

# ALGUNOS ASPECTOS ECOLÓGICOS A CONSIDERAR EN LA ORDENACIÓN DE REPOBLACIONES ARTIFICIALES

Manuel López Arias

Área de Conservación del Medio Natural. CIT-INIA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.  
Apdo. 8111. 28080 MADRID

## 1. INTRODUCCIÓN

Avances recientes, y en curso, de orden científico y tecnológico harán posible en un futuro inmediato cambios revolucionarios en la planificación y ejecución de la gestión de los recursos naturales; cambios que afectarán a la ordenación de la producción de los sistemas forestales. Entre estos avances hay que destacar al menos los tres siguientes:

- El progreso continuo en el conocimiento científico de los procesos funcionales y evolutivos de los ecosistemas terrestres y de sus modificaciones como respuesta a la intervención del hombre.
- La creciente potencia de análisis, y de proceso de datos e información, de los modernos equipos informáticos y su accesibilidad económica.
- El perfeccionamiento y uso generalizado de los sistemas de referencia y posicionamiento geográfico (GPS, GIS).

La aplicación de este potencial de conocimiento y tecnologías a la ordenación forestal requiere un esfuerzo coordinado de los estamentos docente, investigador y gestor, que queremos animar desde estas líneas. La fase experimental está ya en marcha.

Los aspectos y principios ecológicos que han de informar y orientar los nuevos siste-

mas de planificación y ejecución de la ordenación forestal y su ritmo de incorporación, dependerán de la aceptación y difusión que alcancen las conclusiones del estudio funcional; y de la capacidad de los referidos estamentos de investigación, enseñanza y gestión para desarrollar métodos de aplicación.

Aquí hacemos sólo dos consideraciones de carácter general y unas pocas sugerencias concretas; basadas, estas últimas, en el efecto de las cortas *a hecho* y de las claras y aclareos sobre la dinámica del agua y de los nutrientes así como sobre la composición específica y sobre la estructura de la vegetación; referidas a las posibles estrategias de tratamiento de las repoblaciones artificiales.

Las consideraciones de carácter general y profundo significado ecológico se concretan en:

*La propuesta de incorporación*, sin reservas, del concepto de ecosistema como paradigma y modelo de análisis de la dinámica de los sistemas forestales, de su relación con el medio y de su respuesta a las intervenciones derivadas de la gestión y aprovechamiento; incorporación que incluye la terminología consagrada en este campo.

*La propuesta de profundizar* en la elaboración de **modelos de crecimiento**, utilizando el enfoque de la Teoría de Sistemas Dinámicos; modelos capaces de simular la

evolución de las variables de estado que describen dichos sistemas, partiendo de valores iniciales, de parámetros de estructura de la masa, de características de la estación y de los modelos de intervención selvícolas aplicados.

## 2. LA ORDENACIÓN DE LAS REPOBLACIONES ARTIFICIALES

A partir de la implantación de los repoblados, se pone en marcha un proceso de reorganización e integración de las comunidades bióticas preexistentes e instaladas. Proceso que desemboca a los pocos años en una fase de expansión o producción caracterizada por la acumulación de biomasa viva.

Es en esta fase en la que se procede a aplicar cuidados y tratamientos selvícolas que responden a un plan de ordenación determinante del esquema o carácter de la etapa final del sistema creado.

Simplificando drásticamente podemos considerar tres objetivos o metas y sus correspondientes estrategias:

1ª) Conducir la repoblación como un sistema homogéneo hasta desembocar en su aprovechamiento final mediante corta *a hecho*, a la edad de madurez (T). La restauración de la cubierta arbórea, en caso de llevarse a cabo, se hace nuevamente mediante repoblación artificial.

2ª) Conducir la repoblación de forma análoga a la anterior, pero dirigiendo su organización y estructura hacia el establecimiento de un sistema forestal persistente, capaz de autorregenerarse como tal. La masa resultante es semirregular con tantas clases de edad como veces contiene el turno (T) al período de regeneración (R).

3ª) Convertir, a tan largo plazo como sea necesario, el repoblado (inicialmente monoespecífico o no) en sistema forestal mixto, persistente y con capacidad de autoregeneración. Los instrumentos de gestión son fundamentalmente las cortas de aclareo o entresaca y circunstancialmente la siembra o plantación intercalar.

## 3. EL ECOSISTEMA COMO MODELO

Se considera necesaria y fecunda la identificación del sistema forestal, creado o de origen natural, con un ecosistema-modelo, de acuerdo con la propuesta contenida en los trabajos de BORMANN y LIKENS y con posteriores y recientes aportaciones.

Según este esquema, el repoblado en su evolución será una porción delimitada de los ciclos biogeoquímicos terrestres y se puede descomponer a su vez en subsistemas de la misma naturaleza. Cada uno de estos subsistemas constituye un *sistema abierto* en tanto que recibe energía del sol y materiales y energía de los ciclos biogeoquímicos. Procesa los materiales y descarga sus salidas en los ciclos biogeoquímicos mayores. La actividad interna está controlada principalmente por las entradas y por la intervención consciente o inconsciente del hombre, el cual modifica estas entradas e influye en su estructura y funcionamiento, a través de manipulaciones internas; influye también en las salidas. Estas entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*) se incorporan a los ciclos biogeoquímicos más amplios y afectan a ecosistemas interrelacionados, de modo que las entradas de un sistema son salidas de otro y pueden contemplarse como eslabones de transmisión de los efectos de la actividad natural y humana entre los ecosistemas.

El concepto de ecosistema proporciona un enfoque que permite representar a cada sistema forestal, o parte de él, mediante un conjunto de **componentes y de procesos**. Cada sistema forestal constituye una unidad procesadora de energía, que es utilizada para elaborar biomasa incorporando los elementos minerales que la constituyen; elementos que son extraídos del medio y devueltos al mismo.

El flujo de energía sostiene los macroprocesos de **creación, acumulación y desacumulación de materia orgánica**.

En la figura 1 aparece una compartimentación muy agregada en tres grandes subsistemas: **autótrofos, materia orgánica del suelo y heterótrofos**.

Permite representar los flujos de energía y los procesos básicos de **Asimilación foto-**

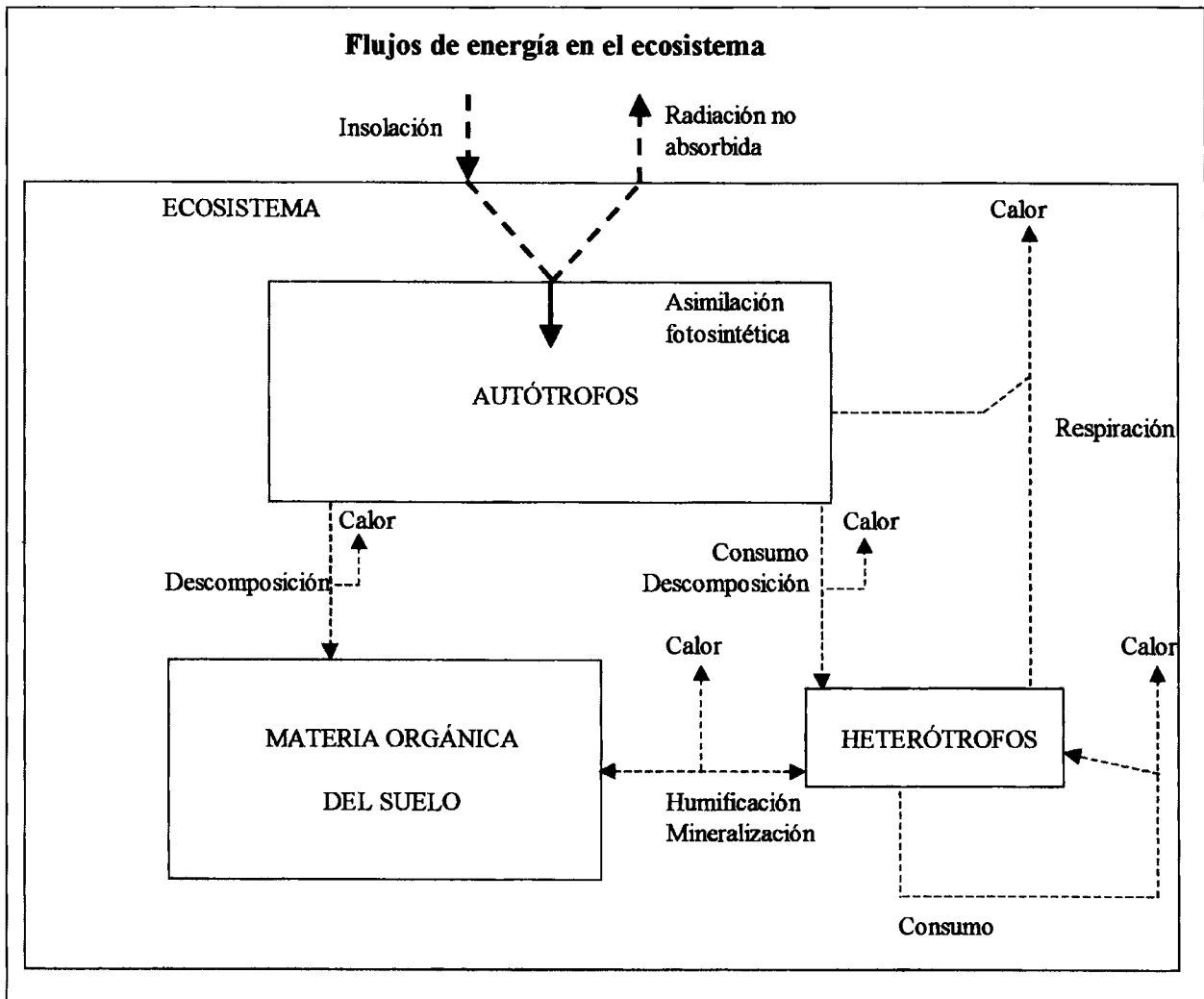


Figura 1a. Compartimentos y flujos

**Asimilación fotosintética, Respiración, Consumo y Descomposición, Humificación y Mineralización.**

El compartimento de **autótrofos** comprende:

- BA - **Biomasa asimiladora**  
Conjunto de la biomasa foliar
- BNA - **Biomasa no asimiladora**  
Con una parte aérea formada por troncos, ramas y otras partes no verdes; y otra subterránea de raíces, etc.
- NV - **Necromasa vegetal**  
O materia vegetal muerta aún no transformada que se distribuye en

dos compartimentos aéreos:

- Mantillo u hojarasca y
- Necromasa en pie y un compartimento subterráneo

El esquema pone de manifiesto la complejidad de interacciones y procesos de transferencia entre los compartimentos existentes.

Funcionalmente se parte de una fuente inagotable de energía (solar incidente) de la que se capta por fotosíntesis apenas un 3%. Casi la mitad de la energía fijada se consume en la respiración y demás funciones de la planta, y el resto, denominada producción primaria neta (PN1), queda acumulada en los tejidos.

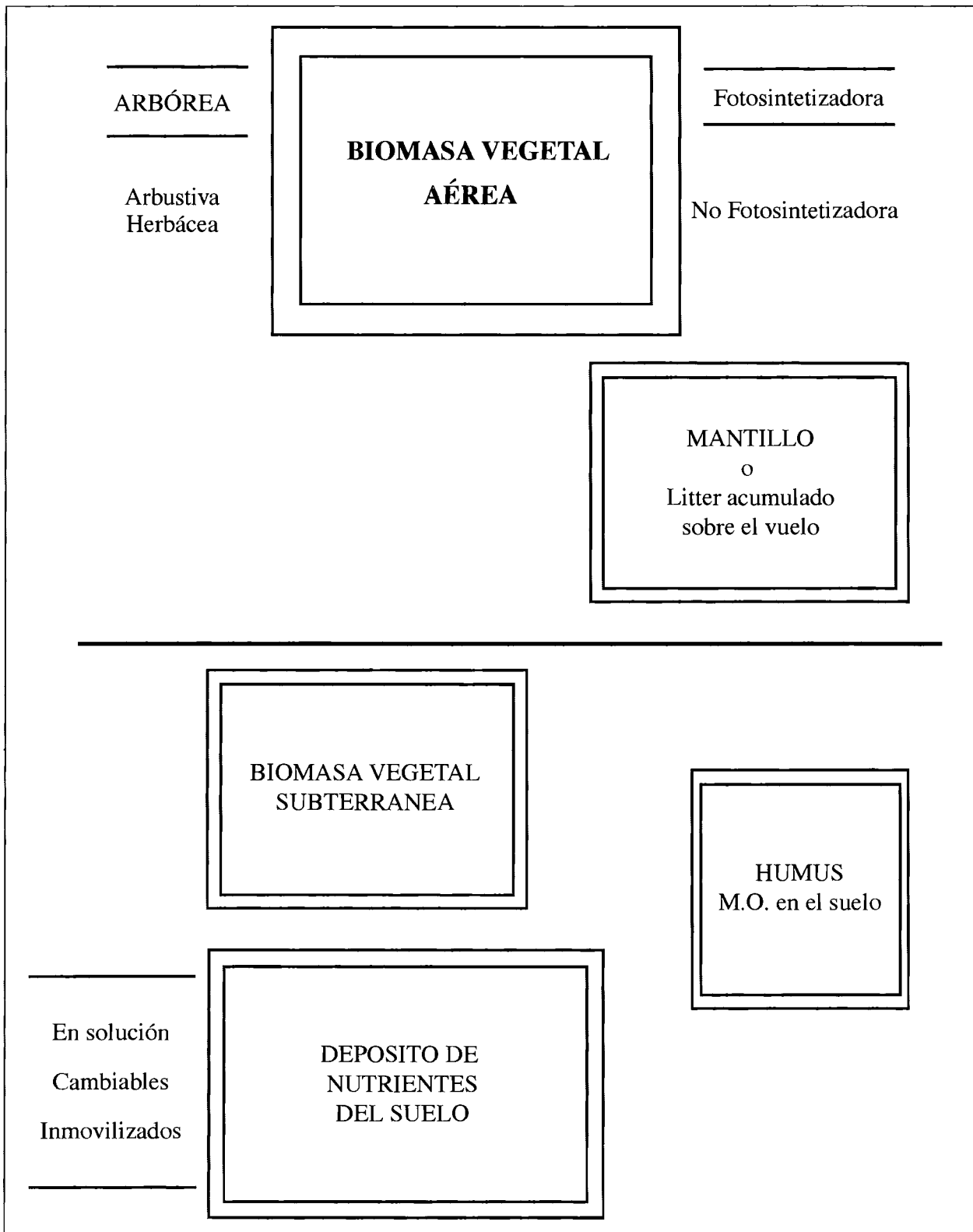


Figura 1b. Compartimentos principales

En la fase que se denomina de producción, acumulación o expansión, al menos la mitad

de la PN1 se acumula en órganos permanentes constituyendo el crecimiento o incremen-

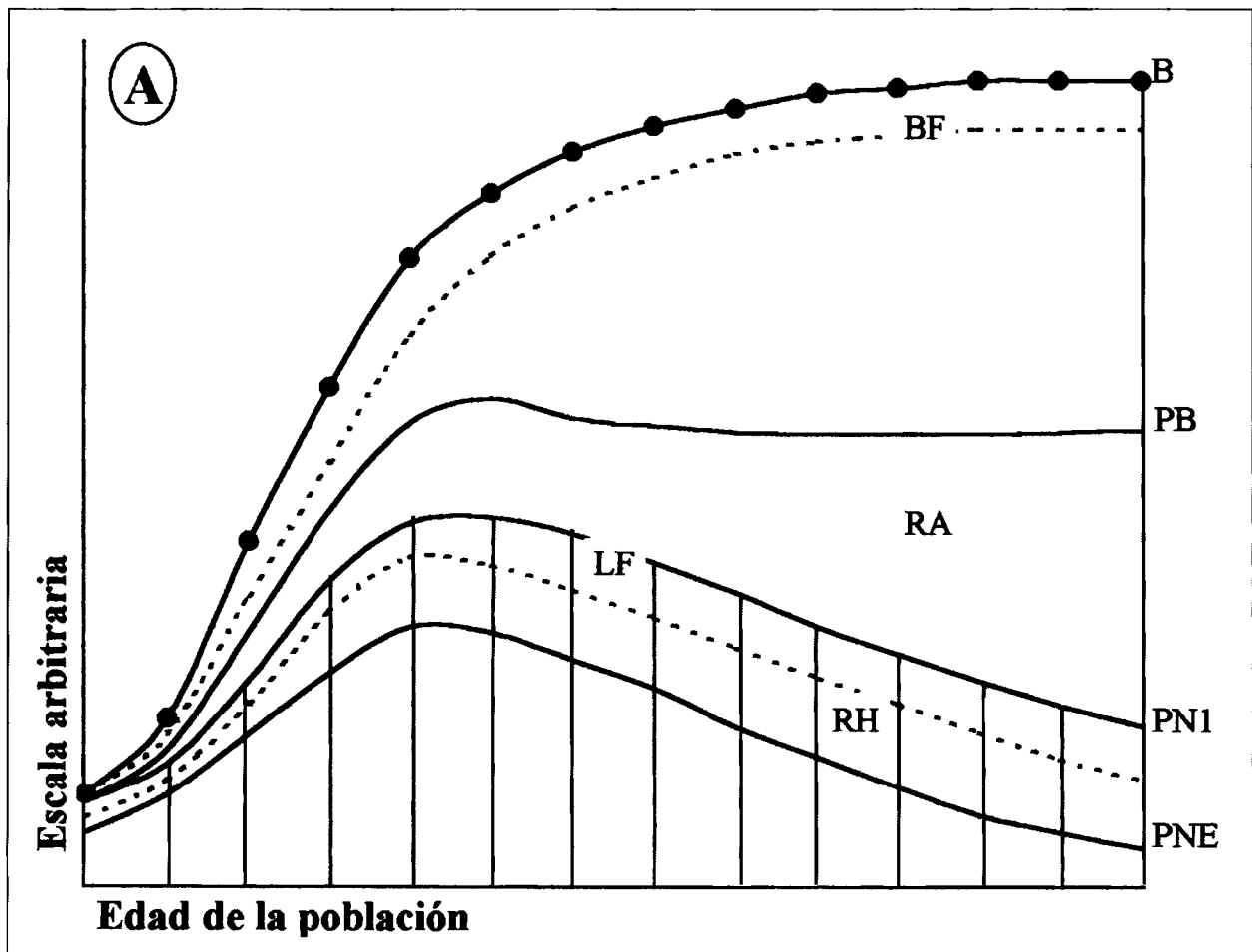


Figura 2a. Dinámica de un sistema forestal natural

to anual de la biomasa vegetal. Al pasar a la fase de equilibrio, clímax, el funcionamiento asegura el mantenimiento del ecosistema. La producción disminuye cuando el sistema evoluciona hacia su estado de equilibrio. Para mantener un estado de producción máxima el hombre corta antes de alcanzar aquel estado de equilibrio, rejuveneciendo constantemente el sistema mediante aclareos y entresacas.

En la figura 2, basada en un esquema de DUVIGNEAUD (1974), se resume la evolución de la producción con la edad y la dinámica de un ecosistema bosque.

A. Dinámica de un ecosistema forestal natural

- PB: producción bruta
- PN1: producción primaria neta
- PNE: producción neta del ecosistema

RA y RH: respiración de autótrofos y heterótrofos

B. Evolución esquemática en función de la edad

C. Dinámica de un ecosistema forestal explotado

- B.te.: Biomasa teórica
- B.in.: Biomasa extraída mediante aclareos
- PN1: producción primaria neta
- te: teoría
- in: aclareos

La gestión del sistema introduce cambios en la naturaleza y magnitud de los cuatro procesos dinámicos en virtud de los cuales el ecosistema funciona como una unidad biológica integrada, es decir, en:

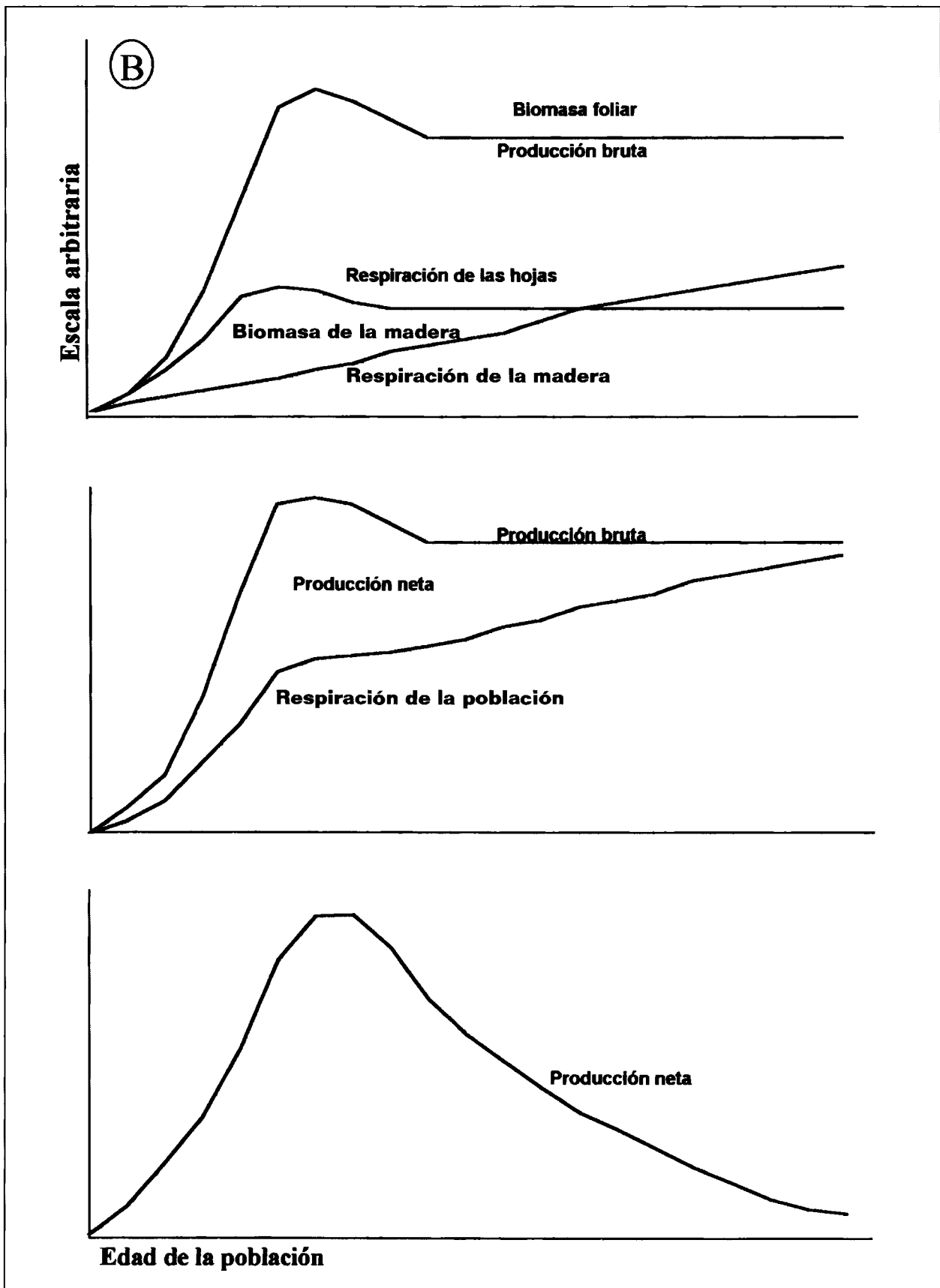


Figura 2b. Evolución en función de la edad

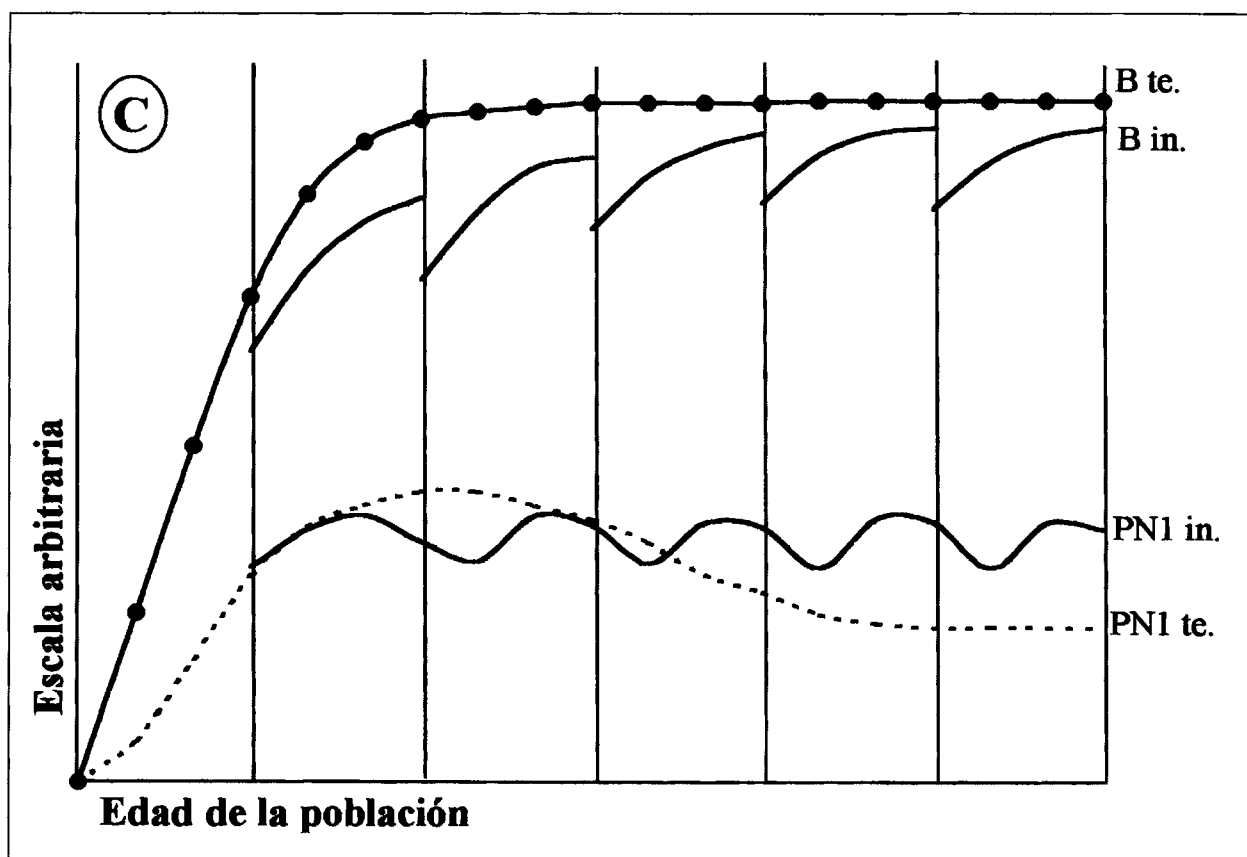


Figura 2c. Dinámica de un sistema forestal explotado

El flujo de energía

La producción y degradación orgánica

La circulación de nutrientes

El movimiento del agua

Modifica además la sucesión ecológica secundaria. Un ecosistema funciona como si tendiese a mantener un máximo de biomasa compatible con la potencialidad de la estación. Las perturbaciones, entre las que figura la gestión, modifican los procesos y componentes; y son contrarrestadas para volver al estado de máximo. Aquellas intervenciones o perturbaciones que no anulan la capacidad de retorno son compatibles con la conservación y permanencia productiva del ecosistema.

El estudio experimental de los cambios inducidos será el objetivo prioritario de la investigación forestal en el futuro.

La importancia de la naturaleza y distribución de la biomasa en los compartimentos de

un ecosistema aconseja una cuantificación de dicha distribución que debe ser recogida en la fase inventarial del estudio de ordenación.

En el inventario de la ordenación habrán de figurar las variables de estado que corresponden a BA, BNA y NV; o los factores de conversión entre la que sea objeto de medición y las demás. Reducir dicho inventario a la parte maderable y leñosa parece insuficiente.

#### 4. MODELOS DE CRECIMIENTO. ENFOQUE DE LA TEORÍA DE SISTEMAS DINÁMICOS

La necesidad de explicar científicamente las razones que justifican y los efectos que produce la intervención del hombre para gestionar y aprovechar los sistemas y recursos forestales es evidente y resulta indiscutible. La explicación empírica que puede

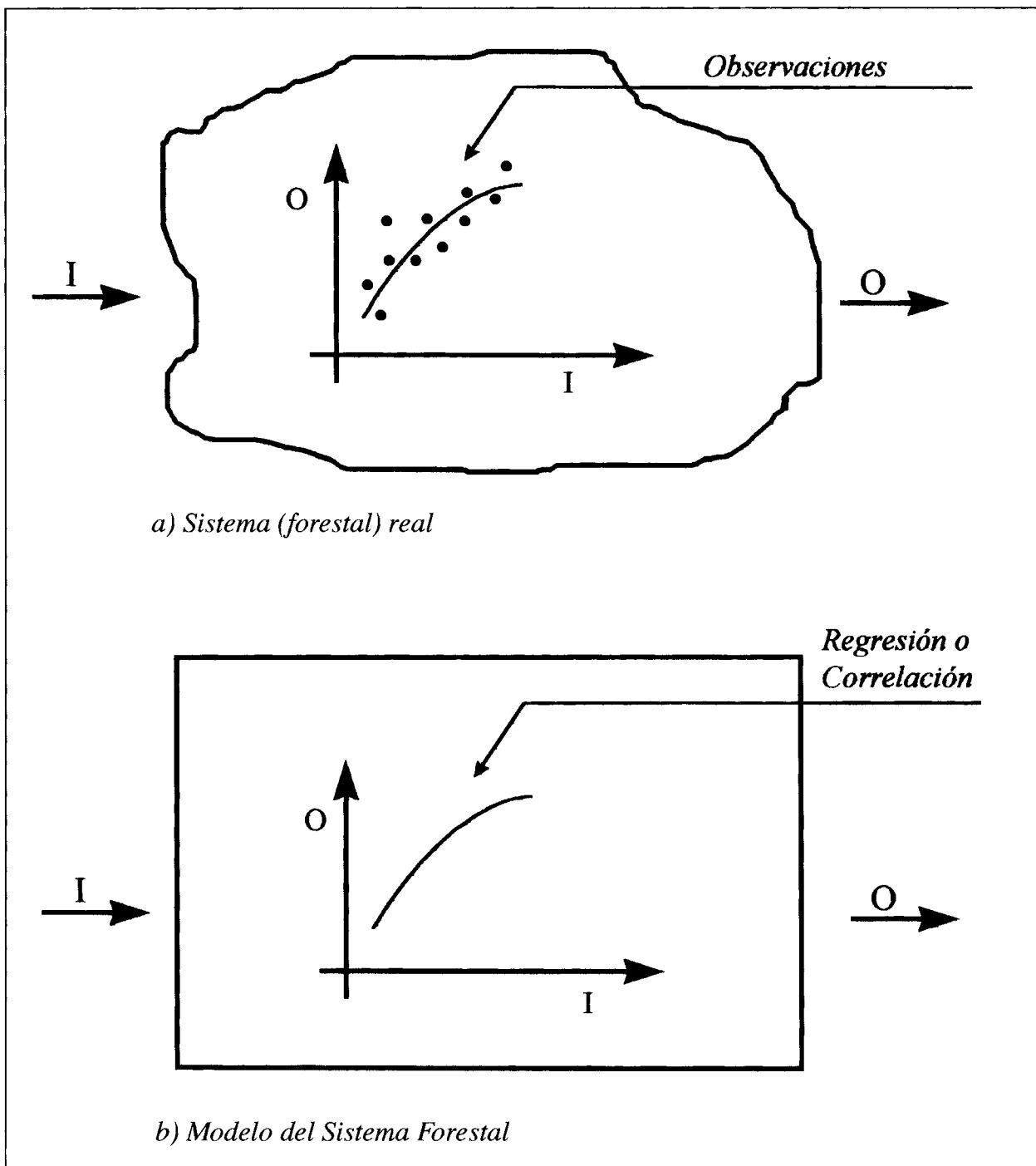


Figura 3. Modelo estadístico (estático). I = Entradas; O = Salidas

proporcionar el enfoque clásico de la silvicultura es insuficiente. Considera al sistema forestal como un caja negra y ensaya la obtención de relaciones estables entre las variables de entrada (I) y de salida (O) sin tomar en consideración las interacciones en el interior de la caja. Ver figura 3.

El enfoque de la teoría de sistemas dinámicos y el uso de modelos de simulación ofrecen una alternativa para avanzar en la revisión y formulación de los principios de gestión y para conocer y separar los efectos debidos a diferentes sollicitaciones externas. Este enfoque exige el análisis de la estructu-



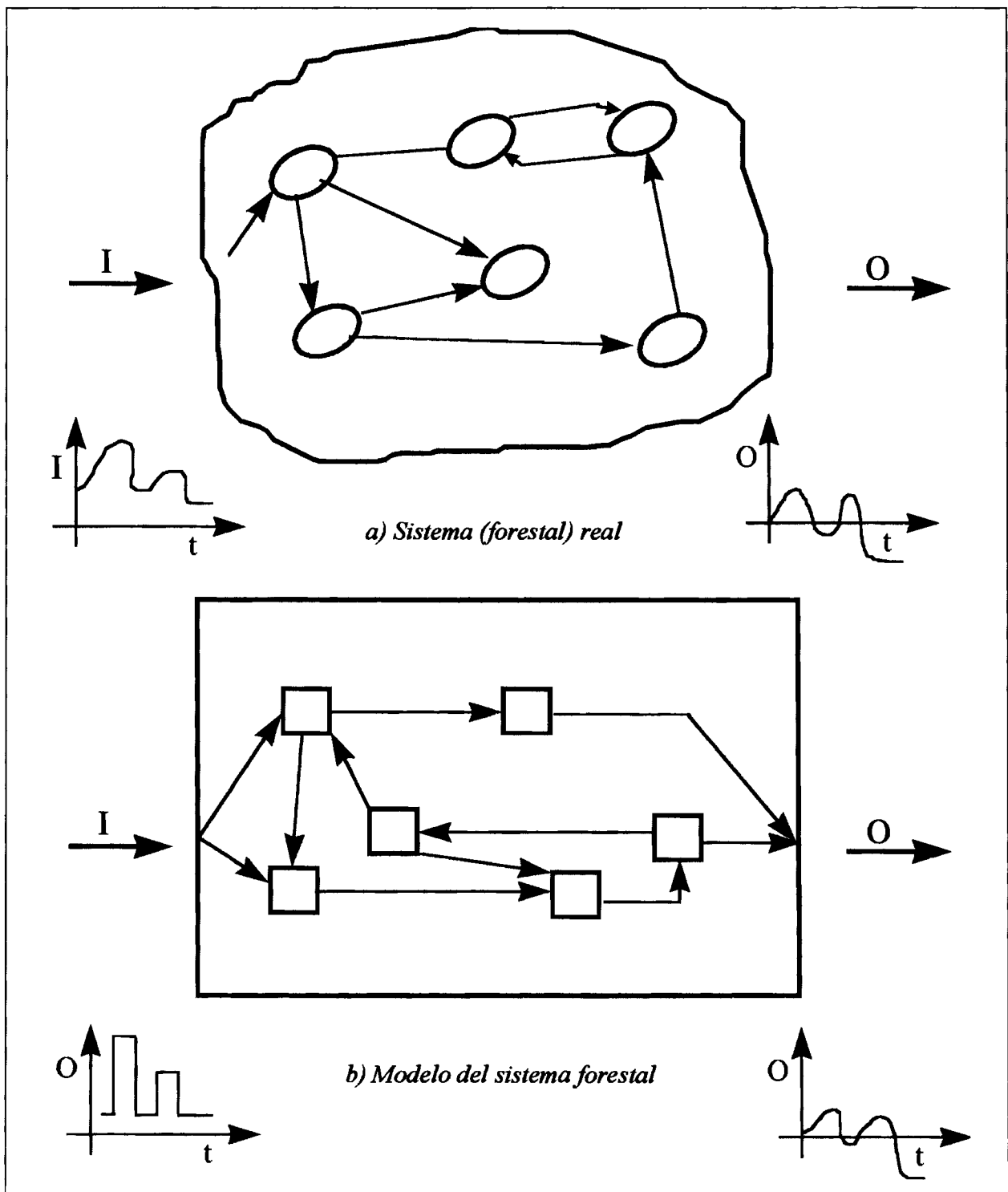


Figura 4. Modelo estructural dinámico. I = Entradas; O = Salidas

ra y funcionamiento del sistema. Obliga a abrir la caja negra e indagar las relaciones entre sus componentes y a conocer los acoplamientos o estructura interna; permite a cambio separar el efecto de las acciones

externas y analizar la reacción del sistema. Ver figura 4.

Los potentes y modernos sistemas de cálculo han hecho posible el análisis de los

complejos sistemas biológicos y ecológicos sólo en época reciente, aunque el carácter sistémico de aquellas realidades biológicas fuese reconocido muy tempranamente (BERTALANFLY y HAECKEL).

El análisis de sistemas se utiliza como herramienta para comprender el funcionamiento de los ecosistemas, para gestionarlos y para evaluar las consecuencias de los excesos cometidos en su aprovechamiento o del efecto de las perturbaciones ocasionadas por plagas, incendios y otros agentes nocivos. Gracias a los modelos de simulación se puede hacer una mejor previsión de la evolución de la biomasa aérea y de sus componentes con valor comercial (madera, frutos, etc.), previsión que puede ser simulada bajo innumerables hipótesis.

El programa de la Unesco HOMBRE Y BIOSFERA propició el desarrollo de modelos en el marco de proyectos que estudian los efectos ecológicos del incremento de la actividad humana sobre los ecosistemas forestales. A partir de estos modelos se han diseñado sistemas selvícolas y programas de producción que alcanzan simultáneamente estabilidad ecológica y tecnológica y gran flexibilidad y estabilidad económica (BRUENING, 1979; SCHNEIDER, 1979).

La simulación del crecimiento y producción de masas monoespecíficas se inicia en la década de los 70, desarrollándose prototipos para especies como *Pinus sylvestris*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea excelsa*, etc.

Los modelos de simulación basados en los estudios experimentales llevados a cabo sobre el funcionamiento de ecosistemas reales permiten hacer previsiones sobre el efecto de las cortas y demás aprovechamientos en la evolución y estabilidad de los bosques.

La simulación permite reducir al mínimo los riesgos de la estrategia de la prueba y el error.

Podemos distinguir dos tipos de **modelos de crecimiento**, cuya «utilización» sucesiva será paralela al avance en el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas.

El primer tipo permitirá conocer el valor de las variables de estado (Y) en el momento (t) en función de estos valores (Y<sub>0</sub>) en un momento anterior (t<sub>0</sub>), de parámetros (P) propios del sistema y de los parámetros que definen el tratamiento selvícolas (intensidad, ritmo, etc. de las claras).

$$Y = F(t, t_0, Y_0, P, S, \dots)$$

Expresión formal, en la que (t) puede entrar explícita o implícitamente. Esta expresión no es una sola relación, sino un conjunto de relaciones no necesariamente formulables matemáticamente.

El segundo tipo responde a un objetivo más ambicioso, en el que las variables de estado (Y) podrán obtenerse como resultado de la evolución de parámetros o variables ambientales, observables o de obtención mediante modelos complementarios (que describen el estado del suelo, las condiciones del clima, etc.).

Además de las variables de estado (Y), que representan compartimentos de biomasa en el primer tipo y de biomasa o nutrientes en el segundo, el modelo de crecimiento contiene una expresión dimensional en la que aparece la distribución de los parámetros individuales (diámetros, alturas, volúmenes, etc.). Estas distribuciones pueden corresponder a modelos estocásticos o determinísticos.

Estos modelos irán dejando fuera de servicio a las ya clásicas tablas de producción, porque los modelos son generadores de dichas tablas.

Su generalización sólo es posible a partir de la reciente disponibilidad de potentes medios informáticos. Exige una intensa labor de investigación y experimentación para evaluar el efecto diferencial de los distintos modelos de intervención selvícola y aprovechamiento. El apoyo de la interpretación ecofisiológica para cuantificar el efecto de la modificación de los factores abióticos es imprescindible. Este es uno de los rasgos que confieren a este instrumento su carácter ecológico.

A nivel de programación de la ordenación forestal y de la aplicación tradicional de los nuevos proyectos, este instrumento tendrá

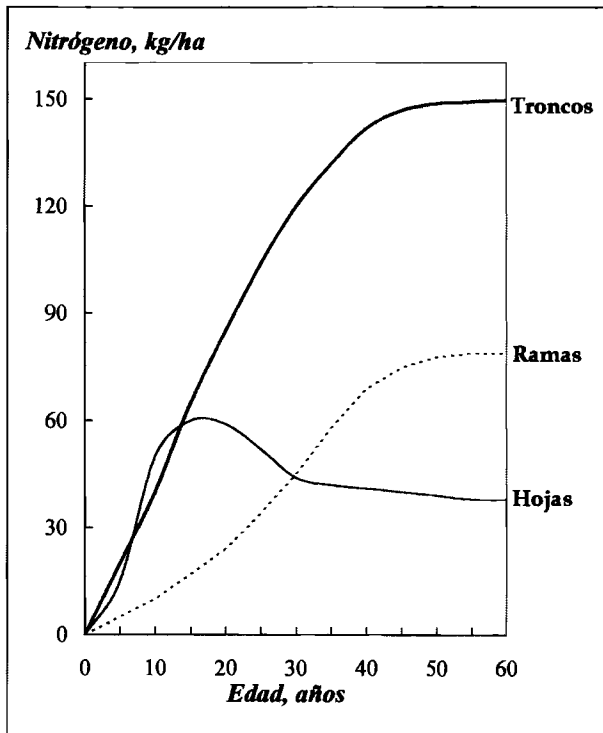


Figura 5. Acumulación de N

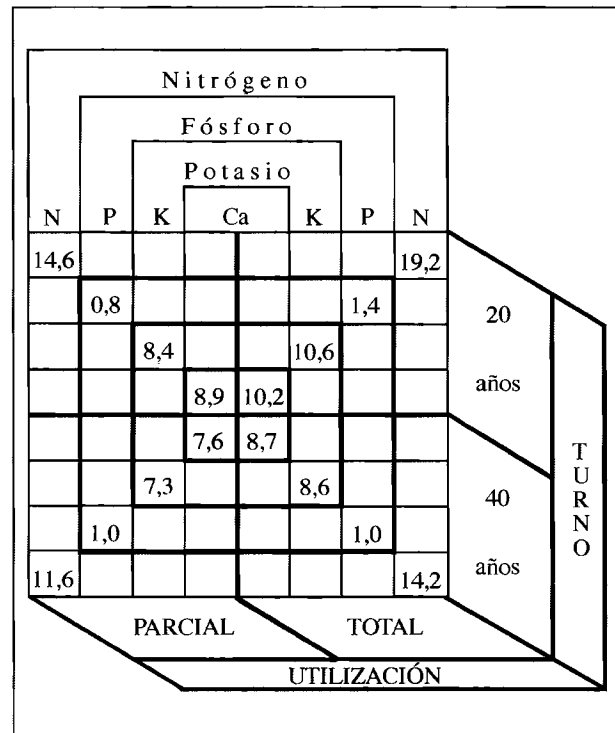


Figura 6. Exportaciones de nutrientes, según duración del turno e intensidad de extracción

una incorporación inmediata. El Plan General y sobre todo los Planes Especiales, y más los planes anuales de corta, dejarán de ofrecer la rigidez propia de una previsión inmutable. El modelo de simulación puede actualizar las previsiones de evolución de la biomasa a partir de cada situación de partida coincidente con la realidad. La capacidad del modelo se verá reforzada al contabilizar las extracciones de hecho en el proceso de aplicación del plan de gestión.

Éste puede resultar un instrumento definitivo para orientar y hacer el seguimiento de evolución de las existencias en los planes de transformación de masas irregulares a las que se pretende aplicar un plan de ordenación sistemático a partir del turno de transformación. En este caso resultan de escasa si no nula utilidad las tablas de producción clásicas. El ajuste de modelos a este proceso ofrece, en contrapartida, dificultades añadidas.

La utilización de alturas totales en vez de maderables será un corolario del uso de estos modelos. La altura total es más fácil de medir y contiene información sobre la altura maderable.

### 5. EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES EN LA CORTA FINAL. INFLUENCIA DEL ACORTAMIENTO DEL TURNO Y DE LA INTENSIDAD DE LA EXTRACCIÓN

Además de la exportación de nutrientes derivada de la pérdida del control biológico del sistema, se produce, al efectuar el aprovechamiento final mediante corta *a hecho*, una salida de nutrientes incorporada a la biomasa extraída. La cuantía de esta pérdida del sistema se ve acentuada por la intensidad de la extracción y por el acortamiento del turno.

En la figura 6 adjunta figuran los resultados de una experiencia llevada a cabo en plantaciones de pino que fueron aprovechadas a dos turnos (de 20 y 40 años) y según dos niveles de extracción: 1. extracción de troncos y corteza; 2. extracción de toda la parte aérea del árbol. (SWITZER & NELSON, 1973).

El efecto combinado del grado de utilización y el acortamiento del turno, aumenta el nivel de extracción de los elementos de un 15% a un 60%.

Un aumento de la intensidad de los tratamientos selvícolas especialmente en el período de regeneración, combinado con la reducción del turno y la fuerte utilización de los productos incrementa considerablemente la pérdida de nutrientes.

Este resultado es consecuencia de la pauta de acumulación de nutrientes que se refleja en la figura 5 (SWITZER, 1968).

De todo ello se deduce que conviene utilizar turnos largos y limitar las extracciones de productos leñosos y foliares. Naturalmente que este criterio puede contraponerse a la excesiva acumulación de residuos y la reducción del proceso de descomposición-mineralización.

El resultado ilustra, además, el riesgo de esquilme que producen los denominados aprovechamientos integrados y la eliminación por quema de los restos finales de la corta.

La propagación de plagas y el peligro de incendios son aspectos que pueden aconsejar actitudes contrarias.

## 6. PÉRDIDA DE NUTRIENTES E INCREMENTO DEL CAUDAL DE LOS CURSOS DE AGUA AL EFECTUAR CORTAS *A HECHO*

En la fase de expansión de un sistema forestal se mantiene un fuerte control de los procesos hidrológicos, energéticos, ecológicos y biogeoquímicos; hasta el punto de que estos procesos son regulares y predecibles. Al efectuar cortas *a hecho* se produce un descontrol generalizado de estos procesos.

Estos cambios han sido observados desde antiguo y están documentados en experiencias como las de HUBBARD BROOK, COWEETA y otras más recientes. Las proporciones de producción primaria neta (PN1), transpiración y absorción de nutrientes descienden muy por debajo de sus valores antes de la corta. Se produce un aumento rápido de parámetros internos del ecosistema como la tasa de descomposición y de nitrificación, la

humedad disponible y la temperatura del suelo. También incrementan algunos parámetros exteriores tales como el caudal de salida de agua de los ríos en verano y el arrastre de partículas procedentes de la erosión. Igualmente se producen cambios significativos en los depósitos de nutrientes y de materia orgánica en los compartimentos de biomasa viva y de necromasa.

Como ejemplo de los efectos de la corta sobre la producción de agua, aportamos el siguiente testimonio experimental.

### Producción de agua

Una extracción de vegetación producirá un aumento de la producción de agua. En el NW de los EE.UU. (LALL & REINHART, 1967) estimaron que la extracción de toda la vegetación de una cuenca muy bien poblada podría aumentar la producción de agua entre 10 y 30 cm el primer año. El aumento de la producción de agua, medido por la corriente de salida, se produce en medio, o más tarde, del período de crecimiento. (FEDERA, 1973) comprobó en Nueva Hampshire que la transpiración del bosque aceleró la recesión de la corriente. Durante el período de reposo vegetativo la corriente continuó a tasas de 1mm por día, mientras que durante el período vegetativo la tasa de descenso disminuyó en pocos días a menos que 0,05 mm/día.

La transición entre estos regímenes ocurrió en Junio y más tarde en Septiembre-Octubre, coincidiendo con el tiempo en que la transpiración empieza y termina. En otras áreas, dependiendo del tipo de bosque y de las condiciones climáticas, la pauta y la cantidad de producción de agua puede diferir. En un área del Pacífico Norte en Oregón, la corta *a hecho* del bosque de coníferas da lugar a un incremento anual de la producción de agua de 45 cm, más de lo que ocurría en el período de octubre a marzo (ROTHACHER, 1970).

Cuando la fusión de la nieve es una parte significativa de la corriente, la cubierta forestal puede prolongar o demorar el período de fusión, y cuando se extrae el bosque

<i>Tabla 1</i>			
Período	Área basimétrica (m <sup>2</sup> )	Masa foliar (kg x 10 <sup>3</sup> )	Aumento del caudal de salida (cm)
Pretratamiento	10,3	3,26	0
1 <sup>er</sup> año después de la corta	0	0	38
13 <sup>o</sup> año	4,8	3,17	13
40 <sup>o</sup> año	9,3	3,26	0

las pautas de flujo cambian simultáneamente. Los efectos son diferentes entre árboles de hoja caduca y los de hoja perenne. La extracción de vegetación de frondosas no cambia normalmente las pautas de fusión de forma tan fuerte como la extracción de árboles siempre verdes.

El aumento en la producción de agua resultante de una drástica reducción de la transpiración se produce porque el contenido de agua en el suelo se mantiene alto y, cuando se infiltra agua adicional después de la lluvia, la capacidad de almacenaje es baja comparada con la que existiría cuando el agua estuviera siendo extraída por transpiración. Existen diferencias en almacenamiento de agua para suelo su vegetación, desarbolado, y con cubierta forestal.

Cuando el contenido de agua en el suelo es alto, las tasas de percolación son elevadas porque aumenta la conductividad hidráulica. COLE (1966), utilizando lisímetros de tensión, proporcionó evidencia de este incremento de la tasa de flujo en el suelo y su respuesta en un período de cinco días de *inputs* de precipitación. La extracción de la vegetación dio lugar no sólo a un acortamiento del retraso del pico de flujo sino que también aumentó la tasa de flujo. Una extracción parcial de la vegetación puede aumentar la corriente en un bosque, y DOUGLASS (1987) indicó que el agua librada de la evapotranspiración es proporcional a la intensidad de la corta. Utilizando datos de una serie de cuencas del noroeste, DOUGLAS & SWARK (1977) obtuvieron un ajuste de regresión para estimar los aumentos de

caudal del primer año en función de la reducción del área basimétrica del rodal.

$$Y = -1,39 + 0,13X$$

donde Y es el aumento de caudal del primer año y X el % de área basimétrica.

En condiciones normales tiene lugar la revegetación y puede esperarse una disminución del caudal (ver tabla 1).

Aunque la masa foliar 13 años después de la corta es casi la misma que antes del tratamiento, el caudal es aún significativamente superior, y esto se puede deber a una incompleta exploración de las raíces espacialmente en profundidad, junto a unas existencias menores de biomasa de la vegetación, que representa una considerable capacidad de almacenamiento de agua. HIBBET (1967), presentando datos sobre el mismo área, mostró que, después de un período de 23 años de regeneración siguientes a la corta, una segunda corta *a hecho* produjo el mismo aumento de caudal que la primera corta.

Las experiencias llevadas a cabo en varias cuencas forestales de COWEETA, proporcionaron una información valiosa para cuantificar la respuesta hidrológica global a las actuaciones de gestión de una cubierta forestal. De esas experiencias y de otras efectuadas en los Apalaches se ha obtenido, incluso, una ecuación que predice los cambios del caudal anual que se derivan de la corta *a hecho* y del rebrote de una masa de frondosas. Esta ecuación utiliza dos parámetros o variables independientes: el área basimétrica extraída y la insolación potencial. Los resul-

tados ponen de manifiesto una fuerte influencia de las cortas. Incrementos de hasta el 100 % del caudal mensual se producen después de la corta en aquellos meses de fuerte demanda evaporativa. El caudal previo a la corta se recupera en función de la ET, del rebrote de la vegetación y de las características físicas de la cuenca. Las cortas comerciales producen cambios del orden del 15%, análogos a los efectos de alteraciones naturales de la vegetación como defoliaciones por insectos.

En esta experiencias se puso igualmente de manifiesto la relación entre el tipo de vegetación y el caudal de salida de las cuencas. La conversión de un bosque de frondosas en un pinar produce una reducción anual de alrededor de 25 cm durante 25 años, debido a la mayor ET del pinar que desarrolla un índice foliar (LAI) mayor, de ahí una pérdida de intercepción.

Parece evidente que la ordenación forestal no puede ser ajena a estos efectos y que, después de evaluar los resultados previsibles en este aspecto, debe incorporar decisiones que orienten la ejecución en dos direcciones complementarias :

- a) controlar los efectos a nivel de la cuenca vertiente general
- b) reducir los efectos a nivel del sistema que se pretende ordenar, de cuartel y de monte

Las medidas posibles afectan a la localización espacial y a la secuencia temporal de las cortas; por lo tanto, tendrán reflejo, en primer lugar, en la distribución espacial de los tramos de corta y, en segundo término, afectarán a la estructura interna de dichos tramos. La fisiografía de los cuarteles puede ayudar al diseño de las unidades superficiales de localización de las cortas de modo que las salidas de un área puedan ser recogidas en otra contigua que haya alcanzado un estado más estabilizado.

Los tramos discontinuos, la secuencia adecuada del plan de cortas en los cantones de cada tramo y su coordinación con las áreas contiguas pueden proporcionar vías para controlar y reducir los efectos negativos.

Otra herramienta de insospechada potencia es el manejo de la vegetación menor (arbus-tiva y herbácea). Su precocidad de instalación y su capacidad de absorción de nutrientes disponibles pueden ser utilizados para moderar la pérdida de nutrientes por lixiviado o por arrastre de partículas.

Estudios realizados por nosotros, en la cuenca experimental CVØ2 del Pinar de Valsaín, revelan que un sotobosque cuya biomasa aérea apenas representa cuantitativamente un 1% de la biomasa arbórea, puede controlar el ciclado de hasta aun 20% del flujo de algunos nutrientes fundamentales.

Provocar la formación de parches o bandas protectoras mediante encespedamiento o instalación de especies precoces, incluso mediante apertura y siembra, puede constituir un método eficaz de contención de los procesos de migración de materiales y nutrientes.

Medidas estructurales de distribución de la superficie de cortas anuales y periódicas, elección de un época de corta favorable y el manejo de vegetación menor son recursos disponibles cuya utilización debe figurar en el texto del proyecto de ordenación y de los planes anuales.

En todos los casos el estudio previo a la redacción del plan y su síntesis final deben incluir una evolución del impacto de las cortas de producción.

## **7. LAS CORTAS COMO HERRAMIENTA DE CREACIÓN DE SISTEMAS MIXTOS**

Nos referimos ahora principalmente al tercero de los objetivos contemplados en la ordenación de repoblaciones artificiales, en el apartado 2, consistente en la creación de un sistema forestal mixto.

La programación de las claras es el instrumento indispensable para inducir cambios en la composición específica de la vegetación, como ponen de manifiesto múltiples experiencias de manejo de bosques.

En una síntesis muy apretada podemos esquematizar los efectos derivados de las claras, aclareos y entresacas como sigue:

- La apertura del dosel da lugar a modificaciones (LEE, 1978; JACOBS, 1979; HUTCHISON & MAT, 1976).

a) en la composición y estructura de la vegetación

- cambios en las condiciones abióticas de energía, temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>, etc.

- respuesta diferente de las especies según temperamento y exigencias.

b) en la circulación y stock de nutrientes

- cambios en las tasas de descomposición y mineralización

c) en el régimen hídrico local (DAHMUS, 1973)

- cambios en la disponibilidad de agua

- cambios en la vegetación del sotobosque según sus requerimiento hídricos

- La aportación y extracción de residuos y árboles (COLE & RAPP, 1980; MITCHELL, 1975) da lugar a:

d) aumentos en la cantidad de nutrientes por cada árbol

e) cambios en la actividad microbiana

f) aumento del depósito de restos orgánicos que pueden mineralizarse

g) aumento de la inmovilización por la elevada relación carbono/nutrientes

h) aumento de pérdidas por lixiviado

Estudios desarrollados en cuencas perturbadas, como los de COWEETA y otros, documentan estos efectos (MONTAGNINI, 1985; WHITE, 1985).

En lo que se refiere a los efectos sobre la composición del suelo, recogemos algunos resultados de los estudios efectuados en el área de COWEETA.

Las especies de luz o media sombra ocupan inicialmente el claro creado por la

corta. Mas tarde se forma un sotobosque de especies de sombra.

La respuesta de los árboles a la aparición de claros depende, entre otras causas, de

- el tamaño del claro

- las condiciones ambientales dentro del claro

- la edad fisiológica de los árboles que quedan: pimpollos, repoblado, brotes de copa, etc.

Revisaremos primero los cambios abióticos que se producen y luego las reacciones de las principales especies de acuerdo con su capacidad de adaptación.

Los **cambios abióticos** dependen en primer lugar del tamaño de la apertura (LEE, 1978). En claros amplios entra una mayor cantidad de radiación incidente y se produce una mayor variación de la temperatura diaria, de la humedad relativa y de la concentración de CO<sub>2</sub>. Los niveles de humedad del suelo pueden aumentar al desaparecer la cubierta.

Son especialmente importantes los efectos debidos a la variación de la cantidad de luz y a la distribución de la longitud de onda, pudiendo variar el PAR desde un 80% en claros de un árbol al 97% en huecos mayores.

La temperatura de las hojas a mediodía puede oscilar de un 10 a 18%.

La temperatura del aire de un 28 al 35%.

La humedad relativa del 0 al -4%.

La velocidad del viento de 0 a 8%.

La humedad del suelo de 3 a -14%.

Dentro de un claro pequeño, una gran parte de la luz incidente total es radiación directa (HUTCHINSON & MATT, 1976). Cuando el claro aumenta, disminuye la proporción de rayos infrarrojos, que son abundantes bajo un dosel lleno de hojas. Este cambio puede afectar el sistema regulador de los **fitocromos** (JACOBS, 1979).

En un claro amplio, la microtopografía puede reducir la cantidad de lluvia (LEE,

1979); a su vez, la demanda evaporativa puede reducirse, compensando el primer efecto.

La elevada temperatura del aire y de las hojas, la baja humedad relativa y la velocidad del viento pueden incrementar la demanda evaporativa en un raso grande. Incluso pueden llegar a secarse los horizontes superiores del suelo (SWIFT & *al.*, 1975).

La tensión hídrica en la superficie del suelo puede bajar entre -15 y -20 bares durante dos meses en verano, y en un raso; mientras que bajo cubierta próxima no se alcanza esta tensión ningún día.

Por debajo de los 30 centímetros de profundidad el contenido de agua en el suelo depende mucho más de la posición en la ladera y de la lluvia los días anteriores (HELVEY & *al.*, 1972). Muchos árboles pueden utilizar preferentemente agua de estos horizontes profundos.

En general, en rasos grandes la cantidad de agua que llega al suelo es mayor que bajo cubierta cerrada como demuestran múltiples estudios de intercepción (entre un 8 y un 33%).

El primer efecto de la apertura del vuelo es el incremento relativo de los niveles de luz. Teniendo en cuenta su tolerancia a la sombra los árboles se han venido clasificando como:

*intolerantes*: raros en el sotobosque

*medianamente tolerantes*

*tolerantes*: pocas veces ocupan el estrato superior del dosel y son componentes importantes del sotobosque. Pueden o no acceder al estrato arbóreo, al igual que los anteriores.

El comportamiento responde a tres factores de competencia primaria:

- la habilidad para captar la luz adicional
- la capacidad para utilizar esta energía adicional en la fijación de CO<sub>2</sub>
- la facultad para orientar la copa y las hojas para evitar altas temperaturas y el sotobosque

Las especies de tolerancia media exhiben gran plasticidad en estos tres aspectos (WALLACE & DUNN, 1980).

La habilidad para captar luz está regulada por la proporción de biomasa total empleada en las hojas y por el tamaño y número de unidades fotosintéticas (UE) dentro de las hojas (WALLACE & DUNN, 1980). Generalmente las especies más tolerantes tienen una gran proporción de biomasa en las hojas (MC GINGTY, 1972). Algunas especies tienen gran cantidad de biomasa foliar y de superficie foliar.

La orientación de las hojas y la estructura de las copas modifica el microambiente de cada hoja individual y puede moderar el rigor de los extremos en la variación de la intensidad de la luz. (HORN, 1976) hace una descripción de las diferentes orientaciones que adopta el estrato arbóreo y arbustivo. Las especies intolerantes exhiben una acusada tendencia a la autosombra, mientras que las tolerantes tienen una capa monoestratificada. Además, con baja luz ambiente las especies intolerantes dejan que muy poca luz alcance sus hojas. Las especies de tolerancia media pueden cambiar pasando de una copa monoestrato a otra multicapa (WALLACE, 1978).

El ángulo de inserción puede reducir significativamente la intensidad de la luz incidente.

WALLACE & DUNN (1980) encontraron que las especies intolerantes, a la sombra se entiende siempre, mantienen una disposición horizontal de las hojas con respecto a la luz incidente. Las tolerantes e intermedias adoptan una posición horizontal con baja luz y un ángulo de 30° a 35° bajo la horizontal; con ello consiguen una reducción de la intensidad del orden del 13 ó 18%.

WALLACE & DUNN (1980) sostienen que la forma del dosel y la posición de las hojas están sometidos a un rígido control genético en *Liriodendron tulipifera*. Ésto, unido a una escaso empleo de biomasa en las hojas puede recluir esta especie a ambientes de elevada luminosidad.



## **8. ¿CÓMO INCORPORAR LOS ASPECTOS CONSIDERADOS A LA PLANIFICACIÓN DE LA ORDENACIÓN. DEFICIENCIAS DEL SISTEMA ACTUAL?**

La planificación a un plazo tan largo plazo como el que corresponde a un turno de corta, aún de las plantaciones con especies de crecimiento rápido y ciclo corto, o a turnos de transformación, plantea en cualquier caso problemas como el de tener que evaluar parámetros de todo orden que dependen de acontecimientos o eventos imprevisibles o erráticos. Requiere una proyección mínima sobre el valor el futuro de los factores que definirán el estado más eficiente de las principales variables stock del sistema (existencias, reservas de agua y nutrientes, etc.) compatible con la persistencia de la cubierta vegetal arbórea.

Para ello ha de construirse sobre hipótesis que ofrezcan una garantía máxima de cumplimiento.

Ahora bien, la evolución del ecosistema en su conjunto dependerá, además de los factores del medio que son oscilantes pero tendencialmente conocidos, de la intervención de la gestión o de la ordenación.

Resulta imposible una planificación eficiente y con garantías de que se va a seguir si no se conoce cual es el efecto de las intervenciones posibles sobre la dinámica del sistema.

La interacción entre la potencialidad del sistema, la oscilación de los factores ambientales y la intervención, proporciona una serie de resultados posibles difíciles de abarcar.

La única posibilidad de hacer frente a estas dificultades con cierta garantía es la de disponer de una herramienta y método de estudio capaz de simular los resultados de muchas combinaciones racionales de aquellas variables (dinamismo del sistema, factores ambientales, intervención).

Tal instrumento o herramienta será un modelo de evolución capaz de representar el funcionamiento y las interacciones con el medio, así como la respuesta a las actuaciones

del selvicultor con un aproximación controlable. O al menos capaz de detectar los aspectos críticos para su control.

Las principales variables de estado, y no únicamente aquellas que representan el producto comercial (madera, leña, corteza), han de poder ser objeto de simulación dentro de la variabilidad espacial que caracteriza a estos sistemas forestales.

Los recursos y conocimientos disponibles hasta el presente no permitían ir más allá de lo alcanzado, porque existían dificultades que afectaban a:

- La capacidad de captura y archivo de datos y a
- La explotación y representación de los datos y de la información

Estas deficiencias eran especialmente notorias en la disponibilidad de una información capaz de representar de una manera plenamente utilizable los datos y parámetros del Estado Natural. La imposibilidad de ofrecer una descripción georreferenciadora y operativa era manifiesta. Los contenidos del Estado Natural y parte de los del Estado Forestal fueron o descriptivos, o simples estadísticos, con limitada posibilidad de interpretación. Esto sin considerar, por ejemplo, la deficiente calidad o la falta de información climática significativa.

Las herramientas de análisis eran igualmente insuficientes para manejar cantidades excesivas de datos y mediciones, y también lo eran los esquemas conceptuales y los enfoques globales.

Con todo ello se ha llegado a donde se podía, y lo que no se podía era salir de unas pocas hipótesis rígidas para elaborar la imagen del futuro que se reducía igualmente a modelos de monte regular, semiregular o irregular; teóricos e irreales o muy simplificados para representar cualquier realidad.

En consecuencia, la planificación resultante era inevitablemente rígida e insuficiente y su puesta en obra punto menos que imposible. La necesidad de revisión no obedecía sólo a lo imprevisto o incontrolado sino que

era resultado de un inevitable caos que se producía a los pocos lustros del desarrollo, por incompatibilidad de las previsiones del plan general y la realidad; resultado de un esfuerzo ingrato por acercarse a sus directrices por parte del ejecutor y el caudal de sentido común que derrochó para ajustarse juiciosamente a la realidad.

En pocos años el cuartel, o el monte ordenado o en transformación, no tenía nada que ver con el esquema que proporcionaba el plan general o, lo que resultaba mucho más grave, era una organización que violentaba muchas recomendaciones del sentido común. Y esto no es ni una censura de los planificadores ni mucho menos de los ejecutores. Ambos dejaron la práctica de nuestra ordenación forestal llena de sabias y acertadas decisiones y de previsiones sorprendentes. Sucede simplemente que el objetivo de planificar algo tan complejo como la evolución controlada de un sistema ecológico requiere más medios de todo orden.

Estamos asomándonos, gracias al concurso de las nuevas tecnologías y medios de proceso de información, a una situación que promete vencer gran parte de estas dificultades.

El enfoque sistémico, la posibilidad de simular procesos complejos gracias a la elaboración y formulación de modelos comprensivos de realidades especialmente variables y con múltiples caminos de evolución, hacen posible avanzar decididamente hacia los objetivos de conseguir una planificación rigurosa y de disponer de un método capaz de acomodarse en continuo a los cambios de factores externos. Mañana será posible, y en parte gracias a esos instrumentos de tratamiento y proceso de datos, representar la realidad con su variabilidad espacial y modelizar los procesos fisiológicos más importantes.

## **9. BASES PARA DESARROLLAR UN NUEVO SISTEMA**

Será preciso acomodar los modelos desarrollados a las condiciones de cada masa en estudio.

La información ambiental requerida para calibrar y ajustar esos modelos no excederá a la que se señala en nuestro Estado Natural; pero habrá de ser espacialmente referenciada lo mismo en los contenidos climáticos que fisiográficos, hidrológicos y florísticos.

Parece imprescindible que el Estado Forestal incorpore nuevas variables de estado para inventariar (biomasa total arbórea y quizá arbustiva y herbácea; materia orgánica del suelo; depósito de los principales nutrientes disponibles; desfronde y mantillo; etc.).

La aplicación de los modelos disponibles permitirá simular las actuaciones selvícolas convencionales y quizá nuevas técnicas de ejecución de las claras, que incorporen resultados de experiencias concretas del efecto del aclareo sobre los factores microambientales para poder programar las condiciones de acogida de especies que aumentan la diversidad o que ofrezcan un potencial mejorado pensando en la persistencia del sistema creado.

La planificación hidrológica a escala del monte, y sobre todo a escala de la cuenca vertiente en que se sitúa, serán, con toda seguridad, nuevas exigencias del Plan General.

Quizá la característica que ha de definir mejor los futuros planes sea la de que consistirán, más que en un plan fijo, en un generador de planes, capaces de ajustar las realidades relevantes a los principios que orientan la ordenación de un determinado monte. Incluyendo la modificación de esas orientaciones.

Esta capacidad de dar respuesta a cada situación cambiante, será especialmente valiosa para los Planes Anuales e incluirá la posibilidad de ir mejorando la calidad de los parámetros del modelo al paso que se obtiene nueva información.

Esta capacidad de autoperfección se extiende a la incorporación de modelos más elaborados o comprensivos a medida que esta pujante rama de la actividad científica lo permita.

Si tuviésemos que resumir hoy los principales instrumentos, fases u operaciones que debe incluir el nuevo sistema citaríamos:

#### 9.1. Base de datos del inventario

#### 9.2. Modelo de simulación o generador de la ordenación

#### 9.3. Base de datos de seguimiento

#### 9.4. Planificación dinámica

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMSON, K.A.; 1979. *Forest Soils: Properties and Processes*. University of Toronto Press. Toronto.

BORMANN, F.H. & G.E. LIKENS; 1979. *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag. N.York, Berlin, Heidelberg.

BOSSEL, H.; 1986. Dynamic Models of Forest Ecosystem Components. En: BOSSEL, H., D. GROSSMANN, & al. (eds); *Ecologic-Socioeconomic System Analysis and Simulation*. Proceedings of the CRCUDS. Academia Sinica. Guangzhou.

BRUENING, E.F., J. HEUVELDOP & T.W. SCHEIDER; 1979. Entwicklungslinien der Landnutzung in den Feuchttropen-Konflikte und Lösungsmöglichkeiten aus der Sicht des Unesco-Programms «Der Mensch und die Biosphäre» (MAB). *Forstarchiv*, 50 (4): 75-77.

COLE, D.W.; 1958. Alundum tension lysimeter. *Soli Sci*, 85: 293-296.

COLE, D.W.; 1966. *The forest soil-retention and flow of water*. Proc. Soc. Amer. Foresters. Washington.

COLE, D.W. & M.R. RAPP; 1980. Elemental cycling in forest ecosystems. En: REICHLER, D. (ed.); *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge Univ. Press. Cambridge: 341-409.

DOUGLAS, J.E.; 1967. Effects of species and arrangements of forests on evapotranspiration. En: SOPPER, W.E. & H.W. LULL;

*Forest Hydrology*. Pergamon Press. Oxford: 451-461.

DOUGLAS, J.E. & L.W. SWIFT Jr; 1977. Forest Service studies of soil and nutrient losses caused by roads, logging, mechanical site preparation, and prescribed burning in the Southeast. En: CORRELL D.L. (ed.); *Watershed research in eastern North America. Volume II*. Smithsonian Institution. Chesapeake Bay Center for Environment Studies. Edgewater: 489-503.

DUVIGNEAUD, P; 1974. *La Synthèse Ecologique*. Doin. Paris.

FEDERER, C.A.; 1970. *Measuring forest evapotranspiration - theory and problems*. USDA Forest Service Res. Paper NE-165. Northeastern Forest Expt. Station. Upper Darby.

FEDERER, C.A.; 1973. Forest transpiration greatly speeds streamflow recession. *Water Resources Res*, 9: 1599-1604.

HELVEY, J.D., J.D. HEWLETT & J.E. DOUGLAS; 1972. Predicting soil moisture in the southern Appalachians. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 954-959.

HIBBERT, A.R.; 1967. Forest treatment effects on water yield. En: SOPPER, W.E. & H.W. LULL (eds.); *Forest Hydrology*. Pergamon Press. Oxford: 527-543.

HIBBERT, A.R. & G.B. CUNNINGHAM; 1967. Streamflow data processing opportunities and application. En: SOPPER, W.E. & H.W. LULL (eds.); *Forest Hydrology*. Pergamon Press. Oxford: 725-736.

HORN, H.; 1976. *The adaptive geometry of trees*. Princeton University Press. Princeton.

HUTCHINSON, B.A. & D.R. MATT; 1976. Beam enrichment of diffuse radiation in a deciduous forest. *Agric. Meteorol.*, 17: 93-110.

JACOBS, W.P.; 1979. *Plant Hormones and Plant Development*. Cambridge University Press. Cambridge.

LIKENS, G.E., F.H. BORMANN & al., 1977. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag. N. York, Berlin.

- LULL, H.W. & K.G. REINHART; 1967. *Increasing water yield in the northeast by management of forested watersheds*. USDA Forest Service Res. Paper NE-66, Northeastern Forest Expt. Station. Upper Darby.
- LULL, H.W. & K.G. REINHART; 1967. *Forests and floods in the eastern United States*. USDA Forest Service Res. Paper NE-226, Northeastern Forest Expt. Station. Upper Darby.
- MCGINTY, D.T.; 1972. *The ecological role of Kalmia latifolia L. and Rhododendron maximum L. in the hardwood forest at Coweeta*. M.S. Thesis. University of Georgia. Athens.
- MITCHELL, J.E., J.B. WAIDE & R.L. TODD; 1975. A preliminary compartment model of the nitrogen cycle in a deciduous forest ecosystem. En: HOWELL, F.G. (ed.); *Mineral Cycling in Southeastern Ecosystems*. ERDA Symposium Series. (CONF-740513): 41-57.
- MONTAGNINI, F.; 1985. *Nitrogen turnover and leaching from sucesional and nature ecosystems in the Southern Appalachians*. Ph. Dissertation. University of Georgia. Athens.
- ROTHACHER, J.; 1963. Net precipitation under a Douglas-fir forest. *For Sci.*, 9: 423-429.
- SWANK, W.T., L.W. SWIFT & J.E. DOUGLAS; 1984. Streamflow changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances. *Ecological studies* 66. Springer-Verlag. New York.
- SWIFT, L.W. Jr, W.T. SWANK, J.B. MANKIN, R.J. LUXMOORE & R.A. GOLDSTEIN; 1975. Simulation of evapotranspiration and drainage from nature and clearcut deciduous forests and young pine plantation. *Water Resour. Res.*, 11: 667-673.
- SWITZER, G.L. & L.E. NELSON; 1972. Nutrient accumulation and cycling in a loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystem, the first twenty years. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 143-147.
- SWITZER, G.L., L.E. NELSON & W.H. SMITH; 1968. The mineral cycle in forest stands. En: *Forest Fertilization-Theory and Practice*. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals: 1-9.
- WALLACE, L.L.; 1978. *Comparative photosynthesis of three gap phase sucesional tree species*. Ph. D. Dissertation. University of Georgia. Athens.
- WALLACE, L.L.; 1984. Comparative Physiology of Successional Forest Trees. En: *Ecological Studies* 66. Springer-Verlag. N.York.
- WALLACE, L.L. & E.L. DUNN; 1980. Comparative phosynthesis of the tree gap phase sucesional tree species. *Oecologia*, 45: 331-340.
- WHITE, D.L.; 1986. *Litter production, descomposition and nitrogen dynamics in black locust pine-hardwood stands of the southern Appalachians*. M.S. Thesis. University of Georgia. Athens.
- WHITTAKER, R.H. & al.; 1975. Methods of Assessing Terrestrial Productivity. En: LIETH H. & R.H. WHITTAKER (eds.); *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag. N.York.
- WHITTAKER, R.H., G.E. LIKENS, F.H. BORMANN & al., 1979. The Hubbard Brook Ecosystem Study: forest nutrient cycling and element behaviour. *Ecology*, 60: 203-220.