando las hojas o las ramas del sistema se puede producir una notable pérdida de nutrientes que podría comprometer, a la larga, el crecimiento del bosque. Quemando estas fracciones para obtener energía se pueden liberar a la atmósfera cantidades nada despreciables de

óxidos de nitrógeno y de azufre responsables de la lluvia ácida. Por otra parte, si se comparan los resultados de las concentraciones de todos estos elementos con referencias de la bibliografía se pueden detectar carencias para algunos de estos nutrientes. Esto se ha puesto de manifiesto al menos para el fósforo en las masas de pino albar (SERRANO et al., 1994).

Como puede observarse en la tabla 1 las coníferas tienen unas concentraciones foliares de nitrógeno muy bajas respecto a las caducifolias y las esclerófilas las tienen intermedias. La concentración de nitrógeno en las ramas también es en términos relativos importante pero en este caso los valores máximos se dan en las esclerófilas.

Las diferentes fracciones del árbol tienen funciones muy diferentes y por lo tanto cada una tiene su propia dinámica. Mientras que la madera y las ramas tienen un papel eminentemente estructural y de transporte, las hojas son la fracción más dinámica de la parte aérea del árbol y donde se producen los principales procesos ecofisiológicos. Por tanto, mientras hay fracciones que necesitan muchos nutrientes (sobre todo N, P, K y Mg) y los capturan selectivamente (las

	Madera	Corteza	Ramas	Hojas	n
Coníferas	media±ds	media±ds	media±ds	media±ds	
<i>Pinus halepensis</i>	0,119±0,058	0,286±0,077	0,441±0,136	1,218±0,203	180
<i>Pinus nigra</i>	0,110±0,042	0,331±0,115	0,377±0,100	1,015±0,136	165
<i>Pinus pinaster</i>	0,089±0,052	0,165±0,059	0,468±0,127	1,016±0,223	18
<i>Pinus pinea</i>	0,088±0,036	0,162±0,062	0,418±0,146	1,155±0,229	39
<i>Pinus sylvestris</i>	0,093±0,038	0,287±0,113	0,434±0,120	1,235±0,197	240
<i>Pinus uncinata</i>	0,077±0,024	0,228±0,066	0,375±0,092	1,067±0,142	24
Esclerófilas					
<i>Quercus ilex</i>	0,184±0,055	0,611±0,133	0,606±0,137	1,461±0,271	236
<i>Quercus suber</i>	0,277±0,096	0,542±0,133	0,721±0,211	1,603±0,200	68
Caducifolios					
<i>Castanea sativa</i>	0,129±0,054	0,513±0,109	0,636±0,205	2,195±0,616	19
<i>Fagus sylvatica</i>	0,134±0,049	0,529±0,115	0,479±0,131	2,400±0,581	24
<i>Quercus canariensis</i>	0,285±0,089	0,618±0,180	0,848±0,119	2,252±0,719	10
<i>Quercus cerrioides</i>	0,264±0,093	0,536±0,090	0,759±0,136	1,602±0,921	7
<i>Quercus humilis</i>	0,158±0,065	0,531±0,125	0,705±0,164	1,866±0,696	35
<i>Quercus petraea</i>	0,141±0,035	0,500±0,111	0,592±0,112	1,998±0,688	6

Tabla 1. Concentraciones medias y desviaciones estándar de nitrógeno en las diferentes fracciones de la biomasa aérea de las especies más abundantes en Catalunya. La n es el número de muestras correspondiente a la fracción con menos análisis efectuados, que habitualmente son las hojas, ya que en las especies caducifolias pueden haber caído en la época del muestreo de campo

hojas), en otras fracciones (corteza) la acumulación de nutrientes está más relacionada con la composición del sustrato mineral del suelo.

Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles

La estima de la cantidad de carbono acumulado en las diferentes fracciones de la biomasa aérea de los bosques es un caso particular de la estima de la cantidad (o mineralomasa) de cualquier otro nutriente. Esta estima se basa en dos datos: la biomasa de las diferentes fracciones aéreas del árbol y la concentración de nutrientes en cada una de estas fracciones. El proceso de cálculo es muy sencillo: se multiplica la biomasa de cada fracción por la concentración del nutriente (en este caso carbono).

La tabla 2 muestra la concentración de carbono en las diferentes fracciones de la parte aérea para las especies más abundantes en Catalunya. Aunque las coníferas tienen una concentración superior a la de caducifolios y esclerófilas en todas las fracciones, esta diferencia es siempre modesta (entre un 5 y un 7%) por lo que en la práctica para cuantificar el carbono alma-

cenado en las especies forestales de las que no se dispone de éste dato se pueda aceptar una concentración de carbono del 50% para todas las fracciones aéreas del árbol. La única fracción que se aleja de esta pauta general es la corteza del alcornoque, es decir, el corcho, que de hecho es un tipo de corteza bastante particular.

Factores de expansión

Si comparamos la figura 5 (biomasa aérea por fracciones y especies) con la tabla 2 (concentración de carbono por fracciones y especies) resulta evidente que en la determinación del carbono acumulado en la parte aérea de los árboles del bosque cuenta mucho más el factor biomasa que el factor concentración, puesto que las biomasa aérea varían mucho entre especies (Figura 5) y las concentraciones de carbono poco (Tabla 2). En última instancia, la biomasa aérea total depende mucho de la especie (Figura 5) así como la proporción de las diferentes fracciones en la biomasa aérea. De todos modos, siempre es la madera seguida de las ramas y en menor medida la corteza, las fracciones que más aporta a la biomasa aérea total.

	Madera	Corteza	Ramas	Hojas	n
Coníferas	media±ds	media±ds	media±ds	media±ds	
<i>Pinus halepensis</i>	49,87±1,449	52,32±1,344	50,40±1,509	52,96±2,075	180
<i>Pinus nigra</i>	50,89±1,428	53,58±1,724	51,87±1,884	52,08±1,518	165
<i>Pinus pinaster</i>	51,11±1,688	53,41±2,845	51,62±0,793	50,75±0,884	18
<i>Pinus pinea</i>	50,78±1,198	53,05±2,966	51,50±0,774	50,40±0,870	39
<i>Pinus sylvestris</i>	50,87±1,491	53,93±1,839	51,22±2,079	51,30±3,541	240
<i>Pinus uncinata</i>	50,92±1,605	53,6±1,0240	52,59±1,382	51,87±1,660	24
Esclerófilas					
<i>Quercus ilex</i>	47,53±1,397	46,75±2,669	48,16±1,801	50,27±1,147	236
<i>Quercus suber</i>	47,16±1,661	60,22±3,522	49,20±1,055	50,23±1,693	68
Caducifolios					
<i>Castanea sativa</i>	48,42±2,460	47,62±1,019	48,27±0,617	48,85±1,007	19
<i>Fagus sylvatica</i>	48,58±1,420	46,69±1,591	48,84±1,431	48,81±1,824	24
<i>Quercus canariensis</i>	48,64±1,655	48,33±1,798	48,58±0,842	48,78±0,858	10
<i>Quercus cerrioides</i>	48,05±1,097	47,97±2,119	47,49±2,023	48,70±1,047	7
<i>Quercus humilis</i>	48,51±0,684	46,72±3,380	48,25±1,542	48,75±0,998	34
<i>Quercus petraea</i>	48,44±0,511	46,50±1,490	48,32±0,968	49,03±0,871	6

Tabla 2. Concentraciones medias y desviaciones estándar de carbono en las diferentes fracciones de la parte biomasa de las especies más abundantes en Catalunya. La n es el número de muestras correspondiente a la fracción con menos análisis efectuados, que habitualmente son las hojas, ya que en las especies caducifolias pueden haber caído en la época del muestreo de campo

La biomasa de madera depende del volumen de la misma y de su densidad, que como puede observarse (Tabla 3), varía mucho entre las especies (como también varía la densidad de la corteza). Se puede concluir, por tanto, que la densidad de la madera y el volumen de la misma son los dos factores que contribuyen en mayor medida a la biomasa aérea total y por consiguiente a la cantidad de carbono acumulada en la biomasa aérea total.

Si bien es cierto que no habría ningún inconveniente en utilizar un factor del 50% para referirse a la concentración de carbono en la bioma-

sa aérea para una especie (al menos en la región mediterránea) de la que no se disponga de datos, no sería nada apropiado aplicar un mismo factor, independientemente de la especie, para calcular la cantidad de carbono de la parte aérea a partir de los datos de volumen con corteza que aportan los inventarios nacionales.

En la figura 6 se muestran tres resultados sintéticos del IEFC, desglosados por especies: las existencias en número de pies, el total el volumen con corteza y el carbono acumulado en la biomasa aérea del bosque. Catalunya tiene más pies de encina que de cualquier otra especie pero la espe-

	Densidad de madera (g/cm ³)		Densidad de corteza (g/cm ³)	
	media±ds	n	media±ds	n
Coníferas				
<i>Pinus halepensis</i>	0,61±0,070	1002	0,42±0,083	362
<i>Pinus sylvestris</i>	0,55±0,073	1252	0,29±0,068	369
<i>Pinus nigra</i>	0,62±0,077	827	0,33±0,076	240
<i>Pinus uncinata</i>	0,52±0,070	339	0,42±0,067	89
<i>Pinus pinea</i>	0,59±0,095	145	0,38±0,074	58
<i>Pinus pinaster</i>	0,52±0,076	49	0,31±0,065	34
<i>Abies alba</i>	0,51±0,070	76	0,53±0,112	24
Esclerofilas				
<i>Quercus ilex</i>	0,90±0,073	711	0,72±0,151	361
<i>Quercus suber</i>	0,83±0,116	138	0,24±0,060	95
<i>Arbutus unedo</i>	0,82±0,065	21	0,55±0,145	12
Caducifolios				
<i>Quercus humilis</i>	0,77±0,066	292	0,62±0,118	82
<i>Fagus sylvatica</i>	0,69±0,055	124	0,61±0,142	45
<i>Quercus cerrioides</i>	0,78±0,082	99	0,63±0,124	30
<i>Castanea sativa</i>	0,59±0,093	31	0,56±0,132	23
<i>Quercus petraea</i>	0,73±0,065	55	0,56±0,141	23
<i>Quercus faginea</i>	0,79±0,064	80	0,66±0,100	20
<i>Betula pendula</i>	0,60±0,055	27	0,63±0,123	19
<i>Populus nigra</i>	0,43±0,098	15	0,46±0,111	10
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,68±0,070	30	0,56±0,107	9
<i>Quercus canariensis</i>	0,76±0,101	14	0,68±0,149	12
<i>Populus tremula</i>	0,56±0,059	24	0,54±0,203	9
<i>Alnus glutinosa</i>	0,51±0,047	13	0,56±0,126	7
<i>Tilia cordata</i>	0,44±0,065	11	0,40±0,096	4
<i>Platanus hybrida</i>	0,66±0,041	7	0,55±0,152	5
<i>Acer opalus</i>	0,73±0,056	10	0,70±0,140	4

Tabla 3. Valores medios y desviaciones típicas por especies obtenidos en el IEFC para las densidades de maderas y cortezas. Los valores son especialmente elevados en los *Quercus*

cie que acumula la mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea y la que acumula también un mayor volumen con corteza es el pino albar.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, H.E.; 1982. Aids to Determining Fuel Models For Estimating Fire Behaviour. *USDA Forest Service, Gen. Techn. Rep. INT-122*. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden.
- DUVIGNEAUD, P.; 1971. *Productivity of forest ecosystems*. Proceedings of Brussels Sym. IBP. UNESCO. París.
- GRACIA, C.; BURRIEL, J.A.; IBÁÑEZ, J.J., MATA, T. Y VAYREDA, J.; 2000-04. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya*. CREAF. Barcelona.
- MATA, T.; VAYREDA, J.; BURRIEL, J.A.; IBÁÑEZ, J.J. Y GRACIA, C.; 2001 Estructura de la publicación de resultados del Inventario Ecológico y Forestal de Catalunya. *En: Junta de Andalucía-S.E.C.F. (eds.), Actas del III Congreso Forestal Español-Sierra Nevada 2001*, III: 163-170. Coria Gráficas. Sevilla.
- ROTHERMEL, R.C.; 1972. A Mathematical model for Predicting Fire Spread in Wild Land Fuels. *USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper, INT-115*. Ogden.
- SERRANO, M.; CALVET, S. Y GRACIA, C.; 1994. Estatus nutricional en masas forestales de *P. sylvestris* (L.) en la comarca del Solsonés (N. de Catalunya). Variación con la latitud. *Studia Oecologica* 10-11: 385-394.
- TERRADAS, J.; SALVADOR, R.; VAYREDA, J. & LLORET F.; 2005. Maximal species richness: an empirical approach for evaluating woody plant forest biodiversity. *For. Ecol. Manag.* 189: 241-249.
- VAYREDA, J.; IBÁÑEZ, J.J.; GRACIA, C., Y PONS, X.; 1998. Inventariación forestal y GIS en la generación de mapas de modelos de combustible y de inflamabilidad. *In: Seminario sobre incendios forestales: 63-71*. Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya. Solsona.
- VAYREDA, J.; IBÁÑEZ, J.J.; GRACIA, C. Y TERRADAS, J.; 1999. Patrón geográfico de la riqueza de especies leñosas según el Sistema de Información de los Bosques de Catalunya (SIBosC). *En: A. Rojo et al. (eds.), Actas del Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes II: 691-699*. Tragsa. Santiago de Compostela.
- WITTAKER, R.H. & WOODWELL, G.M.; 1969. Structure, production and diversity of the oak-pine forest at Brookhaven. New York. *J. Ecol.* 57: 157-174.

EL INVENTARIO ECOLÓGICO Y FORESTAL DE CATALUNYA Y SU CONSULTA MEDIANTE LA APLICACIÓN MIRABOSC *ON-LINE*

J. Vayreda Duran, J.J. Ibàñez Martí y C. Gracia Alonso

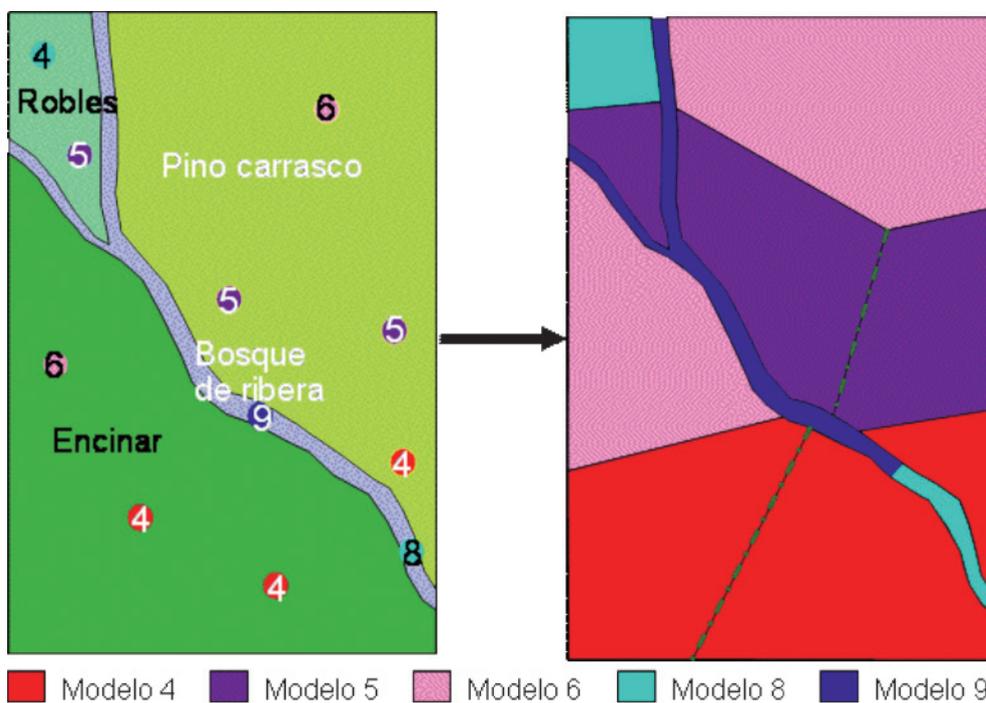


Figura 3. Elaboración de los mapas de modelos a partir de la información de campo y del mapa forestal. Como puede observarse, a cada tesela del mapa (figura izquierda) corresponde uno o más modelos (figura derecha) en función de la información puntual de las parcelas de campo

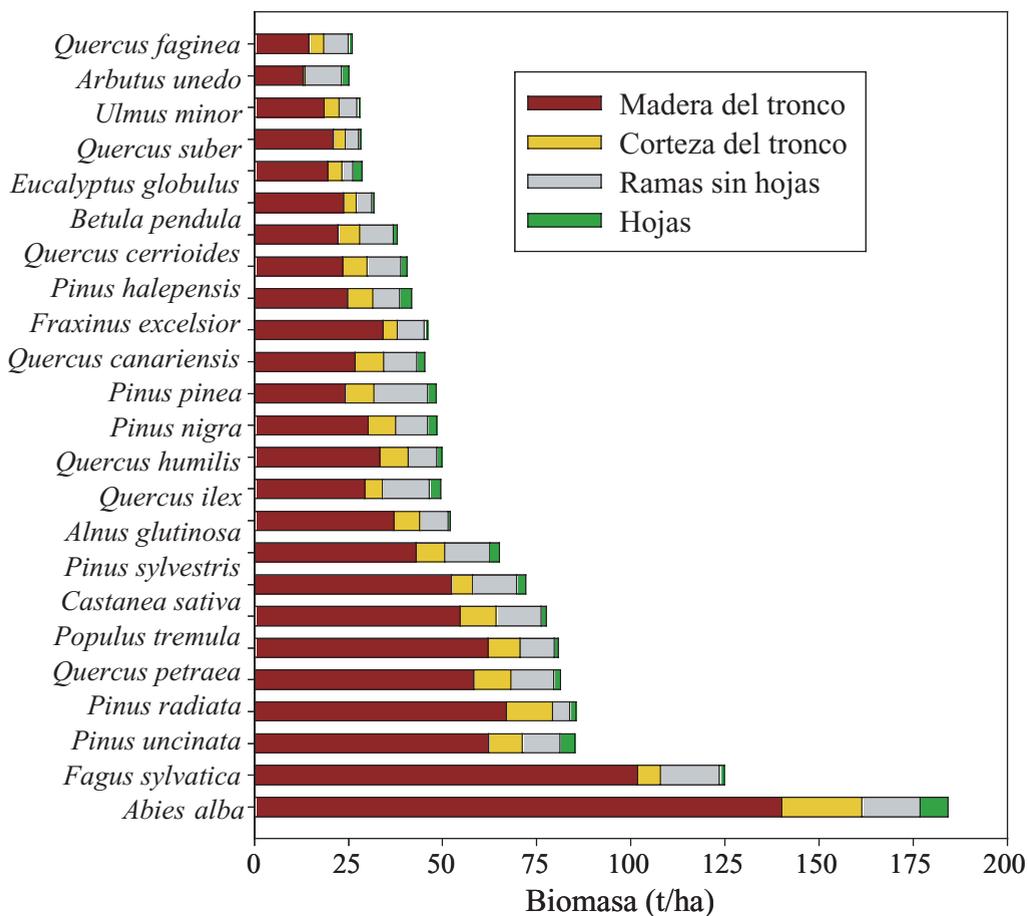
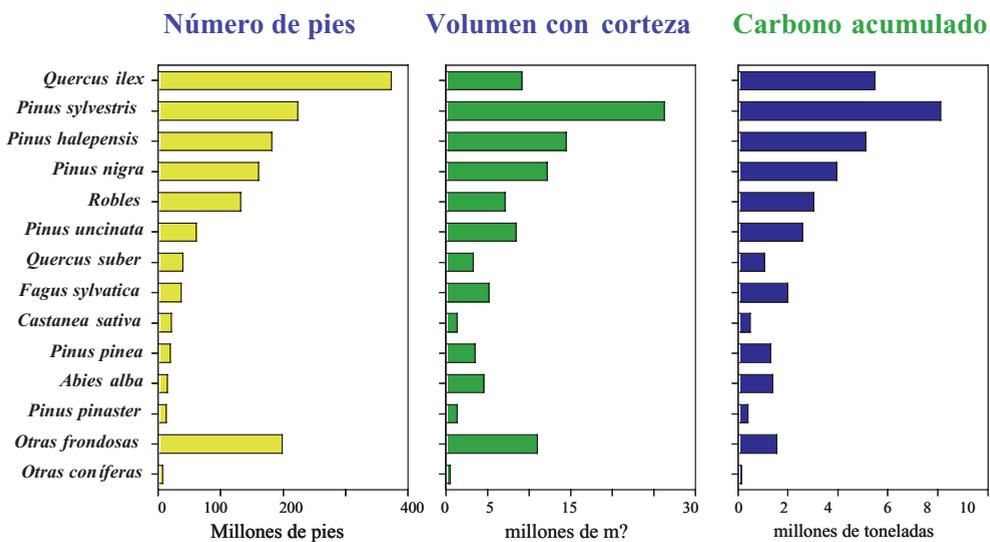


Figura 5. Valores medios de biomasa aérea por fracciones y especies obtenidos en el IEFC. Los valores corresponden a la media de las parcelas cuando la especie es dominante (más del 50% del área basal de la parcela)



Total: 1390 millones de pies, 103 millones de m³ y 36,5 millones de toneladas

Figura 6. Existencias por especies obtenidos en el IEFC del número de pies, del volumen con corteza y del carbono acumulado en la parte aérea