

# Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia

Adenda A. Actualización de modelos disponibles a fecha de  
29/10/2012

U. Diéguez-Aranda, A. Rojo Alboreca, F. Castedo-Dorado, J.G. Álvarez González,  
M. Barrio-Anta, F. Crecente-Campo, J.M. González González, C. Pérez-Cruzado, R. Rodríguez Soalleiro,  
C.A. López-Sánchez, M.Á. Balboa-Murias, J.J. Gorgoso Varela, F. Sánchez Rodríguez, E. Gómez-García

<http://www.usc.es/uxfs/>

# Índice

<b>Adenda A. Actualización de modelos disponibles a fecha de 29/10/2012.....</b>	<b>1</b>
A.1. Calidad de estación (ver capítulo 2 del libro) .....	1
A.2. Modelos estáticos de crecimiento y producción (ver capítulo 3 del libro) .....	4
A.2.1. <i>Datos</i> .....	4
A.2.2. <i>Resultados</i> .....	4
A.3. Modelos dinámicos de crecimiento (ver capítulo 4 del libro).....	7
A.3.1. <i>Datos</i> .....	7
A.3.2. <i>Resultados</i> .....	9
A.4. Desagregación de las variables del rodal (ver capítulo 6 del libro) .....	13
A.5. Relación altura diámetro (ver capítulo 7 del libro) .....	13
A.6. Herramientas para la cubicación con clasificación de productos (ver capítulo 8 del libro) .....	14
A.7. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón (ver capítulo 9 del libro).....	15
A.8. Actualización del Anexo III: Resumen de herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia .....	16
A.9. Bibliografía .....	17

## Adenda A. Actualización de modelos disponibles a fecha de 29/10/2012

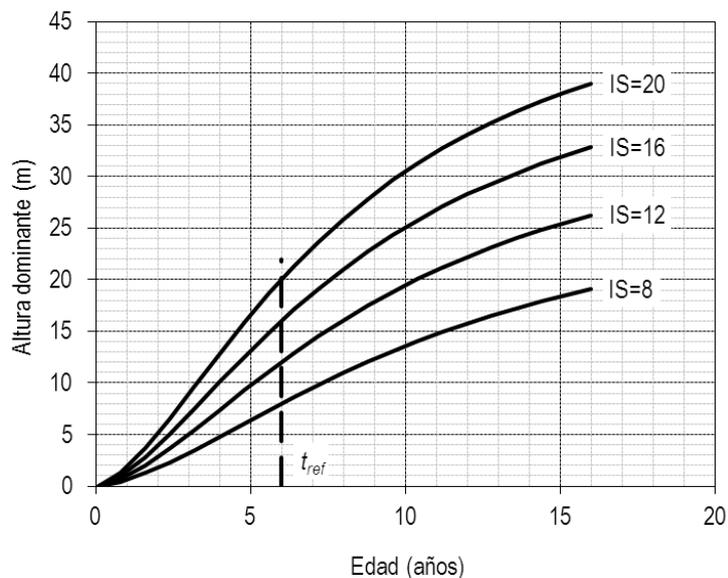
Desde la fecha de publicación del libro “Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia” (diciembre de 2009), en el seno del grupo de investigación *Unidade de Xestión Forestal Sostible* (UXFS), de la Universidad de Santiago de Compostela, se han actualizado o desarrollado por primera vez herramientas que complementan a las existentes en el libro y que pretenden ayudar en la gestión de los rodales de las principales especies con interés en la comunidad gallega. A continuación se presentan, para cada capítulo y especie, dichas herramientas.

### A.1. Calidad de estación (ver capítulo 2 del libro)

A partir de la información proporcionada por el análisis de tronco de 32 árboles dominantes de *Eucalyptus nitens* apeados en 10 parcelas localizadas en la provincia de Lugo, que abarcaban el rango de calidad observado para la especie en Galicia, se ha ajustado la ecuación de calidad de estación que se muestra en la tabla A.1 (Blanco Souto, 2009). La investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias a través del proyecto “Captura de carbono en terrenos agrícolas repoblados con plantaciones forestales para uso maderero y energético” (SUM2006-00006-00-00). La representación gráfica de las curvas que se pueden generar con dicha ecuación para diferentes índices de sitio se muestra en la figura A.1.

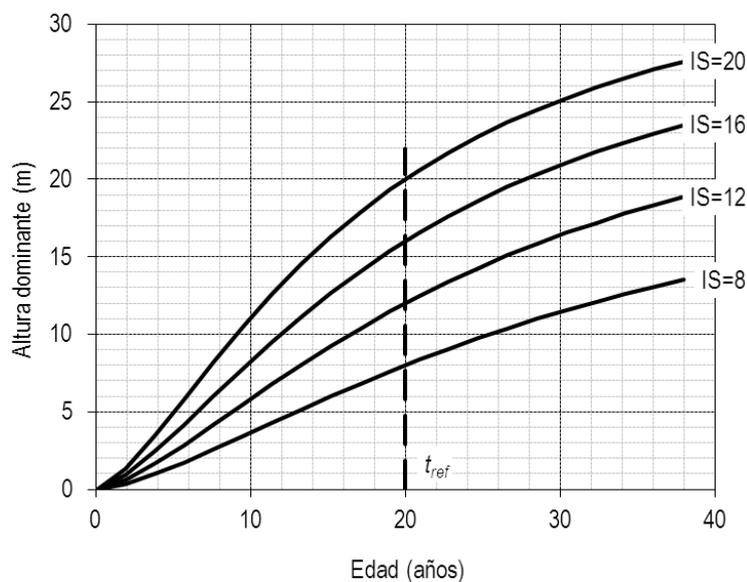
**Tabla A.1.** Ecuación de calidad de estación para *Eucalyptus nitens* en Galicia.

<i>Eucalyptus nitens</i>	$R^2$	REMC
$H_{02} = \frac{X_0}{1 + 1466/X_0 \cdot t_2^{-1,604}}$ <p>donde <math>X_0 = \frac{1}{2} \cdot \left( H_{01} + \sqrt{H_{01}^2 + 4 \cdot 1466 \cdot H_{01} \cdot t_1^{-1,604}} \right)</math></p>	0,992	0,749 m

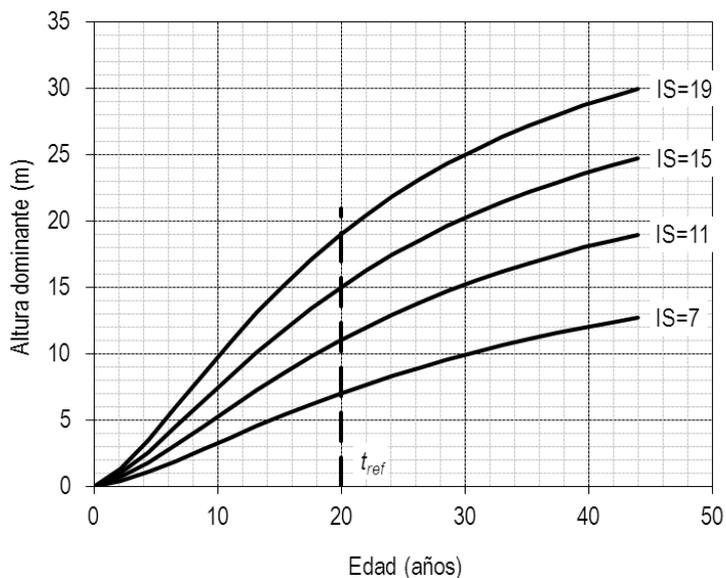


**Figura A.1.** Curvas de calidad de estación para *Eucalyptus nitens* para índices de sitio de 8, 12, 16 y 20 m a la edad de referencia de 6 años.

En relación con la especie *Pinus pinaster* (tanto para la zona de costa como para la de interior), se ha corregido un error detectado en la representación de las curvas de calidad, concretamente en la elección de los valores máximo y mínimo observados del índice de sitio de cada curva. Los nuevos gráficos se muestran en las figuras A.2 y A.3.

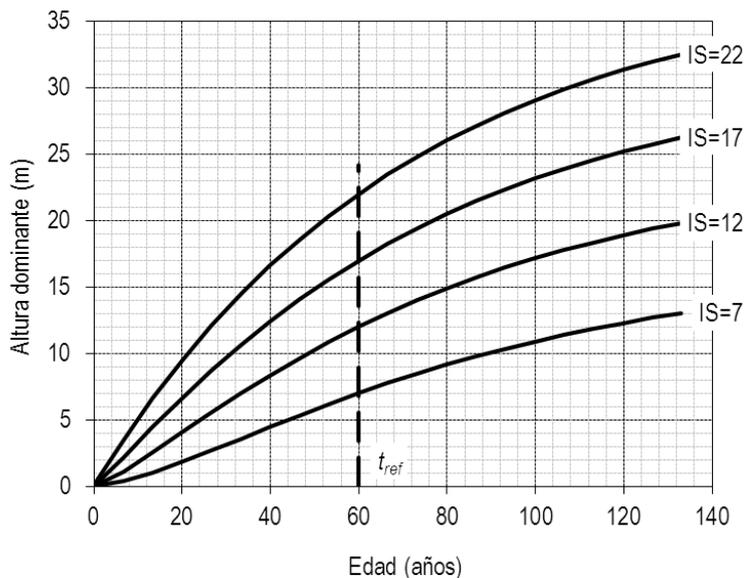


**Figura A.2.** Curvas de calidad de estación para *Pinus pinaster* (costa) para índices de sitio de 8, 12, 16 y 20 m a la edad de referencia de 20 años.



**Figura A.3.** Curvas de calidad de estación para *Pinus pinaster* (interior) para índices de sitio de 7, 11, 15 y 19 m a la edad de referencia de 20 años.

Por último, se han actualizado las curvas de calidad para *Quercus robur*, empleando una metodología de ajuste más avanzada que la utilizada originalmente. La nueva ecuación es la función de transición para la altura dominante que se indica en el apartado A.3.2 (tabla A.8) de esta adenda, y las curvas de calidad de estación para diferentes índices de sitio se muestran en la figura A.4.



**Figura A.4.** Curvas de calidad de estación para *Quercus robur* para índices de sitio de 7, 12, 17 y 22 m a la edad de referencia de 60 años.

## A.2. Modelos estáticos de crecimiento y producción (ver capítulo 3 del libro)

Siguiendo la estructura descrita en el capítulo 3 del libro, se han desarrollado unas tablas de producción y unos diagramas de manejo de la densidad (DMD) para los rodales regulares de *Eucalyptus nitens* en Galicia (Pérez-Cruzado, 2011; Pérez-Cruzado et al., 2011).

Como en el caso de los modelos estáticos desarrollados con anterioridad, y para facilitar su uso, se han implementado las tablas de producción de *Eucalyptus nitens* en la actualización del archivo de Microsoft® Office Excel 2003 denominado 03\_TP.xls (“Tablas de Producción”), que permite generar tablas específicas para un rodal a partir de los valores de las variables de entrada edad y altura dominante. Además, el DMD de *Eucalyptus nitens* se ha incluido en el también actualizado archivo 03b\_DMD.pdf (“Diagramas de Manejo de la Densidad”). Ambos archivos actualizados se pueden descargar gratuitamente de la página Web de la UXFS <http://www.usc.es/uxfs/>.

### A.2.1. Datos

Los datos utilizados para el desarrollo de los modelos estáticos de *Eucalyptus nitens* fueron obtenidos por miembros de la UXFS de la primera medición de una red de 76 parcelas localizadas en el centro y norte de la provincia de Lugo y en el este de A Coruña, que corresponde al área de plantación más generalizada de la especie en Galicia, en los inviernos de 2006-2007 a 2008-2009. En la tabla A.2 se presentan los estadísticos descriptivos más importantes de la muestra de datos utilizada.

**Tabla A.2.** Estadísticos descriptivos de las variables de rodal empleadas en el desarrollo de los modelos estáticos de crecimiento y producción para *Eucalyptus nitens*.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica.
$t$	9,6	1,0	18,0	4,2
$H_0$	24,5	7,4	40,4	7,1
$N$	1.152	446	2.196	387
$G$	35,3	2,2	82,0	16,9

Nota:  $t$  = edad del rodal (años);  $H_0$  = altura dominante (m, definida como la altura media de los 100 pies más gruesos por hectárea);  $N$  = número de pies por hectárea;  $G$  = área basimétrica (m<sup>2</sup>/ha).

### A.2.2. Resultados

En la tabla A.3 se muestran las expresiones finalmente ajustadas de las funciones elegidas para describir las relaciones fundamentales de las tablas de producción y los diagramas de manejo de la densidad (DMD) para *Eucalyptus nitens* en Galicia. También se incluyen los valores de los correspondientes estadísticos de bondad del ajuste, del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y

de la raíz del error medio cuadrático (REMC), cuyo significado y expresión pueden consultarse en el anexo II del libro. En la tabla A.4 se presentan las tablas de producción de selvicultura media observada de la especie para cada tres calidades definidas por índices de sitio de 10, 14 y 18 m a la edad de referencia de 6 años.

**Tabla A.3.** Resumen de las relaciones fundamentales que constituyen las tablas de producción y los diagramas de manejo de la densidad para *Eucalyptus nitens* en Galicia.

Primera relación fundamental: $H_0 = f(IS, t)$	$R^2$	REMC
$H_{02} = \frac{X_0}{1 + 1466/X_0 \cdot t_2^{-1,604}}$ <p>donde <math>X_0 = \frac{1}{2} \cdot \left( H_{01} + \sqrt{H_{01}^2 + 4 \cdot 1466 \cdot H_{01} \cdot t_1^{-1,604}} \right)</math></p>	0,992	0,749 m
Segunda relación fundamental: $N = f(N_{t-1}, t, H_{015})$	$R^2$	REMC
$N = N_{t-1} - N_{t-1} \cdot (1 - \exp(-A)), \text{ donde}$ $A = \exp(-8,6 + 0,1124 \cdot H_{015} + 0,1487 \cdot (t - 0,5) - 0,0067 \cdot (t - 0,5)^2)$		Norma teórica
Tercera relación fundamental: $d_g = f(H_0, N)$	$R^2$	REMC
$d_g = 23,24 \cdot N^{-0,3463} \cdot H_0^{0,7055}$	0,844	3,02 cm
Cuarta relación fundamental: $V = f(d_g, H_0, N)$	$R^2$	REMC
$V = 6,80 \cdot 10^{-5} \cdot d_g^{1,937} \cdot H_0^{0,8000} \cdot N^{1,006}$	0,997	14,9 m <sup>3</sup> /ha

Nota:  $H_{015}$  = altura dominante (m) del rodal a los 15 años (se puede calcular mediante la primera relación fundamental).

**Tabla A.4.** Tablas de producción para *Eucalyptus nitens* en Galicia, correspondientes a índices de sitio de 10, 14 y 18 m a la edad de referencia de 6 años.

<b>IS = 10 m</b>																
Variables entrada		Masa principal antes de clara				Masa extraída				Masa principal después de clara				Masa total		
<i>t</i>	<i>H<sub>0</sub></i>	<i>N</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>G</i>	<i>V</i>	<i>N<sub>e</sub></i>	<i>G<sub>e</sub></i>	<i>V<sub>e</sub></i>	<i>V<sub>eac</sub></i>	<i>N<sub>p</sub></i>	<i>d<sub>gp</sub></i>	<i>G<sub>p</sub></i>	<i>V<sub>p</sub></i>	<i>V<sub>t</sub></i>	<i>C<sub>m</sub></i>	<i>C<sub>c</sub></i>
2	2.3	1200	3.6	1.2	1.9	8	0.0	0.0	0.0	1192	3.6	1.2	1.9	1.9	1.0	--
4	6.1	1192	7.1	4.8	16.1	9	0.0	0.0	0.0	1183	7.2	4.8	16.0	16.1	4.0	7.1
6	10.0	1183	10.2	9.6	47.4	10	0.0	0.1	0.2	1173	10.2	9.6	47.2	47.4	7.9	15.7
8	13.5	1173	12.6	14.7	91.1	11	0.0	0.3	0.5	1161	12.7	14.7	90.8	91.3	11.4	21.9
10	16.6	1161	14.6	19.5	140.3	11	0.1	0.5	0.9	1150	14.7	19.4	139.8	140.7	14.1	24.7
12	19.0	1150	16.2	23.7	189.4	11	0.1	0.6	1.6	1139	16.2	23.6	188.8	190.4	15.9	24.8
14	21.1	1139	17.5	27.3	235.6	10	0.1	0.7	2.3	1129	17.5	27.2	234.9	237.2	16.9	23.4
16	22.8	1129	18.5	30.3	277.4	9	0.1	0.7	3.0	1120	18.5	30.2	276.7	279.7	17.5	21.3
18	24.2	1120	19.3	32.8	314.6	7	0.1	0.7	3.7	1113	19.4	32.8	313.9	317.6	17.6	19.0
20	25.3	1113	20.0	35.0	347.3	6	0.1	0.6	4.3	1107	20.1	35.0	346.7	351.0	17.6	16.7
22	26.3	1107	20.6	36.9	376.1	4	0.0	0.5	4.8	1103	20.6	36.8	375.6	380.4	17.3	14.7
24	27.1	1103	21.1	38.4	401.4											
<b>IS = 14 m</b>																
2	3.3	1200	4.7	2.0	4.4	16	0.0	0.0	0.0	1184	4.7	2.0	4.4	4.4	2.2	--
4	8.7	1184	9.2	7.9	35.1	19	0.0	0.2	0.2	1164	9.3	7.9	34.9	35.1	8.8	15.3
6	14.0	1164	13.0	15.4	97.7	22	0.1	0.6	0.8	1143	13.1	15.3	97.1	97.9	16.3	31.4
8	18.6	1143	15.9	22.8	178.8	23	0.1	1.2	2.0	1120	16.0	22.6	177.6	179.7	22.5	40.9
10	22.3	1120	18.3	29.3	264.0	23	0.2	1.9	3.9	1096	18.4	29.1	262.1	266.0	26.6	43.2
12	25.3	1096	20.1	34.8	344.3	22	0.2	2.4	6.3	1074	20.2	34.5	341.9	348.2	29.0	41.1
14	27.7	1074	21.6	39.3	415.9	20	0.2	2.6	8.9	1054	21.7	39.0	413.3	422.2	30.2	37.0
16	29.6	1054	22.8	42.9	478.1	17	0.2	2.7	11.6	1036	22.9	42.7	475.4	487.0	30.4	32.4
18	31.2	1036	23.7	45.9	531.5	14	0.2	2.5	14.1	1022	23.9	45.7	529.0	543.1	30.2	28.0
20	32.4	1022	24.6	48.4	577.3	11	0.2	2.1	16.2	1011	24.6	48.2	575.2	591.3	29.6	24.1
22	33.5	1011	25.2	50.5	616.7	8	0.1	1.7	17.9	1003	25.3	50.3	615.0	632.9	28.8	20.8
24	34.4	1003	25.8	52.2	650.8											
<b>IS = 18 m</b>																
2	4.5	1200	5.7	3.1	8.3	33	0.0	0.1	0.1	1167	5.8	3.1	8.2	8.3	4.1	--
4	11.4	1167	11.2	11.5	62.8	38	0.1	0.7	0.8	1129	11.4	11.4	62.1	62.9	15.7	27.3
6	18.0	1129	15.7	21.7	166.7	42	0.3	2.1	2.9	1087	15.9	21.5	164.6	167.4	27.9	52.3
8	23.5	1087	19.1	31.2	292.2	44	0.4	4.0	6.9	1043	19.4	30.8	288.2	295.1	36.9	63.8
10	27.8	1043	21.9	39.1	415.9	44	0.5	5.9	12.8	999	22.2	38.6	410.0	422.8	42.3	63.8
12	31.2	999	24.1	45.4	526.0	41	0.6	7.3	20.1	959	24.4	44.9	518.7	538.9	44.9	58.0
14	33.8	959	25.9	50.4	619.5	36	0.6	7.9	28.1	922	26.2	49.8	611.5	639.6	45.7	50.4
16	35.9	922	27.4	54.2	697.1	31	0.6	7.9	35.9	892	27.7	53.6	689.2	725.1	45.3	42.8
18	37.6	892	28.6	57.2	761.4	25	0.5	7.1	43.1	867	28.9	56.7	754.2	797.3	44.3	36.1
20	39.0	867	29.6	59.7	815.0	19	0.4	6.0	49.1	848	29.8	59.3	809.0	858.1	42.9	30.4
22	40.1	848	30.4	61.7	860.5	14	0.3	4.8	53.9	834	30.6	61.4	855.7	909.6	41.3	25.7
24	41.1	834	31.1	63.4	899.5											

Nota: *IS* = índice de sitio (m); *t* = edad (años); *H<sub>0</sub>* = altura dominante (m); *N* = pies/ha; *d<sub>g</sub>* = diámetro medio cuadrático (cm); *G* = área basimétrica (m<sup>2</sup>/ha); *V* = volumen (m<sup>3</sup>/ha); los subíndices *e* y *p* hacen referencia a las variables anteriores, pero para la masa extraída y la masa después de clara respectivamente; *V<sub>eac</sub>* = volumen extraído acumulado en las claras (m<sup>3</sup>/ha); *V<sub>t</sub>* = volumen de la masa total (m<sup>3</sup>/ha); *C<sub>m</sub>* = crecimiento medio anual (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>); *C<sub>c</sub>* = crecimiento corriente anual (m<sup>3</sup> haP<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

### A.3. Modelos dinámicos de crecimiento (ver capítulo 4 del libro)

Siguiendo la estructura descrita en el capítulo 4 del libro, se han desarrollado modelos dinámicos de crecimiento para los rodales regulares de *Betula alba* y *Quercus robur* en Galicia (Gómez-García, 2011). Las investigaciones fueron financiadas por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto "Modelos de evolución de bosques de frondosas autóctonas del noroeste peninsular" (AGL2007-66739-C02-01), cofinanciado por la Unión Europea mediante fondos FEDER.

Como en el caso de los modelos dinámicos desarrollados con anterioridad, para facilitar su uso se han implementado en el simulador informático de crecimiento y producción de rodales forestales GesMO® (v. 2.1), que se puede descargar gratuitamente de la página Web de la UXFS <http://www.usc.es/uxfs/>.

#### A.3.1. Datos

Los datos utilizados para el desarrollo de los modelos dinámicos de abedul y roble fueron obtenidos por miembros de la UXFS en una red de parcelas diseñada específicamente para ello, que trata de cubrir las diferentes edades, densidades y calidades de estación existentes en rodales regulares de esas especies en sus áreas de distribución en Galicia. Los datos de la primera medición de las parcelas permitieron elaborar herramientas de gestión sencillas, como tablas de producción de selvicultura media observada o diagramas de manejo de la densidad (ya incluidas en el capítulo 3 de la versión del libro de 2009), y con la segunda medición de dicha red se han desarrollado los modelos dinámicos que a continuación se presentan.

Así para *B. pubescens* se estableció en los inviernos de 1997-1998, 1998-1999 y 2000-2001 una red de 137 parcelas. Esta red se completó con la instalación de 11 nuevas parcelas en el invierno de 2009-2010. Para *Q. robur* se estableció en los inviernos de 1999-2000, 2000-2001 y 2001-2002 una red de 172 parcelas. Las parcelas se localizaron en rodales regulares en las que la especie principal era abedul o roble (se consideró como criterio que al menos el 85% del área basimétrica correspondiese a esa especie). El tamaño de parcela osciló entre 200 y 1.000 m<sup>2</sup>, dependiendo de la densidad del rodal, para obtener un mínimo de 30 árboles por parcela. Aunque las parcelas de 200 m<sup>2</sup> pueden parecer muy pequeñas, éstas se consideraron para incluir rodales con densidades muy elevadas, y sólo dos parcelas no superaron los 500 m<sup>2</sup> de superficie.

Además de las parcelas de inventario, y debido a que la medición de la evolución temporal de la altura dominante es necesaria para la construcción de curvas de calidad de estación que reflejen la productividad forestal, se realizaron análisis de tronco en árboles dominantes. Para *B. pubescens* se seleccionaron 214 árboles dominantes y para *Q. robur* 133. Esta técnica es la recomendada cuando se carece de inventarios previos de parcelas que permitan describir su crecimiento en altura. Además, con el objetivo de tener una muestra representativa de todas las

clases sociológicas para ajustar funciones de perfil, también se aparearon 90 y 61 pies no dominantes por especie, completando así una muestra de 304 y 194 árboles en abedul y roble, respectivamente.

Al transcurrir un tiempo suficiente desde el primer inventario se planteó la necesidad de una nueva medición de las parcelas inicialmente instaladas, esta vez en un número más reducido debido a la desaparición de parcelas (motivada por su aprovechamiento o incendios) o por estar desvirtuadas. Finalmente se reinventariaron, en el invierno de 2007-2008, 50 parcelas de abedul. En el caso del roble, en el invierno de 2005-2006 se reinventariaron 40 parcelas, que volvieron a medirse en 2008-2009 junto con otras 32 parcelas no medidas en 2005-2006 por falta de fondos; por tanto, para roble se dispuso de 40 parcelas con tres inventarios y 32 parcelas con dos inventarios.

En las tablas A.5 y A.6 se presentan los estadísticos descriptivos más importantes de la muestra de datos utilizada para cada especie, una vez realizada una depuración de datos anómalos.

**Tabla A.5.** Estadísticos descriptivos de las variables de rodal empleadas en el desarrollo del modelo dinámico de crecimiento para *Betula alba*.

Variable	1º inventario (148 parcelas)				2º inventario (50 parcelas)			
	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica.	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica
<i>t</i>	32	12	94	11,9	38	22	56	9,8
<i>H<sub>0</sub></i>	15,3	7,2	24,4	3,6	18,1	11,0	24,5	3,1
<i>N</i>	1.750	390	6.000	1.099	1.430	350	4.480	865
<i>G</i>	25,1	3,3	66,5	10,5	30,1	9,2	71,8	11,2
304 árboles								
<i>d</i>	20,0	7,3	39,2	6,0				
<i>h</i>	14,5	6,2	24,4	3,4				
<i>h<sub>st</sub></i>	0,16	0,0	0,5	0,09				

Nota: *t* = edad del rodal (años); *H<sub>0</sub>* = altura dominante (m, definida como la altura media de los 100 pies más gruesos por hectárea); *N* = número de pies por hectárea; *G* = área basimétrica (para el cálculo de *N* y *G* sólo se utilizaron los pies vivos); *d* = diámetro normal con corteza (cm); *h* = altura total del árbol (m); *h<sub>st</sub>* = altura del tocón (m).

**Tabla A.6.** Estadísticos descriptivos de las variables de rodal empleadas en el desarrollo del modelo dinámico de crecimiento para *Quercus robur*.

Función	Variable	Parcelas intervalo-permanentes (59)				Análisis tronco árboles dominantes (133)			
		Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica
$H_0$	$t$ (años)	75	37	164	27,0	31	1	132	21,6
	$H_0$ (m)	18,4	9,9	24,6	3,0	8,4	0,3	27,4	5,2
Parcelas intervalo-permanentes (68)									
$N$	$t$ (años)	76	37	164	26,2				
$G$	$N$ (pies/ha)	846	325	3022	387				
	$G$ (m <sup>2</sup> /ha)	33,03	13,14	68,79	9,33				
278 parcelas para la función de desagregación diamétrica					263 parcelas para la relación $h-d$ generalizada y la tarifa de cubicación de rodal				
$d_{distribución}$	$t$ (años)	73	34	164	26,6	73	34	164	26,1
$h-d$	$H_0$ (m)	17,9	7,3	25,8	3,2	17,9	7,3	25,8	3,2
$V_{rodal}$	$N$ (pies/ha)	872	302	3140	442	874	302	3140	446
	$G$ (m <sup>2</sup> /ha)	30,91	2,60	68,79	9,63	30,89	2,60	68,79	9,43
194 árboles									
Función de perfil	$d$ (cm)	28,9	8,4	67,5	9,3				
	$h$ (m)	16,5	8,2	27,5	3,6				
	$h_{st}$ (m)	0,19	0,04	0,3	0,07				

Nota: Variables definidas en la tabla A.1.

### A.3.2. Resultados

En las tablas A.7 y A.8 se muestran las funciones elegidas para formar parte de los modelos dinámicos de crecimiento para abedul y roble en Galicia (la notación y las unidades de las variables pueden consultarse en las figuras 4.1, 4.2, 4.5 y 4.6, así como en el anexo I del libro). Para su exposición se ha seguido el orden lógico en su utilización en el modelo dinámico: las funciones de transición y las funciones de salida.

**Tabla A.7.** Resumen de las funciones que constituyen el modelo dinámico de crecimiento para *Betula alba*.

Funciones de transición	<b>Función de transición para la altura dominante</b>
	$H_{02} = \frac{19,80 + X_0}{1 + 758,0/X_0 \cdot t_2^{-1,398}}, \text{ donde } X_0 = \frac{H_{01} - 19,80 + \sqrt{(19,80 - H_{01})^2 + 3032 \cdot H_{01} \cdot t_1^{-1,398}}}{2}$
	<b>Función de transición para el número de pies por hectárea</b>
	$N_2 = \left( N_1^{-1/1,581} + 0,004637 \cdot \ln(IS) \cdot \left( \left( \frac{t_2}{100} \right)^{1,581} - \left( \frac{t_1}{100} \right)^{1,581} \right) \right)^{-1,581}$
	<b>Función de transición para el área basimétrica</b>
	$G_2 = \exp(X_0) \cdot \exp\left((136,4 - 642,8/X_0) \cdot t_2^{-0,9385}\right), \text{ donde}$ $X_0 = \frac{t_1^{-0,9385}}{2} \cdot \left( -136,4 + t_1^{0,9385} \cdot \ln(G_1) + \sqrt{2571 \cdot t_1^{0,9385} + (136,4 - t_1^{0,9385} \cdot \ln(G_1))^2} \right)$
Funciones de salida	<b>Función de inicialización del área basimétrica</b>
	$G = 1,512 \cdot N^{0,3799} \cdot \exp(-27,01/t + 0,07972 \cdot IS)$
	<b>Desagregación (diámetro medio aritmético)</b>
	$\bar{d} = d_g - \exp(-1,31 + 0,08459 \cdot H_0 - 0,04192 \cdot IS)$
	<b>Función altura-diámetro generalizada</b>
	$h = 1,3 + (H_0 - 1,3) \cdot \exp\left( (2,461 - 0,2336 \cdot H_0 - 0,2737 \cdot d_g) \cdot \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} \right) \right)$
	<b>Función de perfil del tronco y tarifa de cubicación de árbol individual</b>
	$d_i = c_1 \cdot \sqrt{H^{(k-b_1)/b_1} \cdot (1-q)^{(k-\beta)/\beta} \cdot \alpha_1^{l_1+l_2} \cdot \alpha_2^{l_2}}; k = \pi/40.000; q = h_i/h;$ $\begin{cases} l_1 = 1 \text{ si } p_1 \leq q \leq p_2; 0 \text{ en caso contrario} \\ l_2 = 1 \text{ si } p_2 < q \leq 1; 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}; \beta = b_1^{1-(l_1+l_2)} \cdot b_2^{l_1} \cdot b_3^{l_2}; \alpha_1 = (1-p_1)^{\frac{(b_2-b_1)k}{b_1 \cdot b_2}};$ $\alpha_2 = (1-p_2)^{\frac{(b_3-b_2)k}{b_2 \cdot b_3}}; r_0 = (1-h_{st}/h)^{k/b_1}; r_1 = (1-p_1)^{k/b_1}; r_2 = (1-p_2)^{k/b_2};$ $c_1 = \sqrt{\frac{a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2-k/b_1}}{b_1 \cdot (r_0 - r_1) + b_2 \cdot (r_1 - \alpha_1 \cdot r_2) + b_3 \cdot \alpha_1 \cdot r_2}}; v = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2}$ $a_0 = 5,991 \cdot 10^{-5}; a_1 = 1,925; a_2 = 0,8637; b_1 = 5,266 \cdot 10^{-6}; b_2 = 2,838 \cdot 10^{-5}; b_3 = 2,428 \cdot 10^{-5};$ $p_1 = 0,04425; p_2 = 0,9984$
	<b>Tarifa de cubicación de rodal</b>
	$V = 0,8003 \cdot G^{0,971} \cdot H_0^{0,7971}$

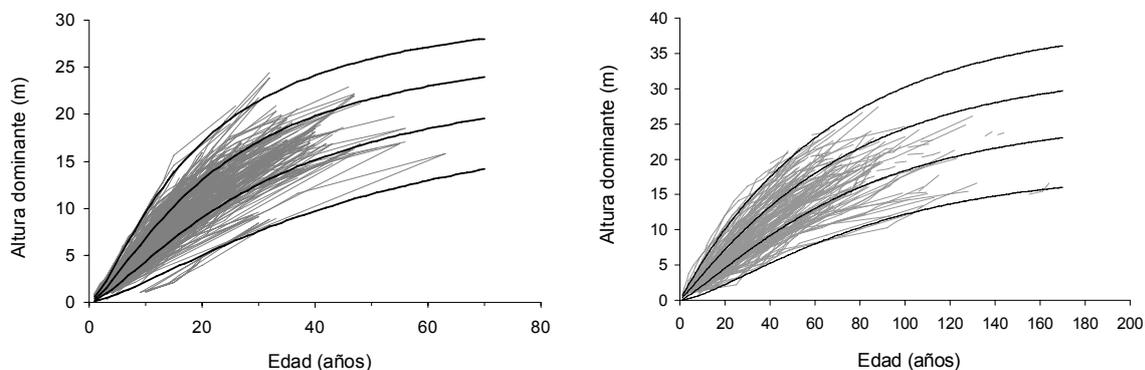
Nota: La edad a la que referenciar el índice de sitio para los rodales de esta especie es 20 años (ver capítulo 2).

**Tabla A.8.** Resumen de las funciones que constituyen el modelo dinámico de crecimiento para *Quercus robur*.

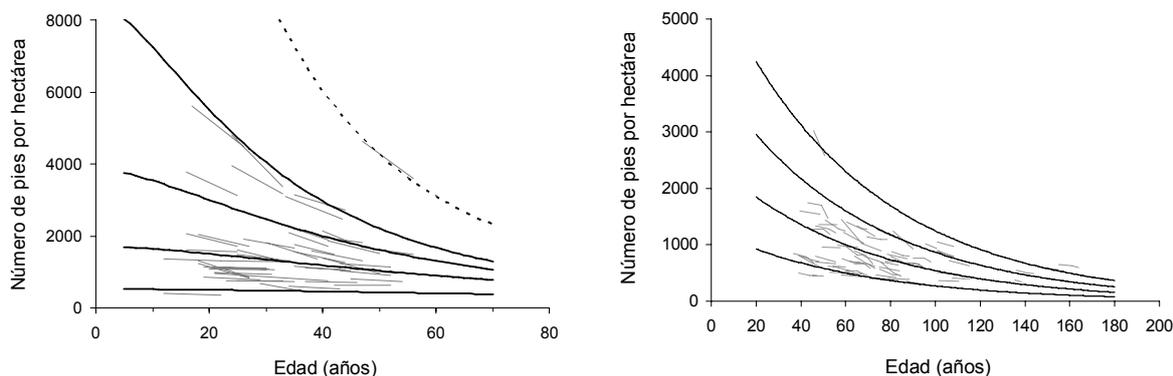
Funciones de transición	Función de transición para la altura dominante
	$H_{02} = H_{01} \cdot \left( \frac{1 - \exp(-0,01440 \cdot t_2)}{1 - \exp(-0,01440 \cdot t_1)} \right)^{-1,049+7,479/X_0}, \text{ donde}$ $X_0 = 0,5 \cdot \left( \ln(H_{01}) + 1,049 \cdot L_0 + \sqrt{(\ln(H_{01}) + 1,049 \cdot L_0)^2 - 29,92 \cdot L_0} \right) y$ $L_0 = \ln(1 - \exp(-0,01440 \cdot t_1))$
	Función de transición para el número de pies por hectárea
	$N_2 = N_1 \cdot \exp(-0,01533 \cdot (t_2 - t_1))$
	Función de transición para el área basimétrica
	$G_2 = G_1^{t_1/t_2} \cdot \exp\left(0,8579 \cdot \ln(H_{01}) \cdot \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) + 0,3060 \cdot \ln(N_1) \cdot \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)\right)$
Funciones de salida	Función de inicialización del área basimétrica
	$G = 104,8 \cdot (1 - \exp(-0,006031 \cdot t))^{14,62/IS+167,1/N}$
	Desagregación (diámetro medio aritmético)
	$\bar{d} = d_g - \exp(-0,0001691 \cdot N + 0,01334 \cdot G)$
	Función altura-diámetro generalizada
	$h = 1,3 + (H_0 - 1,3) \cdot \exp\left(-0,604 \cdot H_0 + 0,001119 \cdot N\right) \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_0}\right)$
	Función de perfil del tronco y tarifa de cubicación de árbol individual
	$d_i = c_1 \cdot \sqrt{H^{(k-b_1)/b_1} \cdot (1-q)^{(k-\beta)/\beta} \cdot \alpha_1^{l_1+l_2} \cdot \alpha_2^{l_2}}; k = \pi/40.000; q = h_i/h;$ $\begin{cases} l_1 = 1 \text{ si } p_1 \leq q \leq p_2; 0 \text{ en caso contrario} \\ l_2 = 1 \text{ si } p_2 < q \leq 1; 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}; \beta = b_1^{1-(l_1+l_2)} \cdot b_2^{l_1} \cdot b_3^{l_2}; \alpha_1 = (1-p_1)^{\frac{(b_2-b_1)k}{b_1 \cdot b_2}};$ $\alpha_2 = (1-p_2)^{\frac{(b_3-b_2)k}{b_2 \cdot b_3}}; r_0 = (1-h_{st}/h)^{k/b_1}; r_1 = (1-p_1)^{k/b_1}; r_2 = (1-p_2)^{k/b_2};$ $c_1 = \sqrt{\frac{a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2-k/b_1}}{b_1 \cdot (r_0 - r_1) + b_2 \cdot (r_1 - \alpha_1 \cdot r_2) + b_3 \cdot \alpha_1 \cdot r_2}}; v = a_0 \cdot d^{a_1} \cdot h^{a_2}$ $a_0 = 4,618 \cdot 10^{-5}; a_1 = 1,771; a_2 = 1,165; b_1 = 5,159 \cdot 10^{-6}; b_2 = 3,157 \cdot 10^{-5}; b_3 = 2,553 \cdot 10^{-5};$ $p_1 = 0,04025; p_2 = 0,5184$
	Tarifa de cubicación de rodal
	$V = 5,030 \cdot 10^{-5} \cdot d_g^{1,974} \cdot H_0^{0,9243} \cdot N^{0,9752}$

Nota: La edad a la que referenciar el índice de sitio para los rodales de esta especie es 60 años (ver capítulo 2).

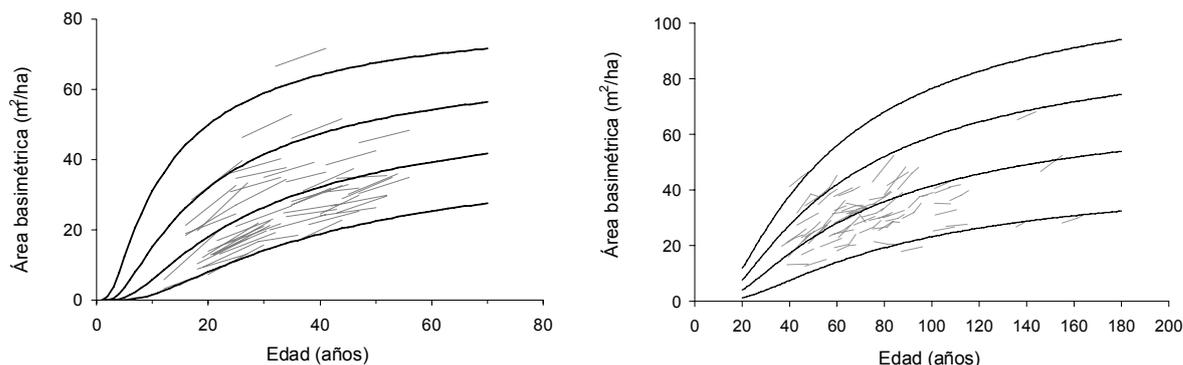
En las figuras A.5, A.6 y A.7 se representan gráficamente algunos ejemplos resultantes de aplicar las funciones de transición correspondientes a las variables de estado altura dominante, área basimétrica y número de pies por hectárea para abedul y roble. Las curvas obtenidas de evolución de estas variables se han superpuesto sobre las trayectorias de los valores observados en las parcelas experimentales.



**Figura A.5.** Curvas de calidad de estación para *Betula alba* (izquierda) y *Quercus robur* (derecha) para índices de sitio de 5, 9, 13 y 17 m a la edad de referencia de 20 años y de 8, 13, 18 y 23 m a la edad de referencia de 60 años, respectivamente.



**Figura A.6.** Trayectorias de evolución con el tiempo del número de pies por hectárea para *Betula alba* (izquierda) y *Quercus robur* (derecha). Para abedul las curvas proyectadas son para densidades de 500, 1.500, 3.000 y 5.500 pies por hectárea a los 20 años e índices de sitio de 5, 9, 13 y 17 m, respectivamente (líneas continuas); también se representa una curva específica para un dato observado de 4.700 pies por hectárea a los 47 años y un índice de sitio de 8,82 m (línea discontinua). Para roble las curvas proyectadas son para densidades de 500, 1.000, 1.600 y 2.300 pies por hectárea a los 60 años.



**Figura A.7.** Curvas de evolución con el tiempo del área basimétrica para *Betula alba* (izquierda) y *Quercus robur* (derecha). Para abedul las curvas proyectadas son para 4 rodales que a los 20 años tienen un área basimétrica de 8, 18, 32 y 50 m<sup>2</sup>/ha, respectivamente. Para roble las curvas proyectadas son para 4 rodales que a los 60 años tienen 1.000 pies/ha y un área basimétrica de 14, 28, 42 y 56 m<sup>2</sup>/ha con un índice de sitio de 8, 13, 18 y 23 m, respectivamente.

#### A.4. Desagregación de las variables del rodal (ver capítulo 6 del libro)

Se han actualizado las ecuaciones de estimación del diámetro medio aritmético correspondientes a las especies *Betula alba* y *Quercus robur* debido a la disponibilidad de más datos. Las nuevas ecuaciones de desagregación se muestran en las tablas A.7 y A.8, respectivamente, del apartado A.3.2.

#### A.5. Relación altura diámetro (ver capítulo 7 del libro)

Se han actualizado las ecuaciones que relacionan la altura con el diámetro y variables de rodal para las especies *Betula alba* y *Quercus robur* debido a la disponibilidad de más datos. Las nuevas ecuaciones altura-diámetro generalizadas se muestran en las tablas A.7 y A.8, respectivamente, del apartado A.3.2. No obstante, se ha optado por no actualizar el archivo de Microsoft® Office Excel 2003 denominado 07\_HDG.xls (“Altura-Diámetro Generalizada”) con estas ecuaciones debido a que requieren un mayor esfuerzo de muestreo que las que se incluyen en el libro de 2009 y proporcionan resultados similares.

## A.6. Herramientas para la cubicación con clasificación de productos (ver capítulo 8 del libro)

Se ha desarrollado un sistema compatible de estimación de volumen a partir de una función de perfil para las especies *Betula alba* y *Eucalyptus nitens*. Con respecto a *Betula alba*, se emplearon los datos de los 304 árboles indicados en el apartado A.3.1 (ver estadísticos descriptivos en la tabla A.5). Para *Eucalyptus nitens* se utilizaron datos de 58 árboles apeados en 22 parcelas instaladas en propiedades particulares de la provincia de Lugo. La elección de los pies se fundamentó en un estudio previo sobre la especie en las provincias de Lugo y A Coruña, donde se establecieron 76 parcelas en las que se comprobó la distribución de las variables independientes (diámetro y altura) para la especie (Pérez-Cruzado y Rodríguez-Soalleiro, 2011). Con esta información, se eligieron los árboles a muestrear en dos fases: una primera sistemática en la que todas las clases dimensionales de diámetro y altura estuvieron representadas con un mínimo de dos pies, y una segunda en la que el resto de la muestra se distribuyó de forma proporcional al número de pies de cada clase dimensional. En la tabla A.9 se presentan los estadísticos descriptivos más importantes de la muestra de datos utilizada para *Eucalyptus nitens*.

**Tabla A.9.** Estadísticos descriptivos de la muestra de árboles empleada para desarrollar la tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Betula alba* y *Eucalyptus nitens*.

Especie	Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica
<i>Betula alba</i> (304 árboles)	Nº secciones	11,3	5	22	3,3
	<i>d</i>	20,0	7,3	39,2	6,0
	<i>h</i>	14,5	6,2	24,4	3,4
	<i>h<sub>st</sub></i>	0,16	0,00	0,50	0,09
<i>Eucalyptus nitens</i> (58 árboles)	Nº secciones	34,0	12	61	11,8
	<i>d</i>	23,8	9,5	39,2	7,4
	<i>h</i>	22,2	11,9	31,6	5,4
	<i>h<sub>st</sub></i>	0,15	0,15	0,15	0,00

En la tabla A.10 se muestran las estimaciones de los parámetros de la función de perfil de Fang et al. (2000) ajustada para las dos especies (el modelo se muestra en la tabla A.7, concretamente en la celda correspondiente a la función de perfil del tronco y la tarifa de cubicación de árbol individual; las estimaciones de los parámetros para ambas especies aparecen en la tabla A.10). Todos los parámetros resultaron significativos al nivel del 5%. Para *Betula alba* se obtuvo un valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,966, mientras que el valor de la raíz del error medio cuadrático (REMC) fue 1,50 cm. Los correspondientes valores de estos estadísticos para *Eucalyptus nitens* fueron 0,993 y 0,718 cm.

**Tabla A.10.** Estimaciones de los parámetros del sistema compatible de Fang et al. (2000) para *Betula alba* y *Eucalyptus nitens*.

Especie	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$\rho_1$	$\rho_2$
<i>Betula alba</i>	$5,991 \cdot 10^{-5}$	1,925	0,8637	$5,266 \cdot 10^{-6}$	$2,838 \cdot 10^{-5}$	$2,428 \cdot 10^{-5}$	0,04425	0,9984
<i>Eucalyptus nitens</i>	$5,024 \cdot 10^{-5}$	1,823	1,046	$5,700 \cdot 10^{-6}$	$3,074 \cdot 10^{-5}$	$2,797 \cdot 10^{-5}$	0,03111	0,5643

## A.7. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón (ver capítulo 9 del libro)

Basándose en la información de los 58 árboles utilizada para desarrollar la función de perfil para *Eucalyptus nitens* (ver estadísticos descriptivos en la tabla A.11) y empleando la metodología descrita en el apartado 9.2.2 del libro publicado en 2009, se han desarrollado ecuaciones de predicción del diámetro normal y del volumen del tronco con corteza en función del diámetro del tocón.

**Tabla A.11.** Estadísticos descriptivos de la muestra de árboles empleada para estimar el diámetro normal y el volumen del tronco en función de las dimensiones del tocón para *Eucalyptus nitens*.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típica
$d$	23,8	9,5	39,2	7,4
$h$	22,2	11,9	31,6	5,4
$d_{st}$	28,6	12,2	49,4	8,9
$h_{st}$	0,15	0,15	0,15	0,00
$v$	0,496	0,042	1,341	0,348

Nota:  $d$  = diámetro normal con corteza (1,3 m sobre el suelo, cm);  $h$  = altura total del árbol (m);  $d_{st}$  = diámetro del tocón con corteza (cm);  $h_{st}$  = altura del tocón (m);  $v$  = volumen del tronco con corteza (desde la altura del tocón hasta el ápice, m<sup>3</sup>).

La mejor ecuación para estimar el diámetro normal a partir del diámetro del tocón resultó:

$$d = -0,2362 + 0,8385 \cdot d_{st}$$

donde  $d$  es el diámetro normal con corteza (1,3 m sobre el suelo, cm) y  $d_{st}$  el diámetro del tocón con corteza (cm). El valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0,944, mientras que el de la raíz del error medio cuadrático (REMC) fue 1,77 cm.

Con respecto a la mejor ecuación para estimar el volumen en función del diámetro del tocón se obtuvo:

$$v = -0,06029 + 6,152 \cdot 10^{-4} \cdot d_{st}^2$$

donde  $v$  es el volumen del tronco con corteza (desde la altura del tocón hasta el ápice,  $m^3$ ) y  $d_{st}$  el diámetro del tocón con corteza (cm). En este caso el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0,873 y el de la raíz del error medio cuadrático (REMC) 0,125  $m^3$ .

## A.8. Actualización del Anexo III: Resumen de herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia

En la tabla A.12 se relacionan las diferentes herramientas selvícolas disponibles a fecha de 29/10/2012 para cada especie, indicando el capítulo del libro donde pueden consultarse y el archivo o programa en el que están implementadas (que se puede descargar gratuitamente de la página Web de la UXFS <http://www.usc.es/uxfs>).

**Tabla A.12.** Resumen de herramientas selvícolas para la gestión sostenible de las principales especies forestales de Galicia.

Herramienta	B.a.	E.g.	E.n.	P.p.	P.r.	P.s.	P.m.	Q.r.
Curvas de calidad de estación (capítulo 2, archivo 02_CE.xls)	x	x	✓	☒	x	x	x	☑
Tablas de producción (capítulo 3, archivo 03a_TP.xls)	x		✓				x	x
Diagrama de manejo de la densidad (capítulo 3, archivo 03b_DMD.pdf)	x		✓				x	x
Modelo dinámico de crecimiento (capítulo 4, programa GesMO® 2009)	✓			x	x	x		✓
Modelo de árbol individual (capítulo 5)					x			
Distribución diamétrica (capítulo 6, archivo 06_DD.xls)	☑			x	x	x	x	☑
Relación $h-d$ generalizada (capítulo 7, archivo 07_HDG.xls)	✓	x		x	x	x	x	☑
Herramientas de cubicación de árbol individual, con y sin clasificación de productos (capítulo 8, archivo 08_TCCP.xls)	✓	x	✓	x	x	x	x	x
Ecuación de volumen y diámetro normal a partir de las dimensiones del tocón (capítulo 9, archivo 09_TOC.xls)	x	x	✓	x	x	x		x
Ecuación de biomasa de árbol individual (capítulo 10, archivo 10_BIO.xls)	x	x	x	x	x	x		x
Ecuación de biomasa de rodal (capítulo 10)				x	x			
Factor de expansión de biomasa (capítulo 10)	x	x	x	x	x	x		x
Contenido de carbono (capítulo 10)	x	x	x	x	x	x		x

Nota: B.a. = *Betula alba*; E.g. = *Eucalyptus globulus*; E.n. = *Eucalyptus nitens*; P.p. = *Pinus pinaster*; P.r. = *Pinus radiata*; P.s. = *Pinus sylvestris*; P.m. = *Pseudotsuga menziesii*; Q.r. = *Quercus robur*. x = Herramientas incluidas en el libro original publicado en 2009. ☒ = Corrección de errores en la representación de las curvas de calidad de estación para diferentes índices de sitio. ☑ = Herramientas actualizadas desde la publicación del libro en 2009. ✓ = Nuevas herramientas desarrolladas desde la publicación del libro en 2009.

## A.9. Bibliografía

- Blanco Souto, A. 2009. Elaboración de curvas de calidad para *Eucalyptus nitens* (Maiden) en el noroeste de España. Trabajo de investigación fin de carrera. Universidad de Santiago de Compostela.
- Gómez-García, E. 2011. Modelos dinámicos de crecimiento para rodales regulares de *Betula pubescens* Ehrh. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Pérez-Cruzado, C. 2011. Models for estimating biomass and carbon in biomass and soils in *Pinus radiata* (D. Don), *Eucalyptus globulus* (Labill) and *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden plantations established in former agricultural lands in Northwestern Spain. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Pérez-Cruzado, C., Rodríguez-Soalleiro, R., 2011. Improvement in accuracy of aboveground biomass estimation in *Eucalyptus nitens* plantations: Effect of bole sampling intensity and explanatory variables. *Forest Ecology and Management*, 261: 2016–2028.
- Pérez-Cruzado, C., Merino, A., Rodríguez-Soalleiro, R. 2011. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2839-2851.

