

Aproximación a la dinámica de los montes gallegos. Existencias y evolución de los tipos forestales en la provincia de Pontevedra

O. García

Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán y Universidad de Santiago de Compostela
garcia@unbc.ca

RESUMEN

Se presentan algunas herramientas para investigar el futuro del sector forestal en Galicia, España. Las parcelas de campo de los sucesivos inventarios forestales nacionales en la provincia de Pontevedra se utilizan primeramente para estimar la evolución histórica y situación actual de los montes. Luego, esta información es empleada para desarrollar un modelo de matrices de Markov que permite proyectar superficies de los diversos tipos forestales. Finalmente, se examinan métodos para estimar la distribución de edades y la producción en volumen, datos fundamentales para la aplicación de modelos de planificación más detallados.

PALABRAS CLAVE: Galicia
Planificación
Matrices de Markov
Modelos de escenario
Producción
Uso de la tierra
Recursos forestales

INTRODUCCIÓN

Las proyecciones del desarrollo de los montes a largo y mediano plazo son un apoyo fundamental a la política forestal. La evolución de las masas forestales está estrechamente ligada a la demanda de productos, al desarrollo industrial, niveles de empleo y disponibilidad de mano de obra, presiones sobre infraestructuras tales como las redes de comunicación y los puertos, etc. No basta con la información comúnmente proporcionada por los inventarios forestales sobre «qué hay», o más frecuentemente, «qué hubo», sino que hay que responder al «qué habrá».

Recibido: 9-1-01
Aceptado para su publicación: 23-7-01

Galicia ocupa una posición preponderante en la producción forestal española, y posee uno de los potenciales más altos de Europa por sus características bioclimáticas. Al mismo tiempo, la potenciación y compatibilización de los múltiples beneficios del monte presenta aquí dificultades especiales, entre otras cosas debido a una muy fraccionada estructura de la propiedad forestal (Del Álamo, 1992). El Plan Forestal de Galicia (Xunta de Galicia, 1992) analizó el sector e identificó metas y objetivos en materias de uso de la tierra, desarrollo industrial y actividades de apoyo. Es, sin embargo, básicamente de tipo normativo, especificando situaciones deseables de alcanzar en un eventual estado final cuasi-estacionario. Existe la necesidad de contar con herramientas de tipo predictivo para orientar una gestión y política forestal racional.

El programa de Forest Scenario Modelling del Instituto Forestal Europeo (EFI) da algunas pautas sobre lo que es posible (EFI, 1999; Nabuurs y Päivinen, 1996). Su objetivo es el desarrollar modelos forestales a gran escala para proyectar el desarrollo de los bosques europeos bajo diversos escenarios. En su aplicación a España, sin embargo, debido al desconocimiento de la distribución de edades los modelos del EFI se ven obligados a trabajar únicamente con distribuciones de diámetros, como si el bosque estuviera constituido por un rodal multietáneo. Esto es claramente poco realista e insatisfactorio, especialmente para las importantes masas forestales coetáneas del norte de España, lo que apunta a una necesidad prioritaria de generar estimaciones de clases de edad por aproximadas que éstas sean. Cabe también señalar que otros tipos de modelos pueden ser más adecuados en situaciones en que el monte es gestionado por grandes números de propietarios individuales (Suzuki, 1984; Amano *et al.*, 1984; Vanclay, 1998).

Se presentan aquí algunos intentos de descripción y modelización de aspectos dinámicos de los montes gallegos, utilizando principalmente datos de las parcelas de campo del Inventario Forestal Nacional. El énfasis es en aspectos metodológicos, tomando como ejemplo la Provincia de Pontevedra. Primeramente se describe la información disponible, y se propone una tipificación según especies y fases de desarrollo adecuada para la evaluación del potencial productivo, presentando estimaciones de superficies existentes al tiempo de los inventarios de 1986-87 y 1998. Luego se desarrolla un modelo probabilístico simple, estimando probabilidades de transición y proyectando la composición específica futura del monte bajo una hipótesis de continuidad de los criterios de gestión. Finalmente se examinan brevemente métodos para estimar la distribución de edades y tablas de producción, y se suman los resultados y conclusiones.

Datos

El Inventario Forestal Nacional incluye dos componentes principales: uno cartográfico, basado en fotointerpretación y delimitación de áreas consideradas como homogéneas («teselas») e implementado en un sistema de información geográfica (SIG), y otro consistente en una red de parcelas de campo que en el Segundo y Tercer Inventario fueron distribuidas sobre una malla con espaciamiento de un kilómetro en las coordenadas UTM. La información publicada por el ICONA se elabora asignando valores derivados de las parcelas a las teselas y calculando superficies, volúmenes, etc., a partir de éstas (ICONA, 1993). Aquí hemos utilizado solamente las parcelas de campo del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) y Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), suponiendo que cada una representa un kilómetro cuadrado (100 hectáreas). Los cálculos a través del SIG

proporcionan una mayor precisión en las superficies y una localización espacial detallada. El uso directo de las parcelas, sin embargo, facilita las comparaciones intertemporales y proporciona flexibilidad en la utilización de las variables dasométricas.

En el IFN2, de los aproximadamente 4.500 puntos de la malla kilométrica que caen sobre el territorio de la provincia de Pontevedra, 1.675 identificados como posiblemente arbolados en la cartografía previamente disponible fueron examinados sobre el terreno. Luego de registrar ciertas variables generales, en cada punto clasificado como forestal arbolado se estableció una parcela donde se midieron, entre otras cosas, diámetros, alturas y coordenadas de los árboles y la presencia de regeneración. Las parcelas son de radios variables entre 5 y 25 metros según rangos de diámetro normal. Se marcaron con un rejón metálico enterrado (detectable magnéticamente), describiendo su posición en relación a puntos de referencia cercanos para su localización en inventarios futuros. Para más detalles véase ICONA (1993). Las labores de campo se ejecutaron en su mayor parte durante la segunda mitad de 1986 y primera de 1987, con algunas revisiones posteriores. Específicamente, se registran 1.039 puntos con fecha de 1986, 587 de 1987, 13 de 1988, y 35 de 1989. La distribución de las parcelas puede verse en la Figura 1.

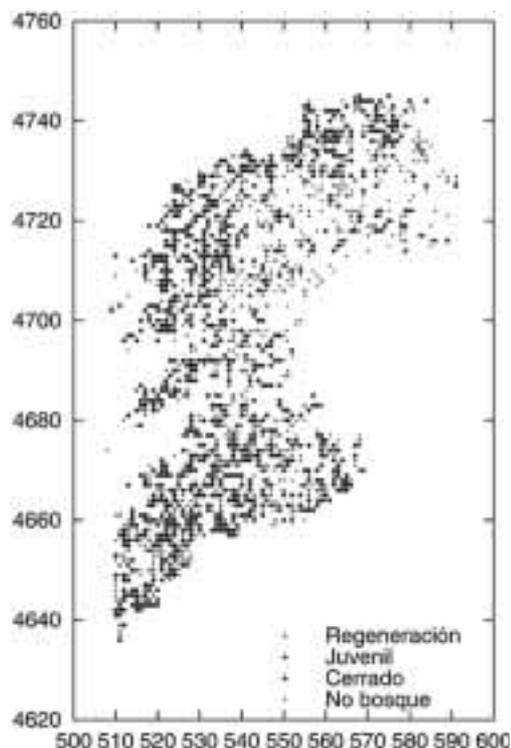


Fig. 1.—Parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional. La clasificación de bosques «productivos» indicada se describe más adelante. Coordenadas UTM (km)

El IFN3 se realizó en enero-febrero de 1998, con métodos similares a los del IFN2. Hay naturalmente algunas complicaciones asociadas al replanteo de las parcelas, que requieren cierto cuidado en los cálculos e interpretaciones para asegurar la representatividad

y evitar sesgos. Algunas parcelas del IFN2 no pudieron localizarse y fueron reemplazadas por parcelas nuevas. Cuando la parcela cubría parte de dos teselas diferentes se apeó una parcela adicional desplazada lo necesario para estar completamente contenida en la tesela correspondiente al rejón original, designando las dos parcelas como de tipo A3C y A3E, respectivamente. También se apeó una parcela adicional cuando la parcela del IFN2 no estaba en el punto correcto de la malla (tipos A2C y A2E). Por último, están los casos donde el punto estaba desarbolado en el IFN2 y no en el IFN3, y viceversa. Distintos conjuntos de parcelas deben usarse dependiendo de si se quiere estimar existencias actuales, cambios entre tipos de uso, o crecimiento de los rodales. Más problemático es el que, por razones presupuestarias, no se revisara la malla de muestreo para cubrir nuevas forestaciones y que no se aparearan todas las parcelas correspondientes a las del IFN2. La intención es suplir estas limitaciones del muestreo estadístico con un tratamiento más elaborado de la información cartográfica en el SIG. Al momento de escribir este artículo el procesamiento y publicación del IFN3 no habían sido completados y agradecemos al ICONA por facilitar los datos, y en especial a José Antonio Villanueva por responder prontamente a nuestras consultas.

Existencias

Verificación y factores de corrección

Dadas las diferencias metodológicas entre los inventarios con apoyo cartográfico y el muestreo con parcelas de campo, es importante verificar la consistencia y obtener los necesarios factores de corrección. En la Tabla 1 se indican, en primer lugar, superficies según uso publicadas en el Segundo Inventario Forestal Nacional y los números de parcelas correspondientes. Se han incluido también, por el interés de las comparaciones, las superficies para 1972 del Primer Inventario Forestal Nacional, IFN1 (ICONA, 1972).

Tabla 1
Superficies según uso y propiedad, km² (cientos de hectáreas)

	Arbolado		Desarbolado		No forestal		Total	
	Partic.	Total	Partic.	Total	Partic.	Total	Partic.	Total
1972, IFN1 ICONA	—	2.013	—	1.066	—	1.398	—	4.477
1986-87, IFN2 ICONA	911	1.344	697	1.503	1.582	1.648	3.191	4.495
Parcelas IFN2, usos	914	1.332	70	149	148	194	1.132	1.675
Parcelas IFN2, según FCC	905	1.311	79	170	148	194	1.132	1.675
Parcelas IFN2, ajustado	905	1.311	654	1.395	1.365	1.789	2.924	4.495
1998, estimación	933	1.397	—	—	—	—	2.924	4.495

La clasificación «particular» se refiere a los montes de propietarios particulares no consorciados o convenidos. El tamaño medio de la propiedad de éstos en la provincia de Pontevedra se ha estimado entre 0,75 y 1,1 hectáreas (Xunta de Galicia, 1992). Puede esperarse que la gestión de estos montes difiera apreciablemente del resto, en su mayoría

montes vecinales en mano común y montes consorciados, que generalmente forman unidades de mayor tamaño con objetivos y recursos técnicos diferentes. No se dan superficies para 1972 ya que la elaboración del IFN1 utilizó una clasificación algo distinta, y la Ley de Montes Vecinales de 1980 introdujo cambios importantes en el régimen de tierras.

El uso forestal arbolado se definió como tierras con especies forestales arbóreas y una fracción de cabida cubierta igual o superior al 10 %. Desarbolado incluye los usos definidos en el IFN2 como forestal arbolado ralo (fracción de cabida cubierta inferior al 10 %) y forestal desarbolado (matorrales, pastizales, y otras tierras de uso potencialmente forestal). No forestal corresponde a cultivos agrícolas, terrenos improductivos, urbanos, carreteras, aguas, etc. (ICONA, 1993).

El uso en los puntos posiblemente forestales de la malla de muestreo del IFN2 fue verificado en las parcelas de campo. Se observa en la Tabla 1 que el número de parcelas clasificadas como forestal arbolado es similar a las superficies obtenidas cartográficamente en el inventario, confirmando que la representatividad de una parcela por kilómetro cuadrado es aceptable. Obviamente, la representación de terrenos no arbolados en las parcelas de inventario es mucho menor. Para éstas podemos estimar un factor de expansión de aproximadamente $(4495 - 1332)/(1675 - 1332) = 9,22$. Aunque tal vez podría haberse esperado una menor frecuencia de parcelas en terrenos no forestales que en los forestales desarbolados, eso no ocurrió, así que usaremos un mismo factor de expansión para ambas clases de uso.

Algunas de las parcelas clasificadas como forestal arbolado registraron fracciones de cabida cubierta menores del 10 % (cuarta línea en la Tabla 1). Presumiblemente la clasificación de uso corresponde a una apreciación subjetiva del territorio alrededor del punto de muestreo, mientras que en el apeo de parcelas ocurren casos puntuales de baja cobertura (la fracción de cabida cubierta se estimó visualmente para la parcela en clases de 5, 10, 15, 20, ..., 95, 100 %). La primera situación se aproxima al cálculo de superficies por cartografía y fotointerpretación, donde irregularidades y huecos pequeños en la masa forestal son ignorados. La segunda cuantificación más estricta de cubierta forestal es la que utilizaremos aquí. Debe tenerse presente que cabe esperar algunas diferencias entre ambas interpretaciones, especialmente con masas altamente fraccionadas y heterogéneas como en este caso.

Ajustando los números de parcelas clasificadas como no arboladas multiplicando por el factor de expansión 9,22 se obtienen los valores de la quinta línea en la tabla. Las proporciones de las superficies no arboladas no corresponden muy bien a las dadas por el inventario, pero como se comentó anteriormente no parecería lógico atribuir un factor de expansión mayor a las parcelas no forestales que a las forestales desarboladas. Deben tomarse las discrepancias como una indicación de la incertidumbre en las estimaciones preliminares presentadas en este artículo.

Como ya se mencionó, en el Tercer Inventario Nacional Forestal no se establecieron nuevas parcelas en puntos no muestreados por el IFN2, y además, de los 1675 puntos del IFN2, en el IFN3 sólo se reexaminaron 1.265 con parcelas de campo. Esto complica las estimaciones, obligando a introducir supuestos sobre la representatividad de las parcelas y correcciones a aplicar. La Tabla 2 muestra las parcelas según clase de uso anterior y fracción de cabida cubierta en el IFN3, incluyendo los números de parcelas no examinadas (no se dispone de información detallada de uso para el IFN3). No es posible determinar con seguridad el estado, arbolado o no, de los puntos sin parcelas de campo. Parece ser, sin embargo, que éstos correspondieron a puntos juzgados como no arbolados en base a la

Tabla 2
Cambios de uso en las parcelas (particulares entre paréntesis)

Uso IFN2	FCC ≥ 10 %	FCC < 10 %	No obs.	Total
Arbolado	(774) 1.117	(70) 99	(70) 116	(914) 1.332
Desarbolado	(6) 14	(9) 13	(55) 122	(70) 149
No forestal	(11) 16	(4) 6	(133) 172	(148) 194

fotointerpretación e información previa. Supondremos entonces que de los puntos no observados todos los previamente no arbolados continúan igual, mientras que unos 3 de los otros 116 tendrían en realidad una fracción de cabida cubierta superior al 10 %.

Suponemos además que las parcelas clasificadas como no arboladas en el IFN2 son representativas de la superficie no muestreada, aplicando el factor de expansión 9,22 calculado anteriormente. Esto toma en cuenta nuevas superficies arboladas en el área no cubierta por los inventarios. Con los valores de la columna de parcelas arboladas (FCC ≥ 10 %) en la Tabla 2 se obtienen entonces las estimaciones para 1998 dadas en la última fila de la Tabla 1: $1.117 + 3 + (14 + 16) \times 9,22 \approx 1.397$, y análogamente para la propiedad particular. Hemos ignorado posibles cambios en tipos de propiedad.

Conviene insistir en la incertidumbre de estas estimaciones, debida principalmente a la falta de información sobre las superficies no cubiertas en el muestreo. La elaboración del IFN3 incluye nueva cartografía y fotointerpretación que eventualmente debería facilitar estimaciones más precisas. El objetivo central aquí no es el anticipar los resultados finales del IFN3, sino que derivar y evaluar extrapolaciones utilizadas más adelante.

Composición por especies y estados de desarrollo

No resulta obvio el cómo clasificar con los datos disponibles montes tan heterogéneos como éstos de la manera más útil para fines de planificación. Interesa distinguir los montes «productivos» (en términos de producción leñosa), dominados por cada una de las principales especies: *Pinus pinaster* Ait, *Eucalyptus globulus* Labill, *Quercus robur* L, y *Pinus radiata* D. Don. Incluimos además la mezcla más frecuente e interesante, de *P. pinaster* con *E. globulus*. Entre los rodales suficientemente densos como para obtener una producción aceptable, conviene separar los rodales con cierto desarrollo, en producción activa y con un contenido de madera apreciable, aquellos juveniles cuyos árboles aún no han alcanzado dimensiones comerciables, y los terrenos en estado de regeneración.

Luego de seleccionar los puntos clasificados como pertenecientes a masas con distribución espacial uniforme (excluyendo individuos y bosquetes aislados), éstos se analizaron en base a las mediciones realizadas en las parcelas de campo. Las principales mediciones sobre los árboles corresponden a diámetros normales y alturas en los árboles con diámetros de 75 milímetros o más («pies mayores») contenidos en círculos concéntricos de 5, 10, 15 y 25 metros de radio, según clases de diámetro. Los árboles de entre 25 y 74 mm («pies menores») se contaron solamente, en el círculo de 5 m. Se registró también la presencia de regeneración (diámetros menores de 25 mm) en el círculo de 5 m con cuatro niveles de abundancia (ICONA, 1993). Hemos calculado el áreas basimétrica por hectárea

de pies mayores aplicando el factor de expansión correspondiente a cada diámetro, sin agrupar previamente por clases de diámetro como en el IFN.

Considerando los objetivos y las características del muestreo, definimos tres clases de desarrollo:

Regeneración. Parcelas que, sin cumplir con las condiciones de las clases siguientes, presentan niveles de regeneración 2 («normal») o 3 («abundante») según ICONA (1993) para al menos una especie. Es decir, 5 o más árboles con menos de 25 mm de diámetro por parcela, equivalente a 637 por hectárea.

Juvenil. Más de 600 pies por hectárea (total de menores y mayores sobre todas las especies presentes), sin entrar en la clase siguiente. Para pies menores el límite caería entre los 4 y los 5 pies por parcela (509 y 637 pies/ha respectivamente). Si se registra presencia de regeneración se acepta también 500 pies por hectárea, para no excluir parcelas en transición desde la clase anterior.

Cerrado. Área basimétrica total mayor de 6 m²/ha, con más de 150 pies mayores por hectárea. Este límite equivale a una parcela con 6 árboles de 10 cm de diámetro, o 764 por hectárea. Pueden considerarse como rodales que se acercan a una producción sostenida en volumen.

Los nombres asignados a estas categorías no deben tomarse literalmente, siendo sólo abreviaciones convenientes. Las condiciones exigidas podrían considerarse como mínimos para una productividad aceptable.

En la categoría «juvenil» se han designado como de una especie las parcelas en las que al menos el 80 % de los árboles pertenecen a esa especie, y en «cerrado», además el 80 % del área basimétrica. Similarmente, en la mezcla de pino y eucalipto se aplica el 80 % al total de ambas especies. Para «regeneración», se tomó una especie como dominante si era la única con nivel 2 ó 3 (o ambas en la mezcla).

Los resultados se presentan en la Tablas 3 y 4 y Figura 2. Para el IFN3 se utilizaron ambas parcelas de los pares A2C/A2E y A3C/A3E, dándole una ponderación de 0,5 a cada una de ellas. Luego se aplicó el factor de expansión 9,22 a los puntos no arbolados del IFN2, despreciando cualquier efecto de las parcelas no apeadas. Los valores calculados se han redondeado a enteros para su presentación, por lo que aparecen pequeñas discrepancias en los totales.

Estas cifras deben interpretarse con cautela, sobre todo en las clases con superficies pequeñas por su alto error de muestreo y el efecto del factor de expansión en el caso del IFN3. No obstante, se pueden hacer algunas observaciones interesantes. Estas superficies son una primera estimación de lo que podría considerarse como bosque productivo o comercial. Obviamente, los totales son menores que los de la Tabla 1. Las áreas de «regeneración» son relativamente imprecisas, por la forma en que han sido determinadas, y se ven afectadas por las características selvícolas y velocidad de crecimiento de cada especie, no siendo fácilmente comparables. Los datos de las otras categorías parecen confirmar, sin embargo, la percepción de un aumento en importancia del eucalipto en relación al pino pinaster. Igualmente, las cifras parecen apoyar la impresión de una creciente invasión de masas de pino pinaster por ejemplares de eucalipto, formando mezclas.

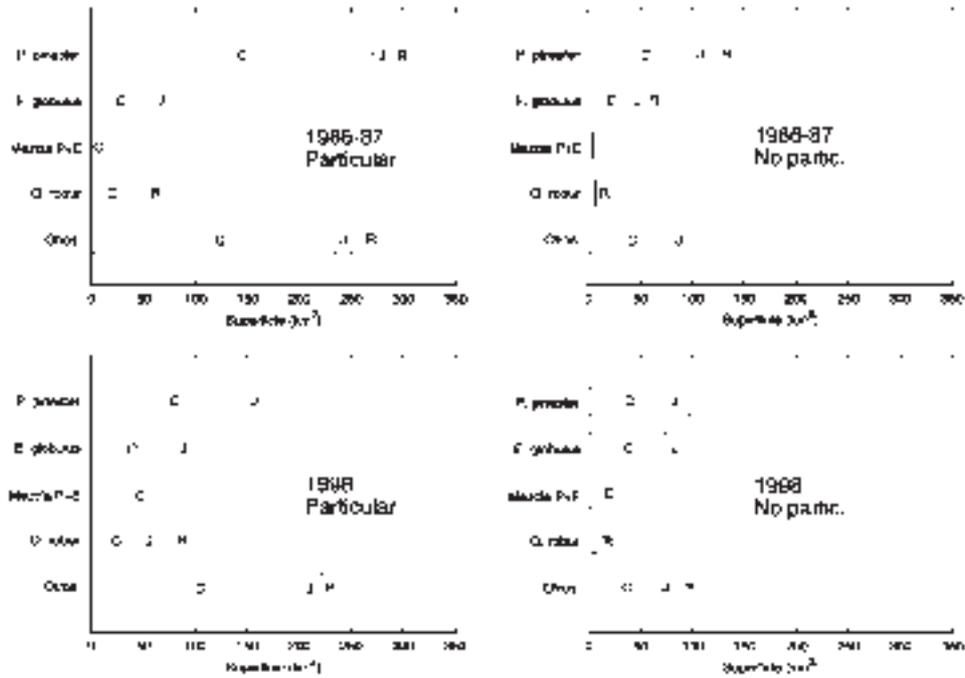


Fig. 2.—Superficies por especies y desarrollo. El *P. radiata* ha sido incluido en *Otros*.
R = regeneración, J = juvenil, C = cerrado.

Tabla 3

1986-87 (IFN2): Superficies por clase de desarrollo, especie dominante y propiedad, km²

	Regeneración			Juvenil			Cerrado			Total		
	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total
<i>P. pinaster</i>	21	35	56	17	14	31	270	100	370	308	149	457
<i>E. globulus</i>	7	12	19	18	15	33	57	40	97	82	67	149
Mezcla P+E	0	2	2	3	1	4	11	3	14	14	6	20
<i>Q. robur</i>	46	12	58	6	1	7	32	7	39	84	20	104
<i>P. radiata</i>	1	0	1	0	1	1	0	8	8	1	9	10
Otros	35	18	53	15	7	22	234	70	304	284	95	379
Total	110	79	189	59	39	98	604	228	832	773	346	1.119

Tabla 4
1998 (IFN3): Superficies por clase de desarrollo y especie dominante, km²

	Regeneración			Juvenil			Cerrado			Total		
	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total	Part.	Otros	Total
<i>P. pinaster</i>	6	8	14	10	15	24	153	76	228	168	98	266
<i>E. globulus</i>	4	2	6	24	21	46	76	72	148	105	96	201
Mezcla P+E	0	0	0	4	3	7	91	36	127	95	39	134
<i>Q. robur</i>	44	19	64	21	2	23	43	5	48	108	26	135
<i>P. radiata</i>	2	0	2	0	1	1	2	8	10	4	10	13
Otros	15	28	43	22	16	39	196	57	253	234	101	335
Total	72	57	129	81	58	140	560	254	815	713	370	1.083

Cambios

Estimación de probabilidades de transición

Se puede obtener información más precisa sobre la evolución del monte examinando los cambios en las parcelas individuales. Interesaría describir los cambios en cada categoría definida en la sección precedente, pero el número de parcelas en cada una de las combinaciones resulta demasiado pequeño para una estimación razonable. Por lo tanto, nos limitamos por ahora a la clasificación por especies dominantes, sin separar las clases de desarrollo.

Se tabuló el número de parcelas según especies dominantes en el IFN2 y IFN3, separadamente para propiedad particular y no particular y para las clasificadas como de uso forestal arbolado o no (Tablas 5 y 6). Las categorías son las definidas más arriba, excepto que por su escasa significación el *Pinus radiata* se ha incluido en «Otros». «No bosque» corresponde a terrenos desarbolados o a arbolados con densidad insuficiente, y la columna «No observado» contiene las parcelas no apeadas en el IFN3. La última fila, «No arbolado», son los puntos indicados en el IFN2 como de usos diferentes del forestal arbolado. Como antes, las parcelas tipo A3C y A3E recibieron ponderación 0,5, pero de los pares A2C/A2E se usó ahora sólo la parcela apeada en el lugar original, A2C.

Tabla 5
Número de transiciones, particular

IFN2\IFN3	<i>Pinaster</i>	<i>Globulus</i>	Mezcla	<i>Q. robur</i>	Otros	No bosque	No obs.
<i>Pinaster</i>	125	9,5	33,5	9	43,5	69,5	18
<i>Globulus</i>	0	49	5	2	6,5	11,5	8
Mezcla	0	7	3	0	0	3	1
<i>Q. robur</i>	3,5	1	2	33	19	19,5	6
Otros	14	22,5	38,5	11	121,5	60,5	17
No bosque	12,5	8	6,5	14	12,5	67,5	20
No arbolado	1	0,5	0	4	3	21,5	188

Tabla 6
Número de transiciones, no particular

IFN2\IFN3	<i>Pinaster</i>	<i>Globulus</i>	Mezcla	<i>Q. robur</i>	Otros	No bosque	No obs.
<i>Pinaster</i>	72	5	12	2	19	27	12
<i>Globulus</i>	0	48,5	0	0	3	8,5	7
Mezcla	0	2	3	0	1	0	0
<i>Q. robur</i>	1	1	0	5,5	5	3,5	4
Otros	6,5	11	17	6,5	38	12	13
No bosque	7,5	3	6	3	6	36,5	10
No arbolado	1	2,5	0	1	4	10,5	106

Para calcular las frecuencias relativas de cambios de una categoría a otra, combinamos primero las dos últimas columnas, despreciando la proporción de parcelas no apeadas que pudiesen haber correspondido a bosque comercial. Luego, multiplicamos la última fila por el factor de expansión 9,22, agregando los productos a la fila No bosque. Por último, dividiendo por el total de cada fila se obtienen las frecuencias relativas de transición de las Tablas 7 y 8. Éstas se pueden interpretar como la probabilidad de que un rodal pase de una categoría a otra en el período de tiempo transcurrido entre los dos inventarios.

Tabla 7
Probabilidades de transición, particular

De\A	<i>Pinaster</i>	<i>Globulus</i>	Mezcla	<i>Q. robur</i>	Otros	No bosque
<i>Pinaster</i>	0,4058	0,0308	0,1088	0,0292	0,1412	0,2841
<i>Globulus</i>	0,0000	0,5976	0,0610	0,0244	0,0793	0,2378
Mezcla	0,0000	0,5000	0,2143	0,0000	0,0000	0,2857
<i>Q. robur</i>	0,0417	0,0119	0,0238	0,3929	0,2262	0,3036
Otros	0,0491	0,0789	0,1351	0,0386	0,4263	0,2719
No bosque	0,0101	0,0059	0,0030	0,0237	0,0187	0,9387

Tabla 8
Probabilidades de transición, no particular

De\A	<i>Pinaster</i>	<i>Globulus</i>	Mezcla	<i>Q. robur</i>	Otros	No bosque
<i>Pinaster</i>	0,4832	0,0336	0,0805	0,0134	0,1275	0,2617
<i>Globulus</i>	0,0000	0,7239	0,0000	0,0000	0,0448	0,2313
Mezcla	0,0000	0,3333	0,5000	0,0000	0,1667	0,0000
<i>Q. robur</i>	0,0500	0,0500	0,0000	0,2750	0,2500	0,3750
Otros	0,0625	0,1058	0,1635	0,0625	0,3654	0,2404
No bosque	0,0137	0,0213	0,0049	0,0100	0,0350	0,9152

Algunas conclusiones pueden deducirse directamente de estas tablas. Por ejemplo, se observa la tendencia al aumento del eucalipto, y disminución del pino pinaster. Omitimos no obstante una discusión detallada.

Análisis y proyecciones

Períodos de 11 años

Las Tablas 7 y 8 pueden tomarse como matrices de probabilidades de transición o *matrices de Markov* P. Cada elemento p_{ij} de P es la probabilidad de que un área de tipo i pase a ser del tipo j en un periodo equivalente al tiempo transcurrido entre los dos inventarios, aproximadamente 11 años. En la práctica estas probabilidades podrían cambiar con el tiempo y con la magnitud de las superficies disponibles. Al suponerlas constantes, sin embargo, se obtienen proyecciones que son razonables para lapsos de tiempo no demasiado largos, y en todo caso útiles como elementos de referencia. En la planificación se intentaría estimar hasta qué punto se podría alterar las probabilidades a través de diversas políticas forestales, y de ahí calcular desviaciones posibles del escenario base.

Dada una distribución de superficies x, la distribución para el período siguiente se obtiene del producto matricial xP , y más en general, la distribución luego de n períodos es xP^n . Se sabe además que bajo ciertas condiciones existe una distribución estacionaria invariante o límite, a la que se tiende independientemente de la situación inicial. Se puede calcular resolviendo el sistema de ecuaciones $xP = x$, o con el vector característico con raíz característica asociada 1 (Bhat, 1972; Grossman, 1992; Bellman, 1965, por ejemplo). Obviamente, la distribución límite no se alcanzará exactamente en la práctica, pero puede ser un punto de referencia interesante. Partiendo de las superficies estimadas del IFN2, consideradas como la situación a comienzos de 1987, se obtienen las proyecciones en la Tabla 9.

Se confirma la sustitución del pino por eucalipto, mientras que la superficie de roble es relativamente estable. Se observa también una tendencia a disminuir del área total de bosques comerciales de propiedad particular, con un incremento en los no particulares. La superficie total no cambia sustancialmente. Todo esto, claro está, de mantenerse las condiciones y características estructurales del período 1987-1998.

Cálculos anuales

Puede ser interesante el disponer de probabilidades de transición y proyecciones anuales, en lugar de estar limitado a períodos múltiplos de 11 años. La aplicación de la matriz P correspondiente a un período de 11 años debería ser equivalente a aplicar 11 veces una matriz Q de probabilidades anuales, es decir, $P = Q^{11}$.

En teoría, Q podría calcularse de la factorización $P = T\Lambda T^{-1}$, donde Λ es la matriz diagonal de raíces características y T es la correspondiente matriz de vectores característicos (suponiendo raíces características distintas, de otro modo hay que utilizar la algo más complicada forma canónica de Jordan). Se tiene $Q = T\Lambda^{1/11}T^{-1}$ (Bellman, 1965). Sin embargo, al intentar esto con nuestras matrices P de las Tablas 7 y 8 se encuentra que Q contiene algunos elementos negativos. Al estar la P estimada sujeta a error, no es necesariamente igual a un producto de matrices de Markov. Hemos buscado entonces por un método más directo matrices de Markov Q tales que Q^{11} se aproxima a las P obtenidas anteriormente.

Tabla 9
Proyecciones de superficie (km² o cientos de ha)

	Particular				No partic.				Total						
	1987	1998	2009	2020	∞	1987	1998	2009	2020	∞	1987	1998	2009	2020	∞
<i>P. pinaster</i>	308	164	105	80	61	149	96	71	59	46	457	260	176	139	107
<i>E. globulus</i>	82	102	143	160	148	67	94	122	146	205	149	195	265	306	353
Mezcla P+E	14	89	83	74	60	6	38	50	55	55	20	127	134	129	114
<i>Q. robur</i>	84	106	111	112	112	20	26	27	27	26	104	132	138	139	138
Otros	285	231	195	177	157	104	109	111	112	111	389	340	307	289	268
No bosque	2.151	2.233	2.287	2.321	2.386	1.225	1.208	1.188	1.172	1.129	3.376	3.441	3.476	3.493	3.515

Se utilizó optimización numérica para minimizar la diferencia máxima absoluta entre los valores de las Tablas 5 y 6, y los calculados con Q^{11} . Para asegurar que los elementos de Q fueran no negativos y que las filas sumasen 1, se tomaron como variables en la optimización las cantidades $\sqrt{q_{ij}}$ para $i \neq j$, haciendo $q_{ii} = 1 - \sum_j q_{ij}$. Con 30 variables independientes y un algoritmo simple y robusto pero relativamente ineficiente (Hooke & Jeeves), no se obtuvo convergencia total a mínimos globales garantidos, pero sí aproximaciones aceptables: una diferencia máxima de 2,7 km² para propiedad particular y de 0,9 para no particular, bien dentro del error de muestreo de los inventarios. Las matrices de transición Q así obtenidas son:

$$\begin{pmatrix} 9,1892 \cdot 10^{-1} & 2,9171 \cdot 10^{-7} & 1,9484 \cdot 10^{-2} & 2,1527 \cdot 10^{-3} & 2,9573 \cdot 10^{-2} & 2,9865 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 9,5715 \cdot 10^{-1} & 4,8094 \cdot 10^{-3} & 1,4896 \cdot 10^{-3} & 1,2304 \cdot 10^{-2} & 2,4243 \cdot 10^{-2} \\ 0 & 5,3060 \cdot 10^{-2} & 9,1369 \cdot 10^{-1} & 2,5558 \cdot 10^{-3} & 0 & 3,0699 \cdot 10^{-2} \\ 1,1930 \cdot 10^{-2} & 0 & 0 & 9,1517 \cdot 10^{-1} & 4,1604 \cdot 10^{-2} & 3,1297 \cdot 10^{-2} \\ 1,0741 \cdot 10^{-2} & 5,9879 \cdot 10^{-3} & 2,6835 \cdot 10^{-2} & 6,5400 \cdot 10^{-3} & 9,1892 \cdot 10^{-1} & 3,0975 \cdot 10^{-2} \\ 1,2797 \cdot 10^{-3} & 5,3177 \cdot 10^{-4} & 0 & 3,2644 \cdot 10^{-3} & 1,7500 \cdot 10^{-3} & 9,9317 \cdot 10^{-1} \end{pmatrix}$$

(particular) y

$$\begin{pmatrix} 9,3354 \cdot 10^{-1} & 6,3699 \cdot 10^{-4} & 9,5078 \cdot 10^{-3} & 3,2331 \cdot 10^{-7} & 2,6317 \cdot 10^{-2} & 2,9998 \cdot 10^{-2} \\ 1,5213 \cdot 10^{-3} & 9,7026 \cdot 10^{-1} & 0 & 1,0809 \cdot 10^{-3} & 4,1946 \cdot 10^{-3} & 2,2945 \cdot 10^{-2} \\ 2,6676 \cdot 10^{-8} & 4,3881 \cdot 10^{-2} & 9,4573 \cdot 10^{-1} & 7,9298 \cdot 10^{-3} & 1,5003 \cdot 10^{-8} & 2,4630 \cdot 10^{-3} \\ 0 & 4,8267 \cdot 10^{-4} & 2,6132 \cdot 10^{-6} & 8,8596 \cdot 10^{-1} & 6,2184 \cdot 10^{-2} & 5,1373 \cdot 10^{-2} \\ 1,2229 \cdot 10^{-2} & 1,0326 \cdot 10^{-2} & 2,9039 \cdot 10^{-2} & 1,5863 \cdot 10^{-2} & 9,0432 \cdot 10^{-1} & 2,8224 \cdot 10^{-2} \\ 1,4317 \cdot 10^{-3} & 2,1140 \cdot 10^{-3} & 1,6410 \cdot 10^{-8} & 1,1433 \cdot 10^{-3} & 4,5588 \cdot 10^{-3} & 9,9075 \cdot 10^{-1} \end{pmatrix}$$

(no particular).

Con estas matrices, partiendo de las superficies estimadas para el IFN2, se obtuvieron las proyecciones de las Figuras 3, 4 y 5. Se indican con círculos abiertos los valores «observados», y con círculos cerrados al extremo derecho los límites calculados con Q . Las discrepancias con la Tabla 9 son pequeñas.

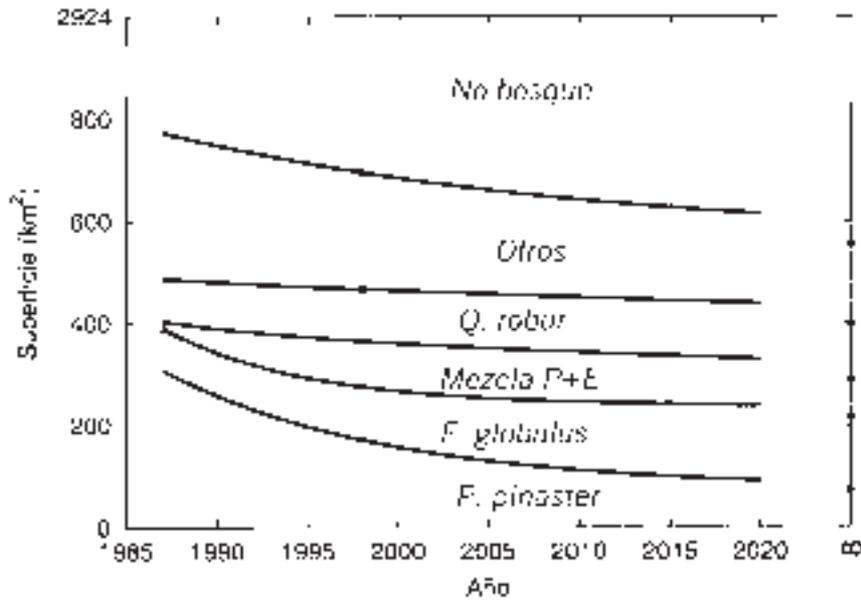


Fig. 3.-Distribución de especies proyectada con la matriz de transición anual. Particular

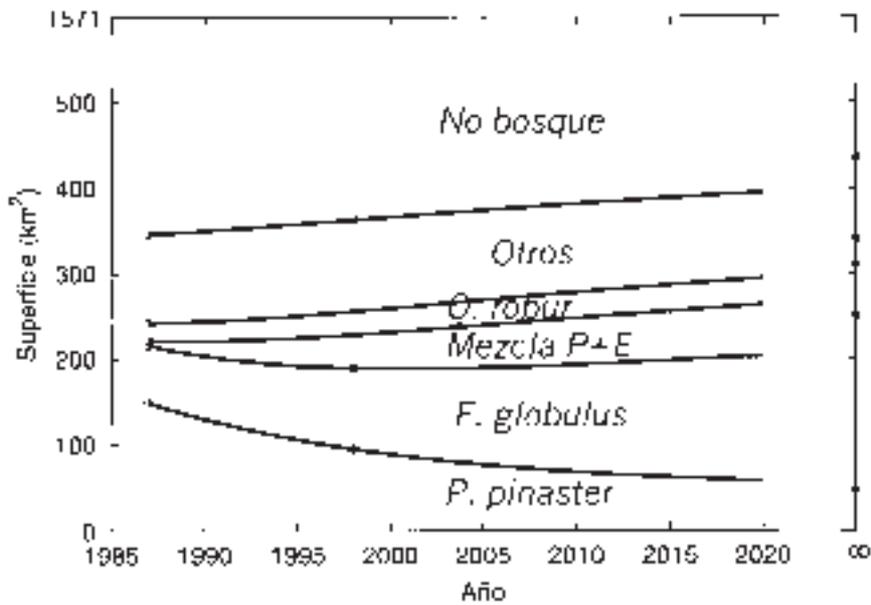


Fig. 4.-Distribución de especies proyectada con la matriz de transición anual. No particular

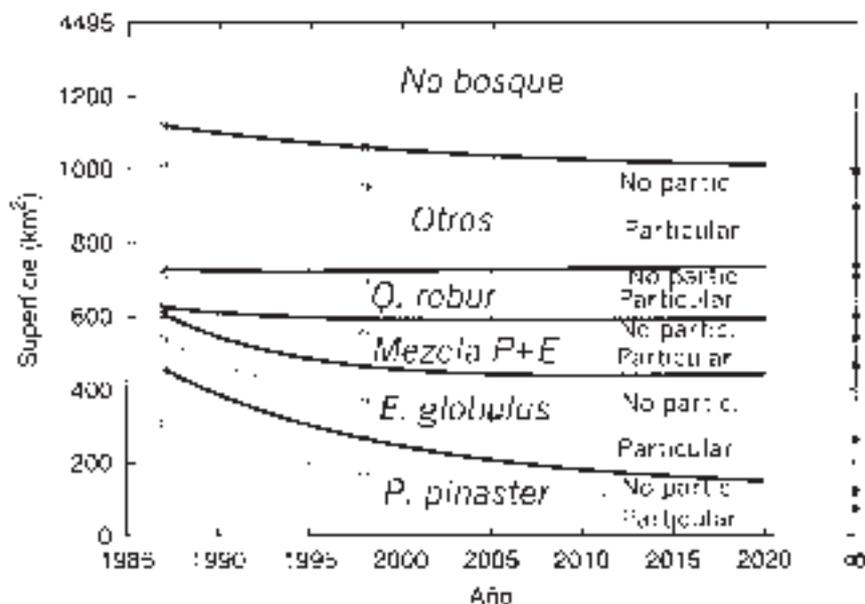


Fig. 5.—Distribución de especies proyectada con la matriz de transición anual. Totales

Edades y producción

Edad

El conocer la distribución de superficies por clases de edad es fundamental para cualquier estudio más detallado de la dinámica del sector, proyecciones de desarrollo, y planificación forestal en general (Nabuurs y Päivinen, 1996; García, 1972, 1986, 1990). Lamentablemente, en el Inventario Forestal Nacional sólo se ha recogido información de edades para un número muy reducido de parcelas. Es necesario, por lo tanto, intentar una estimación indirecta de las edades a través de otras variables disponibles.

Potencialmente la variable más útil para esto es la altura, que aunque varía con la calidad de estación es relativamente insensible a las diferencias de rodal. En las figuras 6 y 7 se muestran todos los pares altura-edad con que se cuenta para los tipos *P. pinaster* y *E. globulus*, respectivamente, en el IFN2 e IFN3. Se utilizó la altura media para la especie correspondiente de los árboles menores en las parcelas juvenil, y de los mayores en las cerrado. Se indica también la altitud de cada parcela (0 = 0-99 m, 1 = 100-199 m, 2 = 200-299 m, etc.).

Como era de esperar, se observa en los gráficos una gran dispersión, debida en parte a inexactitudes en las edades y/o alturas, pero principalmente a las diferencias en calidad de estación. Entre las variables fisiográficas, edáficas y climáticas, se ha encontrado que la altitud es la que mejor predice la calidad de estación, siendo además una de las más convenientes y fáciles de utilizar en la práctica (Bará y Toval, 1983). Esto se debe a la alta

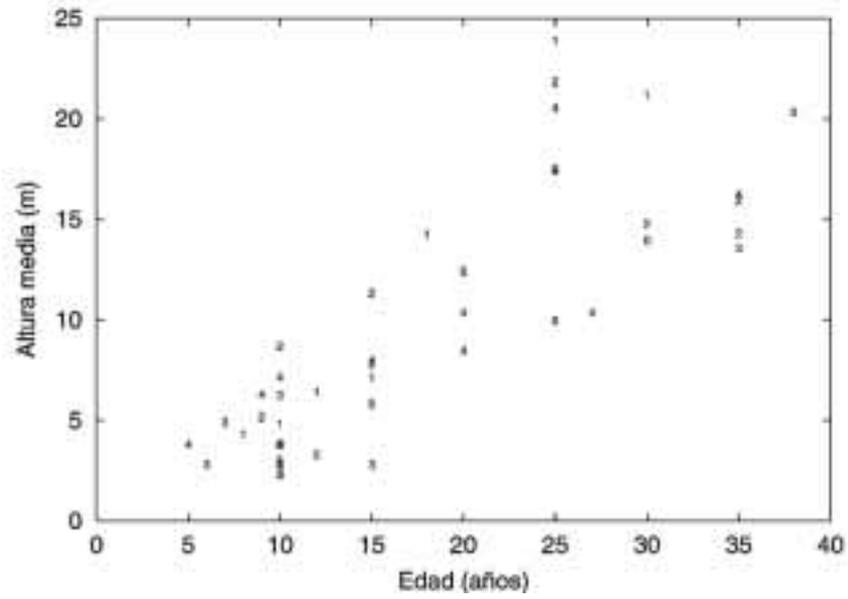


Fig. 6.—Datos altura-edad de *Pinus pinaster* en el IFN2 e IFN3.
Altitudes: 0 = 0-99 m, 1 = 100-199 m, etc.

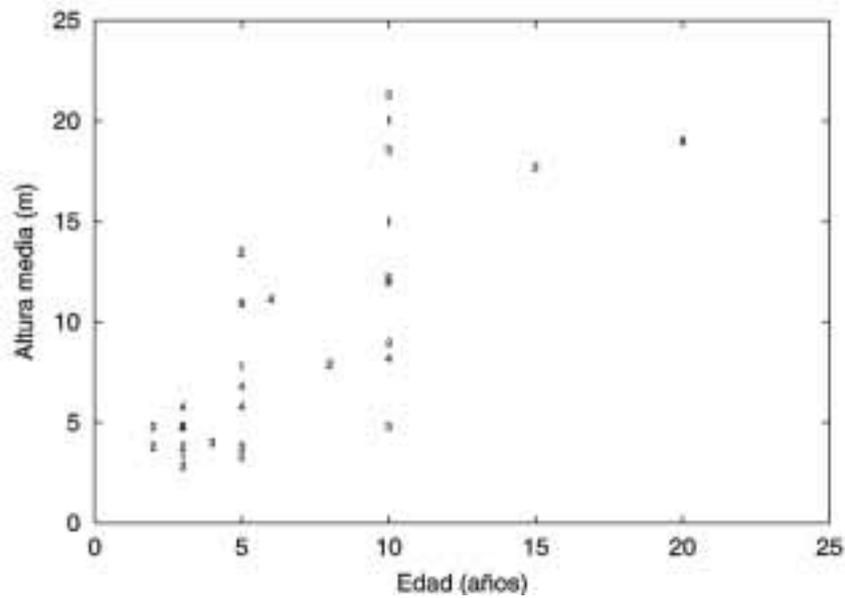


Fig. 7.—Datos altura-edad de *Eucalyptus globulus* en el IFN2 e IFN3.
Altitudes: 0 = 0-99 m, 1 = 100-199 m, etc.

correlación que otros factores, como las características del suelo, temperatura y precipitación, presentan con la altitud (Bará y Toval, 1983; Toval y Vega, 1982). Aun así, la altitud explica sólo un pequeño porcentaje de la variación, y la esperada disminución de la calidad de estación con la altitud no es evidente en estas figuras.

En necesario, sin embargo, conseguir estimaciones de edad, por imprecisas que estas sean. De hecho, para fines de predicción, la edad aparente puede ser aún más útil que la real. Los datos aquí expuestos son insuficientes en sí solos, y deberán complementarse con modelos de crecimiento en altura y calidad de estación. Para *P. pinaster* se cuenta con curvas de calidad de estación (altura dominante vs. edad para diversas calidades) en Bará y Toval (1983) y Rodríguez (1995), aunque sin relaciones calidad-altitud adecuadas. Un nuevo estudio, en vías de completarse, incluirá curvas basadas en un conjunto de datos más extenso y relaciones calidad-altitud (O. García y P. Vila, en preparación). Para eucalipto en Galicia existe un modelo desarrollado en 1998 por la Empresa Nacional de Celulosas (ENCE), aún por publicarse (O. García y F. Ruiz, en arbitraje). No incluye la variable altitud. Es necesario relacionar también las alturas media y dominante.

Producción

Otro elemento necesario es la estimación de la producción en volumen en función de la edad. Existen algunas tablas de producción y modelos de crecimiento que pueden servir de referencia (Rojo y Montero, 1994; Madrigal *et al.*, 1999). La mayoría de éstos, sin embargo, se basan en parcelas experimentales con cuidados selvícolas mucho más intensivos que lo que es usual en Galicia, por lo que deben de interpretarse con cautela. Requieren además información sobre calidad de estación, densidad de rodal y claras.

Las figuras 8 y 9 muestran las producciones observadas en el IFN2 para los tipos *P. pinaster* y *E. globulus*, respectivamente. El volumen total por hectárea se graficó sobre la altura media de los árboles mayores, para las parcelas clasificadas como bosque *cerrado*. De acuerdo con la llamada *ley de Eichorn* esto debería reducir el efecto de las diferencias en calidad de estación. Hay aún una dispersión muy amplia, que dificulta el definir producciones «típicas» o «medias». Gran parte de ésta puede atribuirse a diferencias de densidad de los rodales, en particular a la presencia de claras y cortas de entresaca en el caso del *P. pinaster*. Hay también un componente importante de error de muestreo y medición, el que es aparente al comparar con los datos del estudio de ENCE ya mencionado (obtenidos de inventarios representativos de montes en producción y no parcelas experimentales). De todos modos, para obtener estimaciones satisfactorias de las producciones reales se deberá combinar diversas fuentes de información, y probablemente utilizar algún tipo de estratificación adicional a la calidad de estación. Es importante también el potencial para superar las producciones actuales. Rodríguez (1995) señala que las masas gallegas de pino pinaster son «... de estructura frecuentemente semirregular en pinares de gestión privada, con ausencia casi total de cuidados culturales debido a una situación de semiabandono, con cortas antiselvícolas, asoladas por frecuentes incendios forestales y con existencias por hectárea reducidas» y que «... la producción de madera puede incrementarse hasta casi un 100 % mediante el tratamiento en monte alto regular con adecuadas fracciones de cabida cubierta». Algo parecido podría decirse del eucalipto.

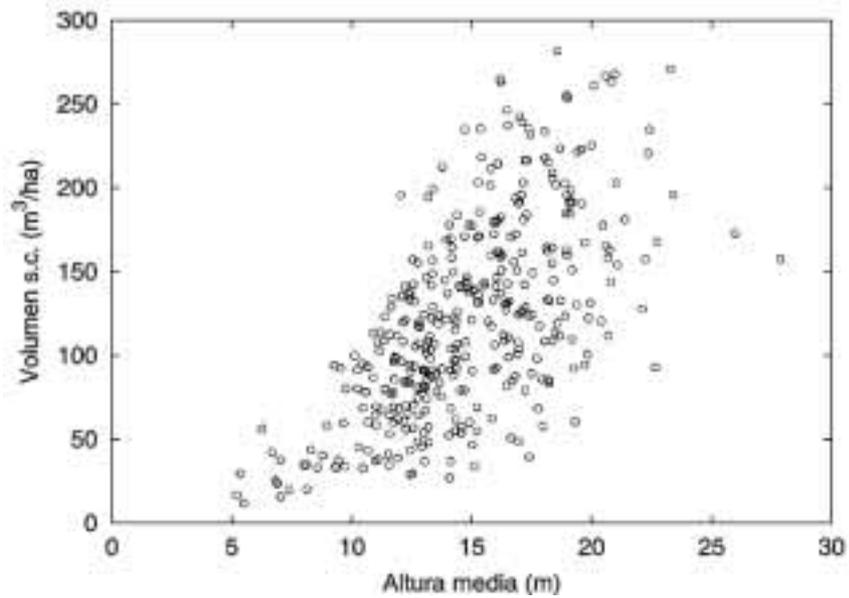


Fig. 8.—Volumen sin corteza del *Pinus pinaster* en el IFN2

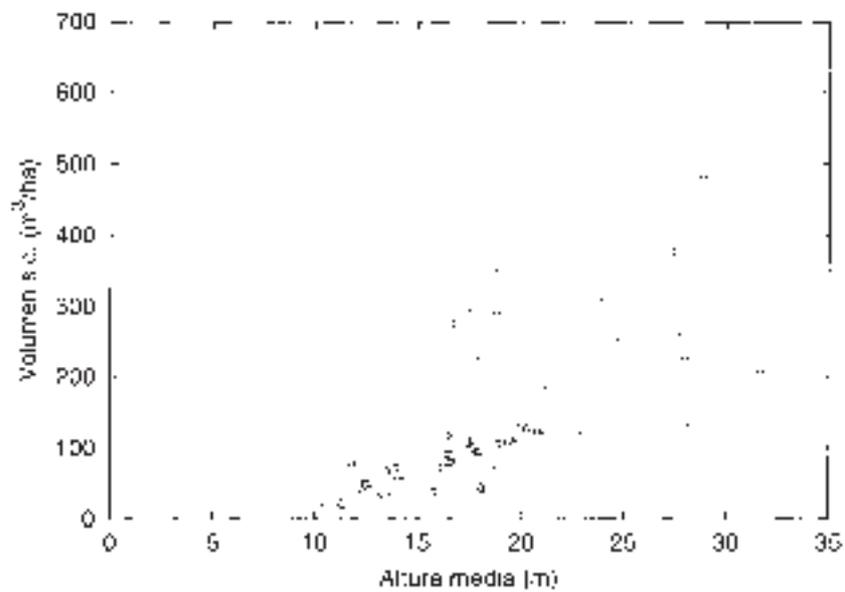


Fig. 9.—Volumen sin corteza del *Eucalyptus globulus* en el IFN2

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha explorado el potencial y limitaciones de la información contenida en las parcelas de campo del Inventario Forestal Nacional para satisfacer necesidades de la planificación y política forestal en Galicia. Hay una masa considerable de datos recolectados con gran detalle, esfuerzo y dedicación que han sido hasta ahora subutilizados, pero también incertidumbres importantes debidas a falta de cobertura estadística, principalmente en el Tercer Inventario.

Se han estimado superficies por especies dominantes y fases de desarrollo, de acuerdo a una tipificación basada en el potencial productivo. Éstas son más significativas en relación a la gestión que las estadísticas comúnmente publicadas. Las superficies, más precisas pero para estratos más pobremente definidos, que se obtienen del tratamiento cartográfico y sistemas de información geográfica usuales en los inventarios nacionales, son complementarias a la caracterización más detallada de los rodales que puede obtenerse directamente de las parcelas de campo.

Yendo más allá del tratamiento puramente estático de los inventarios, que proporciona superficies y existencias puntuales, se ha hecho un primer intento de representación de la dinámica de los montes, es decir, de su evolución en el tiempo. Un modelo probabilístico simple entrega predicciones plausibles, aunque algo burdas, de los cambios en la composición del monte bajo un escenario de continuidad en las fuerzas económicas y sociales que condicionan el sector. Modelos de este tipo pueden ser útiles en el análisis de políticas forestales, donde sólo es factible influenciar indirectamente la propensidad de los rodales a cambiar de un estado a otro. Claramente, este es sólo un comienzo, y queda mucho por hacer en este campo.

Modelos dinámicos más elaborados requieren de una estimación de superficies por clase de edad, variable de la que lamentablemente no se dispone en estos inventarios nacionales. Se necesitan además proyecciones de producción por hectárea para los diversos tipos forestales. Hemos apuntado someramente a métodos para conseguir aproximaciones indirectas de estas cantidades.

Con o sin edades, modelos probabilísticos similares a los aquí descritos son apropiados para representar el comportamiento global del conjunto de propiedades particulares gestionadas en forma individual (Suzuki, 1984; Amano *et al.*, 1984). Donde puede ejercerse un poder más directo de decisión, sin embargo, las técnicas de simulación u optimización con estructuración por edades son más adecuadas (García, 1986; Nabuurs y Päivinen, 1996). En este último caso los inventarios y planes de gestión a nivel local deben jugar un papel importante.

AGRADECIMIENTOS

A José Antonio Villanueva, ICONA, por su siempre pronta y paciente respuesta a mis numerosas preguntas sobre el Inventario Forestal Nacional. A José Luis Aboal y Juan Casares Long, Xunta de Galicia, por su interés y apoyo.

SUMMARY

An approximation to the dynamics of the Galician forests. Stocks and evolution of forest types in Pontevedra province

Some tools for studying the future of the forestry sector in Galicia, Spain, are presented. Sample plots from successive national forest inventories are first used to estimate historic trends and the current condition of the

forests. Then, this information is used to develop a Markov matrix model that can project future areas by forest type. Finally, we examine approaches for estimating age distributions and timber yields, necessary for the application of more detailed planning models.

KEY WORDS: Galicia
Planning
Markov matrices
Scenario models
Yield
Land use
Forest resources

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMANO M., NODA I., KUMAZAKI M., 1984. Timber supply projection model for private forests in Japan. En: Nagumo, H. *et al.*, ed., Proceedings IUFRO Symposium on Forest Management Planning and Managerial Economics. University of Tokyo.
- BARÁ TEMES S., TOVAL HERNÁNDEZ G., 1983. Calidad de estación del *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Comunicaciones INIA - Serie Recursos Naturales 24, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- BELLMAN R., 1965. Introducción al Análisis Matricial. Editorial Reverté, S. A.
- BHAT U. N., 1972. Elements of Applied Stochastic Processes. Wiley.
- DEL ÁLAMO J.C., 1992. Política forestal en Galicia. En: Economía Política Forestal. Xunta de Galicia.
- EFI, 1999. European forest resource analyses with the EFISCEN model. URL: <http://www.efi.fi/projects/forsce/>.
- GARCÍA O., 1972. Perspectivas del abastecimiento de pino insigne a la industria en la Región del Bío-Bío. Reunión de Expertos en Papel y Celulosa, Santiago de Chile. (Mimeo.).
- GARCÍA O., 1986. Forest estate modelling (Part 2). En: LEVAK, H., ed., 1986 Forestry Handbook. New Zealand Institute of Foresters (Inc.), Wellington.
- GARCÍA O., 1990. Linear Programming and related approaches in forest planning. New Zealand Journal of Forestry Science, 20, 307-331.
- GROSSMAN S.I., 1992. Aplicaciones de Algebra Lineal. McGraw-Hill.
- ICONA, 1972. Inventario Forestal Nacional, Pontevedra. Cuaderno Provincial 36, Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional Para la Conservación de la Naturaleza.
- ICONA, 1993. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995, Galicia, Pontevedra. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional Para la Conservación de la Naturaleza.
- MADRIGAL C.A., ÁLVAREZ G.J.G., ROJO A.A., RODRÍGUEZ S.R., 1999. Tablas de producción para los montes españoles. (En prensa).
- NABUURS G.-J., PÁIVINEN R., 1996. Large scale forestry scenario models - A compilation and review. Working Paper 10, European Forest Institute.
- RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 1995. Crecimiento y Producción de Masas Forestales Regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Alternativas Selvícolas Posibles. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- ROJO A., MONTERO G., 1994. Tablas de producción españolas. Montes, 38, 35-42.
- SUZUKI T., 1984. The gentan model. En: Nagumo, H. *et al.*, ed., Proceedings IUFRO Symposium on Forest Management Planning and Managerial Economics. University of Tokyo.
- TOVAL G., VEGA G., 1982. Metodología para la cuantificación y clasificación del clima. Primera aproximación de su aplicación en Galicia (España). En: Reunión Técnica Internacional INIA/IUFRO. Lourizán, 4-8 octubre 1982.
- VANCLAY J.K., 1998. FLORES: For exploring land use options in forested landscapes. Agroforestry Forum, 9 (1), 47-52.
- XUNTA DE GALICIA, 1992. Plan Forestal de Galicia - Síntesis. Consellería de Agricultura, Ganadería e Montes, Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural.