

# INTRODUCCION AL INVENTARIO FORESTAL

Guillermo Riesco Muñoz

Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.

Se presentan en este documento los contenidos generales de la disciplina científica llamada Inventario Forestal. Al inicio se sitúa y justifica el Inventario dentro del conjunto de las ciencias forestales. A continuación se analizan los inventarios de existencias en el ámbito de los aprovechamientos forestales, dado que el Inventario Forestal en un sentido más amplio se trata en otras conferencias de este mismo curso.

## 1. El Inventario dentro de la Ciencia Forestal

La *Dasonomía* es aquella parte de la Ciencia Forestal que trata de la gestión de las masas forestales y está basada en principios científicos que resultan de la comprensión de la biología del árbol y de la dinámica de las masas forestales. La Dasonomía abarca los siguientes campos científico-tecnológicos:

- selvicultura
- botánica forestal
- dasometría
- ordenación de montes o dasocracia.

La *Dasometría*, llamada en sus inicios Xilometría, es una disciplina cuyo objeto es la medida del monte. Se puede dividir en las siguientes ramas:

- *dendrometría*: estima el volumen de madera y leñas del árbol individual, en pie o apeado
- *estereometría*: sirviéndose de la anterior, estima las existencias en volumen de madera y leñas de un conjunto de árboles.
- *epidometría*: estima la evolución en el tiempo de las existencias (crecimiento del árbol o de la masa arbórea) y estudia la producción reglada.
- *inventario forestal*.

El Inventario admite varias definiciones y entre ellas nos quedaremos con la que sigue:

*“Inventario Forestal es el conjunto de técnicas y principios que se emplean para caracterizar la situación pasada y actual del monte, así como su más probable evolución.”*

Es decir, el inventario forestal recopila, organiza y describe de manera fiable, la información concerniente a los recursos forestales de una zona determinada. El Inventario Forestal se extiende en su ámbito de aplicación a todos los recursos forestales y no solo a los recursos madereros por lo que se favorece la vinculación del monte con una amplia gama de usos finales. Por tanto, el inventario forestal presenta el monte en todos los aspectos que interesan a quien va a hacer uso de la información, dando fundamento a las decisiones que afectan a los recursos forestales (valoraciones, ordenaciones, planificaciones, etc.). Además de la toma de

decisiones, el inventario fomenta el análisis de los recursos forestales.

Realizar un inventario forestal es una labor compleja en la que es necesario el apoyo de diversas ciencias auxiliares:

- *matemáticas*. Son herramientas básicas del Inventario Forestal en tanto que ingeniería. Sin embargo, los fenómenos naturales no son completamente traducibles en todos sus matices a modelos y concepciones matemáticas; de hecho, no puede suponerse la continuidad de las funciones matemáticas que modelizan los fenómenos biológicos por lo que en principio no es aplicable ni el cálculo diferencial ni el cálculo integral.
- *estadística*. La toma de datos experimentales nunca es completa ni perfecta por lo que hay que manejar funciones de probabilidad adecuadas. Todas las técnicas modernas de inventario están basadas en la toma de muestras, en la aplicación de funciones de distribución a las poblaciones de datos, en el estudio de diseños estadísticos, en el esfuerzo por obtener el máximo de información para unos recursos limitados o en establecer unos objetivos a conseguir con el mínimo sacrificio económico. En el inventario forestal, tan importante como saber dendrología (entender de árboles) es saber estadística. Hay conceptos estadísticos y numéricos que aparecen constantemente: redondeo, sesgo, exactitud, precisión, población, variable, distribución, etc.
- *botánica*. Se aplica en la fotointerpretación y en la determinación de especies forestales en general, cuestión especialmente compleja en inventarios tropicales.
- *anatomía y fisiología vegetales*. Ayudan a conocer la forma, edad y crecimiento del árbol, parámetros de partida para el inventario de las masas forestales.
- *economía*. El inventario es una actividad de ingeniería que incurre en unos costes que hay que localizar. Por otra parte, uno de los objetivos del inventario es la valoración, que considera el monte como un bien económico susceptible de ser valorado en unidades monetarias, para lo cual hay que conocer que variables y aspectos de los recursos forestales son relevantes para esa cuantificación.
- *aprovechamientos forestales y selvicultura*. Los trabajos culturales y los aprovechamientos son una fuente estimable de datos para elaborar tarifas, tablas de producción y tablas dinerarias que permiten evaluar los recursos que genera el monte. Pero los aprovechamientos y la selvicultura también se apoyan en el inventario, porque se justifican en el conocimiento de las estructuras, existencias y posibilidades a través del inventario forestal.
- *ordenación*. La ordenación de los montes es una forma de administración y no hay forma de administrar sin inventario, que es el que justifica el objetivo, el procedimiento para lograrlo y el que permite conocer el grado de cumplimiento del mismo.

## **2. Tipos de inventarios**

La intensidad y detalle en el inventario dependen de los objetivos perseguidos en el mismo, pudiéndose clasificar los inventarios de la forma que sigue, en orden creciente de precisión y decreciente en cuanto a ámbito de aplicación:

### **2.1. Primer nivel: Inventarios estratégicos**

Son inventarios destinados a presentar estadísticas sobre recursos forestales de regiones

extensas, con objeto de diseñar políticas forestales, en aquellos países donde existe política forestal, naturalmente. Estos inventarios pueden desplegarse en subniveles, desde provinciales a transnacionales (se incluyen aquí los inventarios forestales nacionales). En cualquier subnivel de planificación es necesario un diseño de inventario específico por lo que el inventario y la planificación debieran ir unidos, si bien conviene que vayan separados porque el inventario sirve para controlar los resultados de la planificación (NILSSON, 1991).

## **2.2. Segundo nivel: Inventarios tácticos**

Son inventarios encaminados a la ordenación de montes y se pueden dar en dos subniveles:

- inventarios comarcales o de grupo de montes
- inventarios de monte.

Es deseable que los inventarios a escala monte se adapten a los inventarios nacionales para que las políticas nacionales o estrategias de empresa puedan traducirse en planes operativos, como se hace en algunos países muy desarrollados en el ámbito forestal (JANZ, SINGH, 1991).

## **2.3. Tercer nivel: Inventarios operacionales**

Son inventarios encaminados a la realización de:

- aprovechamientos
- investigación forestal (parcelas de experimentación)
- valoración (inventario para ventas de productos o terrenos forestales).

En el punto siguiente, se comprueba que históricamente el inventario forestal se ha aplicado a objetivos del tercer nivel u operacionales, ante la necesidad de conocer las existencias realizables con vistas a su aprovechamiento más o menos inmediato. Esta concepción plantea un enfoque reduccionista del inventario, que lo convierte en:

- *cuantitativo*. Se orienta principalmente al conteo de los árboles y la estimación de parámetros dasométricos como diámetro normal, altura maderable, diámetro de copa, etc. con los cuales se obtiene información derivada (volumen, calidad de la madera, estructura de la masa, etc.), aplicable con fines comerciales y para conocer el funcionamiento de los bosques.
- *estático*. El inventario solo presenta una relación detallada de las existencias realizables, tanto en composición como en cuantía, sin estimar las variaciones previsibles en la producción del monte.

Nos centraremos en lo sucesivo en este tipo de inventarios, cuantitativos y estáticos, por ser los más indicados como criterios de decisión en los aprovechamientos forestales.

### 3. Avances en el inventario forestal

Como ya se ha dicho, el Inventario Forestal forma parte de la Dasonetría. Esta ciencia nace del problema técnico de dar valor al volumen de los árboles, las masas y los productos forestales. La escasez de madera en Europa en el siglo XVII, motivada por su empleo creciente en la industria naval y metalúrgica, llevó a la necesidad de conocer las existencias, sobre todo de leñas, en los montes próximos a las ciudades. En montes de estructura sencilla la determinación de existencias se hacía visualmente, sobre unidades de inventario, controlándose la estimación por corta de áreas de muestra.

La expansión industrial europea de los siglos XVIII y XIX empezó a valorar la producción forestal más como madera que como combustible. Por tanto, la estimación visual del volumen resultaba ya insuficiente puesto que había que distinguir existencias de diferentes productos madereros según calidades y tamaños. Aumentaron así las necesidades de información procedentes del inventario: composición por especies, clases de edad, existencias, etc. En general, se abandonó la estimación visual, siendo sustituida por métodos más precisos de medición de existencias, basados en la medida del árbol individual (RIESCO, 1995).

En general, los inventarios forestales se clasifican como inventarios pie a pie (inventarios 100 %) o inventarios por muestreo. En los primeros todos los árboles de la masa forestal son objeto de alguna medición individual sencilla, generalmente el diámetro normal, y se utilizan cuando se necesita gran precisión en los resultados (PITA, 1973).

La posibilidad de reducir costes movió al uso ocasional de técnicas de muestreo, ya en el siglo XIX, en la estimación de existencias de masas homogéneas. De hecho, el inventario sistemático por fajas ya se aplicaba el siglo pasado en los países escandinavos y actualmente se continúa empleando en inventarios tropicales. No obstante, el uso generalizado de los inventarios con técnicas de muestreo es bastante reciente. Hasta hace treinta años el inventario de recursos maderables por conteo pie a pie era la regla general, a escala monte o grupo de montes.

En los inventarios por muestreo solo son objeto de medida algunos pies concretos, cuya selección se realiza siguiendo diversos criterios llamados diseños de muestreo. El inventario por muestreo se basa en que una muestra representativa del recurso forestal en estudio permite inferir las características de la población completa. Las técnicas para obtener muestras representativas y construir estimaciones a partir de ellas se basan en la teoría del muestreo estadístico.

El inventario por muestreo ofrece datos con un nivel de error que se puede acotar estadísticamente, siendo éste tanto más reducido cuanto más intenso sea el muestreo. La determinación previa del error de muestreo admisible sirve para seleccionar el diseño de muestreo más adecuado. En efecto, en el muestreo se busca un equilibrio entre coste y precisión, tratando de fijar el coste para alcanzar la máxima precisión o fijar la precisión para alcanzar el mínimo coste.

El muestreo es necesario cuando la medición es destructiva, como sucede en el apeo de árboles tipo.

A partir de la Segunda Guerra Mundial los países industrializados se vuelven menos dependientes de la madera y más de otros recursos, por lo que surgen nuevas necesidades de

información y nuevos avances en el ámbito de la instrumentación dasométrica, en el estudio del árbol completo, etc. (JANZ, SINGH, 1991).

Asimismo, se empezó a dar un valor para la media muestral con un intervalo de confianza dependiente de la desviación típica.

El estudio de la correlación desplazó a los métodos de ajuste gráfico y supuso un gran avance en las herramientas auxiliares del Inventario Forestal como son las tarifas de cubicación y las tablas de producción, cuyo uso se ha generalizado, así como las aplicaciones informáticas en proceso de datos, en modelos complejos y en simulación.

Las primeras tablas de producción que se elaboran en España mediante relaciones matemáticas (relaciones fundamentales) y no con ajustes gráficos o tanteos son las publicadas por Pita para *Eucalyptus globulus* del norte de España en 1966.

Las tablas de producción son una ayuda al inventario puesto que tienen las siguientes utilidades:

- clasificación de las unidades últimas de inventario según clases de calidad, para su agregación a otras equiproductivas
- estimación rápida de volúmenes de una masa, conocidas su edad, calidad y área basimétrica. Sirve para hacer comparaciones pero nunca para sustituir al inventario.

Frente al inventario por muestreo o el inventario pie a pie aparece recientemente el inventario tipológico (AUBRY *et al*, 1990). Es un método de descripción de existencias forestales y crecimientos por establecimiento de analogías visuales-cuantitativas entre la masa forestal a inventariar y la estructura forestal más semejante entre un conjunto de estructuras elementales establecidas para la región de que se trate. Ofrece gran rapidez en la toma y proceso de datos, con una aproximación en los resultados que puede ser suficiente en muchas aplicaciones.

El Inventario Forestal es una disciplina que evoluciona y crece constantemente, perfeccionando técnicas y procedimientos aunque los principios básicos permanezcan sin variación.

Se ha avanzado en la construcción y empleo de modelos, como las tablas de producción, técnicas de simulación informatizada, adaptación de instrumental de otras ciencias y en los medios y métodos de enseñanza.

En general, la aplicación de la Ciencia Forestal no se ha producido en los países en desarrollo, comparando con los países de las zonas templadas y boreales. En aquellos se ha investigado para organizar y facilitar los aprovechamientos, sin aprovechar la abundante información que generaban las actividades forestales con vistas a un aprovechamiento sostenido. El objetivo productor en la gestión de los bosques se refleja en las técnicas de inventario, muy centradas en la estimación de existencias maderables de las especies de interés y muy vinculadas a la industria y al aprovechamiento forestal ya desde la fase de planificación del inventario (FRISK *et al*, 1992).

En definitiva, el ámbito propio del inventario forestal depende de las necesidades que tiene cada sociedad, que en cada momento histórico da más importancia a unas producciones que a otras. En el momento actual, el crecimiento demográfico, la progresiva urbanización, la escasez de materias primas, la degradación ambiental y la evolución de la ciencia y de la sociedad hacen que el monte sea fuente de más bienes y servicios cada vez, lo que hace que el inventario tenga una amplitud de miras, importancia y complejidad mucho mayor que hace unos años.

Los cambios en el entorno del sector forestal que afectan al inventario son:

- *aumento del ámbito territorial objeto de inventario.* Cada vez es más necesario salir del ámbito administrativo de cada monte, aislado del contexto comarcal o regional, y considerar la gestión forestal como parte de la ordenación del territorio y de la planificación física con base ecológica
- *mayor número de tipos de montes inventariables.* Los montes adehesados, los cultivos forestales, los espacios protegidos, los montes no arbolados o con arbolado de porte arbustivo, etc. tienen una importancia superficial, ecológica y económica muy grande
- *modificación de las prioridades en la demanda de bienes y servicios del monte.* Por ejemplo, en algunos países los aspectos ambientales están tomando importancia creciente sobre los aspectos tecnológicos en el manejo de los recursos forestales
- *mayor amplitud de los aspectos que interesan del monte.* El paso de la producción única a la producción múltiple (incluyendo las externalidades y productos no comerciales como el propio ecosistema) exige el análisis cuantitativo del medio dado que la aproximación cualitativa al problema no lo resuelve.

Se consideran hoy objeto de inventario todas las producciones del monte, que son de naturaleza conjunta e interdependiente:

- *producción primaria*
  - directa                      madera
  - intermedia                leñas y maderas de pequeñas dimensiones
  - mediata                    cortezas, resinas, frutos
- *producción secundaria*
  - cinegética                piezas de caza
  - piscícola                 peces pescables
  - ganadera                 cabezas de ganado
  - mineral                    gravas, arenas, cantería
- *producción terciaria*
  - defensa contra la erosión hídrica, eólica y nival
  - recarga de acuíferos
  - depuración del aire y del agua
  - regulación del flujo de agua y nutrientes
  - reserva genética
  - producción paisajística, recreativa, científica, didáctica, social, etc.

#### **4. Fases del inventario de existencias**

El inventario forestal se estructura en las siguientes fases:

- *justificación*
- *definición de objetivos*
- *reconocimiento del monte y su entorno*
- *diseño del inventario de existencias*
- *ejecución del inventario y elaboración de resultados.*

Con los resultados del inventario se procede a definir los objetivos para el aprovechamiento que se pretende realizar en función de unos recursos disponibles.

El inventario vuelve a aparecer cuando se pretende *medir los resultados* para evaluar la eficacia de la intervención realizada (CAMP, DAUGHERTY, 1991).

##### **4.1. Justificación del inventario**

La condición sistémica de los montes arbolados, la diversidad de utilidades que ofertan y las implicaciones económicas y sociales de su gestión obligan a que la necesaria toma de datos sea complicada y rigurosa. El inventario, por tanto, se convierte en un trabajo complejo que requiere trabajo en equipo con personal experto y abundante material auxiliar. Antes de emprenderlo hay que estudiar su oportunidad y utilidad futura, justificando razonadamente la necesidad del inventario e indicando los organismos o personas interesadas en la información resultante (MADRIGAL, 1994; VILLANUEVA, 1991).

##### **4.2. Definición de objetivos**

Se avanzan en esta fase los objetivos provisionales del inventario, por el momento poco detallados.

El objetivo del inventario determina su diseño. Por tanto, antes de planificar el inventario hay que saber qué resultados queremos conocer. En general, si alguien tiene que tomar una decisión sobre un asunto lo primero que debe hacer es recabar la información disponible al respecto. Cuando la información necesaria es difícil de obtener es un especialista el que se encarga de conseguirla. Para ello, lo primero que tiene que saber es qué información necesita el agente que decide, lo cual no siempre es fácil de averiguar.

Los objetivos del inventario pueden ser muy variables por lo que no hay un diseño único estable y adecuado. Pueden ser necesarios varios inventarios sobre la misma masa para atender a objetivos diferentes. Por ejemplo, a una industria forestal le interesa un muestreo intenso pero midiendo pocas variables puesto que lo que necesita conocer del monte es la cantidad que alberga de un recurso concreto que usa como materia prima, como puede ser la cantidad de madera disponible para trituración en toneladas. Por otra parte, a una entidad pública le interesa un muestreo menos intenso pero en el que se midan más variables, puesto que la administración pública representa los intereses de toda la sociedad y debe conocer en cierta medida todas las

facetas del medio forestal.

Otro ejemplo es el de las regiones con grandes recursos poco explotados, en las que se tiende a inventarios extensos para elaborar estadísticas con vistas a planes de desarrollo (inventarios del primer nivel). Por el contrario, en regiones como Europa, con montes muy explotados, los inventarios son muy intensivos y con vistas al aprovechamiento ordenado (2° y 3° nivel).

Las necesidades de información son distintas en cada caso, por lo que la metodología a emplear es diferente, influyendo también en la misma los medios disponibles.

El nivel de detalle que se exija a la información procedente del inventario marcará la intensidad del mismo.

### **4.3. Reconocimiento del monte y su entorno**

Se ofrece una descripción de la zona con la extensión aproximada de sus diversas partes. Se procede a recopilar la información relevante que exista sobre el monte y su entorno:

- estado legal (aspectos jurídicos y administrativos)
- estado natural (características del medio físico y biológico, incluyendo las intervenciones humanas, que repercuten a corto plazo sobre la masa)
- estado socio-económico (control de las inversiones efectuadas y de los ingresos procedentes del recurso forestal, si los hubiera, y análisis de los factores externos de importancia, como la infraestructura viaria del monte, que repercute directamente en el coste del inventario).

### **4.4. Diseño del inventario**

El análisis del recurso forestal, junto con su medio natural y su entorno económico y humano, permite evaluar todos los valores, potencialidades y limitaciones del recurso forestal en estudio.

En efecto, en un inventario es importante conocer no solo las existencias sino la *potencialidad productiva* del sistema forestal, es decir, hay que saber lo que el monte puede dar de sí para un recurso forestal concreto o para una combinación de varios recursos. Para ello se estima la calidad de la estación, que indica la capacidad productiva de un área forestal específica para una especie determinada. La medida de esa capacidad productiva es el índice de sitio, definido como altura promedio de los árboles dominantes y codominantes a una edad índice determinada.

En función de la información disponible a priori, ya recabada en el punto 4.3. (visitas iniciales de reconocimiento, mapas, fotos, experiencia anterior en logística, datos de costes, medios disponibles, etc.) se elige el tamaño de las unidades de muestreo, el número de unidades, el criterio de selección de las mismas dentro de la población, el porcentaje de muestreo, los aparatos necesarios para las mediciones, las fórmulas de cálculo de existencias, los



procedimientos de cálculo y otros parámetros de interés (EK, 1991).

Dependiendo de la información que se vaya buscando con el inventario se decidirá qué variables van a ser objeto de medida directa (diámetro, altura, etc.), en qué rango de valores va a efectuarse las mediciones y el error admisible para las mismas.

Se debe determinar qué variables conviene calcular a partir de las anteriores (volumen total con corteza, volumen maderable, volumen para trituración, toneladas para trituración, volumen de leñas, área basimétrica, número de pies por hectárea, volumen del pie de medio, coeficiente mórfico, porcentaje de corteza, etc.) y que parámetros complementarios interesa estimar (pedregosidad, erosión, regeneración, etc.), con los intervalos en los que interesen dichas variables.

Mediante relaciones matemáticas válidas para la zona del inventario (tarifas de cubicación o de ordenación) se estima la variable de interés para cada árbol o masa tomando como variable de entrada la variable individual que se midió en cada pie de la muestra o de la población completa. También se puede realizar la medición directa sobre el árbol de la variable de interés, procedimiento más costoso pero más preciso.

Las *tarifas* a emplear en el inventario se pueden obtener de la bibliografía especializada o se pueden construir ex profeso para el inventario que se esté realizando, mediante técnicas de regresión. La regresión debe basarse en datos representativos de un plan de muestreo insesgado, amparado en la hipótesis biológica de que las variables están correlacionadas. La alta correlación entre dos variables no significa una relación de causa-efecto entre las mismas, ya que puede existir una tercera variable que influya sobre ambas y que no haya sido considerada (AVERY, BURKHART, 1983).

Los datos de cada árbol individual se acumulan para todos los pies de la masa y se presentan para el total de la población o por unidad de superficie muestreada.

Veamos algunos ejemplos de variables medidas y variables calculadas.

En un inventario usual de *recursos maderables* interesará conocer el diámetro normal, la altura maderable mejor que la altura total, el espesor de corteza, la calidad de los fustes, etc. para estimar la cantidad de madera aprovechable (metros cúbicos totales, toneladas totales o cantidades de cada calidad de producto) y también se mide la densidad de la red de vías de saca, la pendiente del terreno, etc. para estimar el coste del aprovechamiento (coste total o por metro cúbico o por tonelada).

En un inventario de *fauna terrestre* se realizarán censos para registrar número de avistamientos o capturas, número de restos detectados, etc. con los que obtener densidades absolutas (número de individuos por unidad de superficie) o relativas (índices de abundancia). Estos inventarios precisan también análisis del medio, dada la estrecha relación entre fauna y tipo de hábitat. Los métodos estadísticos de muestreo son análogos a los utilizados para recursos maderables (EK, 1991).

Cuando el objeto es analizar el posible *uso recreativo* del monte, el inventario nos dice que áreas tienen la mayor aptitud recreativa para destinarlas a esa función, dentro de una

ordenación multiobjetivo (BECKER, JUBENVILLE, 1991).

En el inventario de *poblaciones piscícolas* se suele medir en cada ejemplar muestreado el peso, la longitud y la edad, con objeto de obtener diversos parámetros demográficos (densidad, biomasa, estructura de edades, etc.).

En *pinares en resinación* interesa conocer en qué momento de la vida del árbol se inicia la resinación y durante cuántas campañas se le puede seguir resinando. Para ello, se cuenta en cada fuste o en una muestra el número de caras abiertas y el diámetro a tres metros de altura (máxima longitud de una cara), para establecer el coeficiente de decrecimiento métrico del diámetro con la altura, el diámetro mínimo de apertura y la anchura de la cara.

En *alcornocales* interesa conocer las existencias de corcho en toneladas métricas y en quintales castellanos, la superficie de descorche, el coeficiente de descorche, el área basimétrica, la relación de corcho a leñas en función de la edad y la espesura. Para ello se mide el diámetro inferior y superior de descorche en cruz, la longitud, diámetro y número de ramas descorchadas, la altura de descorche, el número de pies a descorchar por primera vez, la edad y calidad del corcho, la altura dominante, la composición del estrato arbustivo, etc.

En el aprovechamiento de *pastizales* interesa conocer la superficie forestal que se puede destinar a pasto y la aptitud piscícola de la misma, para determinar la capacidad de carga ganadera-cinegética de la masa forestal. Para ello se miden calidades de estación, espesura de la cubierta arbórea y la abundancia de matorral (RIESCO, AMURRIO, 1995).

Elegidas las variables se diseñan los estadillos de campo, para lo cual es útil basarse en experiencias anteriores con inventarios del mismo tipo. Los estadillos deben diseñarse para que puedan ser volcados fácilmente al ordenador (MORO, 1969), eligiendo en lo posible la forma de volcado que resulte menos gravosa para el inventario y donde se minimicen los posibles errores de grabación.

Acompañarán a los estadillos instrucciones escritas sobre el protocolo de toma de datos de campo.

En el diseño de inventario se establece asimismo qué superficies hay que medir y con qué precisión. No se puede excusar la medición de la tierra, porque, como afirma Ek (1991) “En cierto sentido, los árboles no son más que atributos transitorios de una base territorial”.

Hasta finales de los años 60 los inventarios de recursos madereros se acompañaban del levantamiento topográfico de las superficies, procedimiento que se abandonó para dejar paso a la restitución fotogramétrica a partir de fotografía aérea.

Conviene fijar una precisión adecuada para la medición de superficies puesto que el error cometido en la estimación de las existencias totales depende tanto de la precisión en la medida de las existencias por unidad de superficie de muestreo como de la precisión en la medida de dichas superficies, por el fenómeno de expansión del error.

En el diseño también se establece a qué nivel hay que presentar la información: monte, cuartel, clase diamétrica, especie, etc. Por ejemplo, en un proyecto de ordenación las mediciones

se refieren a cantones y monte. En una revisión se refieren a tramos, cuarteles y monte.

La división inventarial se hace en cuarteles, cantones y rodales. Los cuarteles de inventario son cuarteles provisionales (MADRIGAL, 1994).

Se decide la precisión (error admisible y nivel de probabilidad) de los resultados y a qué escala territorial y a qué variable se refiere la misma.

Se decide el formato de presentación de resultados (mapas, diagramas, tablas, cuadros, informes, etc.), que debe ser en lo posible directamente encuadernable con el resto del proyecto (MORO, 1969).

Se describen de forma detallada todos los procedimientos de cálculo, desde los estadillos de campo a los documentos finales.

#### **4.5. Ejecución del inventario y elaboración de resultados**

Se elige el número de personas para ejecutar los trabajos y los cometidos de cada una, indicando el tiempo de actuación de cada individuo y los costes en que se incurre. Se estima el material a comprar o alquilar.

El coste de los medios de transporte y otras necesidades de desplazamiento va a ser un capítulo muy importante del presupuesto, habiendo gran diferencia en la práctica del inventario en función de la red de caminos (EK, 1991).

Se indica asimismo el coste del tratamiento de datos y de la publicación de resultados.

La confrontación de la estimación de los costes con los recursos disponibles para efectuar los trabajos llevará a:

- seleccionar informaciones preferentes de entre todas las posibles
- abandonar técnicas demasiado caras
- renunciar a precisiones excesivas cuando las disponibilidades de fondos obliguen a ello.

Después de dicho “recorte” se procede a elaborar el presupuesto definitivo y detallado, además del diagrama de desarrollo del proyecto, con los plazos de entrega intermedios y final de los resultados.

Finalmente se elabora un plan de control de la calidad de los trabajos, en el que se incluirán: validaciones de datos antes y después de los cálculos, duplicación de parte de las tareas de campo para su control, inspecciones, etc.

### **5. Tecnologías aplicadas al Inventario Forestal**

Los adelantos en la Ciencia Forestal son en parte resultado específico de la investigación forestal y en parte son aplicación o adaptación de los progresos logrados en otras ciencias

(KAUFERT, 1969).

Hubo que esperar al desarrollo de la matemática y de la biología durante el siglo XVII y XVIII, para conseguir en el XIX los métodos técnicos de los que surge el inventario forestal como disciplina que integra otras varias para conocer el estado forestal de un territorio.

El Inventario Forestal se segrega como rama específica de la Dasometría, debido a los avances alcanzados en varias disciplinas de las que hace uso el inventario: el muestreo estadístico, la cartografía, el tratamiento informático de datos y la Teledetección.

La estadística y la cartografía sirvieron para controlar la precisión y abaratar los costes del inventario. A partir de los años 40, además las técnicas informáticas y la Teledetección permiten ampliar las dimensiones de los proyectos que se emprenden y diversificar los campos objeto de estudio (VILLANUEVA, 1991).

La *Teledetección*. Es un gran avance técnico que se inició en Alemania en los años veinte y que resulta imprescindible en cualquier inventario forestal detallado. Se define como la identificación y estudio de objetos a distancia usando energía electromagnética reflejada o emitida. Dentro de la Teledetección, la *fotointerpretación* o Teledetección aérea trata de identificar los diferentes objetos que aparecen en fotografías aéreas. La Teledetección espacial se ocupa de las imágenes obtenidas desde satélites.

La fotointerpretación en el inventario forestal tiene la ventaja de que aporta mucha información en poco tiempo y a bajo coste. Constituye una gran ayuda en la fase de reconocimiento o de planificación previa del inventario puesto que:

- identifica el territorio objeto de estudio
- da una visión de conjunto del territorio inventariado dadas las grandes extensiones abarcadas por las fotografías (se encuentran fotografías aéreas desde escala 1:1000 a 1:900000)
- sirve para definir estratos (al menos el primer nivel de estratificación que es arbolado/no arbolado)
- ayuda a localizar las parcelas de muestreo sobre el terreno
- establece niveles de accesibilidad.

Actualmente se tiende a reducir los trabajos de muestreo de campo (parcelas más pequeñas y mediciones más cuidadosas) y a buscar más apoyo en las fotografías aéreas y otras imágenes que ofrece la Teledetección. Esto es importante en masas poco accesibles, como las tropicales. La fotointerpretación requiere de expertos en el manejo de los sistemas y que además conozcan las técnicas de inventario sobre el terreno, dado que las fotografías deben combinarse con procedimientos terrestres de toma de muestras.

La fotointerpretación presenta limitaciones en su uso para la medición de variables dasométricas y para la cubicación precisa de árboles y masas (tarifas de cubicación aérea) debido a la baja resolución de los detalles, la dificultad para identificar especies, edades y tamaños (MOLINA, 1991).

La cartografía se combina con la teledetección para dividir el monte en zonas (estratos)

en función de la especie que lo puebla, del tamaño y de la espesura. Son especialmente útiles las ortoimágenes aéreas puesto que su resolución y falta de distorsiones permiten planimetrar los estratos. Una vez que se tiene el monte dividido en zonas de superficie conocida se estima el número de parcelas a medir, para lo que conviene que la intensidad de muestreo sea diferente en cada estrato, inventariándose más detalladamente aquellas zonas con mayores existencias.

Cada vez se miden más variables, en parte debido a que cada vez el monte sirve para más actividades. Por ello, se hace necesario el uso de los ordenadores personales para analizar la información creciente procedente de los inventarios.

El espectacular incremento en la utilización de los equipos informáticos se debe a:

- la caída de los precios
- el aumento de la capacidad de almacenamiento
- el aumento de la potencia de cálculo
- la fiabilidad de los equipos y programas
- la facilidad de acceso a la información.

Los ordenadores contribuyen a tratar con rapidez y precisión la gran cantidad de datos procedentes de los inventarios, sobre todo de los inventarios por muestreo (que incluyen cálculos de correlación múltiple). Los microordenadores hacen más comprensibles los resultados mediante salidas gráficas, ponen el tratamiento de datos al alcance de la mayoría de los técnicos, suponen menos coste de proceso de datos y permiten emplear técnicas estadísticas potentes (JANZ, SINGH, 1991).

Para atender a las nuevas necesidades de información, las aplicaciones informáticas que gestionan los bancos de datos procedentes de los inventarios forestales pueden contar con el soporte espacial que proporcionan los sistemas de información geográfica (SIG). El inventario forestal tiene el contexto de un territorio y el SIG permite establecer relaciones entre entidades cartográficas y un gran número de datos o atributos alfanuméricos. Esencialmente, un SIG es una base de datos que relaciona un elemento espacial con diferentes datos y que graba, manipula y presenta dichos datos (MARTINEZ MILLAN *et al.*, 1993). Los SIG aportan la cartografía del espacio inventariado de forma ventajosa puesto que ofrecen:

- facilidad de actualización de los datos de inventario (infraestructuras, cambios de propiedad, incendios, etc.)
- precisión en la delimitación y cálculo de superficies
- combinación automatizada de diferentes mapas temáticos (existencias, división dasocrática, tarifas).

Los SIG se combinan con fotografías aéreas, imágenes satélite, imágenes radar, vídeo o cartografía convencional para extraer informaciones integradas en forma de gráficos o mapas (cartografía automática), permitiendo la interpretación visual y computarizada de los mismos. Aumentan y mejoran las tecnologías para el volcado de datos a SIG, que consiste en pasar de las fuentes de información (fotografías, mapas, etc.) a los datos compilados y actualizados.

## 6. Bibliografía

AUBRY, S.; BRUCIAMACCHIE, M.; DRUELLE, P. 1990. L'inventaire typologique: un outil performant pour l'elaboration des aménagements ou plans simples de gestion. *Revue Forestiere Francaise*, 42(4).

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. 1983. *Forest Measurements*. (3<sup>rd</sup>. ed.). McGraw Hill Book Co., New York.

BECKER, R. A.; JUBENVILLE, A. 1991. Recreación forestal. En: R. A. Young. *Introducción a las ciencias forestales*. Noriega-Limusa, Méjico.

CAMP, W. G.; DAUGHERTY, T. B. 1991. *Managing our natural resources* (2<sup>nd</sup>. ed.). Delmar Publishers Inc., New York.

EK, A. 1991. Medición del bosque. En: R. A. Young. *Introducción a las ciencias forestales*. Noriega-Limusa, Méjico.

FRISK, T.; DANCE, J.; NOVOA, L. 1992. Planificación y ejecución de inventarios para el abastecimiento oportuno y económico de las industrias forestales. FAO, Doc. n° 5, Perú.

JANZ, K.; SINGH, K. D. 1991. Evaluación de los recursos forestales y seguimiento de su evolución. *Actas del 10° Congreso Forestal Mundial*. París.

KAUFERT, F. H. 1969. Enseñanza forestal superior e investigaciones forestales. *Montes*, 147.

MADRIGAL, A. 1994. *Ordenación de montes arbolados*. MAPA, Madrid.

MARTINEZ MILLAN, F. J.; MADRIGAL COLLAZO, A.; CABALLERO VALERO, D. 1993. *Sistemas de gestión de espacios naturales*. *Actas del I Congreso Forestal Español Lourizán 93*, Pontevedra.

MOLINA, L. C. 1991. La teledetección como instrumento para inventariar y evaluar los recursos forestales. *Actas del 10° Congreso Forestal Mundial*. París.

MORO SERRANO, J. 1969. Mecanización del cálculo de los inventarios forestales con enumeración completa de los árboles. *Montes*, 150.

NILSSON, N. E. 1991. Adaptation of national and subnational forest inventories to future needs. *Actas del 10° Congreso Forestal Mundial*. París.

PITA CARPENTER, P. A. 1973. *El Inventario en la Ordenación de Montes*. Ministerio de Agricultura-INIA. Madrid.

RIESCO MUÑOZ, G. 1995. *Proyecto Docente*. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.

RIESCO MUÑOZ, G.; AMURRIO ORDOÑEZ, M. 1995. *Ordenación de recursos forestales no*

madereros: resinas, corcho, pastos y pesca fluvial. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.

VILLANUEVA ARANGUREN, J. A. 1991. El inventario forestal, una valiosa técnica para el mejor uso, conservación y disfrute de la naturaleza. Montes, 24.