

Monitoreo de áreas, especies y poblaciones para evaluar la efectividad de las acciones de manejo y conservación

Introducción: vigilancia y monitoreo

El monitoreo, si no se hace meramente por interés científico, tiene como fin recopilar información útil para desarrollar una política de conservación, evaluar los resultados de la gestión y guiar las decisiones de manejo (Kull et al. 2008).

El monitoreo es una actividad importante en la conservación de la biodiversidad y en la biología de la conservación (Marsh y Trenham 2008), y se ha descrito como la pieza central de la conservación de la naturaleza en todo el planeta (Schmeller 2008). Sin embargo, frecuentemente se observa que muchos programas de monitoreo no tienen una base ecológica sólida, están mal diseñados, no conducen a intervenciones de manejo o respuestas y están desconectados del proceso de toma de decisiones. El monitoreo también puede ser difícil y costoso de implementar (Danielsen *et al.* 2009), por lo cual se le asigna poca prioridad; de ahí que los programas de monitoreo muchas veces no cuenten con la financiación adecuada o se implementen mal.

El monitoreo básicamente consiste en hacer observaciones confiables en la naturaleza para detectar, medir, evaluar y sacar conclusiones sobre cambios que ocurren en las especies y ecosistemas en el tiempo y el espacio, de manera natural o como consecuencia de intervenciones humanas deliberadas o involuntarias. Se aplica de muchas maneras –para averiguar el estado de las especies amenazadas, la dispersión de las especies invasoras, la salud de los ecosistemas, la efectividad de las áreas protegidas y otras acciones de conservación, y para evaluar el estado y las principales tendencias de la biodiversidad mediante indicadores y ejercicios de monitoreo en escala nacional, regional y mundial. El libro de Noon (2003) hace una revisión útil de los temas relacionados con el monitoreo ecológico.

El monitoreo se hace a diferentes escalas, desde el nivel de poblaciones e individuos hasta de toda la biosfera. El CDB, agencias de las Naciones Unidas (como FAO y el PNUMA), organizaciones internacionales no gubernamentales (OING) —como el GCIAI y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)— y organizaciones no gubernamentales (ONG) —como la UICN, el WWF y el WRI— se encargan del monitoreo en escala mundial. El monitoreo también se ejecuta en escala regional (como el que hace la Comunidad Europea) y en escala nacional y local.

En su Artículo 7 sobre Identificación y Monitoreo, el CDB propone las siguientes acciones:

- identificar ecosistemas, especies y genomas importantes para la conservación y el uso sostenible
- monitorear los componentes identificados para determinar prioridades
- identificar y monitorear actividades que pueden ser dañinas a la biodiversidad
- mantener y organizar la información obtenida de las actividades anteriores.

El TIRFGAA en cambio, no menciona el monitoreo de la biodiversidad o de la agrobiodiversidad, aunque es evidentemente un componente importante de las acciones necesarias para mantener dicha biodiversidad y usarla de manera sostenible (ver Recuadro 13.1). Schröder *et al.* (2007) hacen un resumen de la información recopilada mediante el monitoreo de la agrobiodiversidad en Europa; los autores observan que una condición preliminar importante de los indicadores de la agrobiodiversidad es la documentación de los recursos genéticos en los inventarios nacionales e internacionales.

Recuadro 13.1 Monitoreo de la agrobiodiversidad

El monitoreo de la agrobiodiversidad tiene dos tareas: documentar la pérdida de agrobiodiversidad tan pronto como sea posible y servir como herramienta de manejo del cumplimiento de objetivos, programas y medidas necesarias para la conservación y el uso sostenible de la agrobiodiversidad. Además, como identifica los resultados de políticas enfocadas en la sostenibilidad, se deben refinar los instrumentos mediante los cuales se ejerce, como encuestas periódicas, indicadores e inventarios.

Fuente: Sistema de Información de Recursos Genéticos (GENRES, de su nombre en alemán, <http://www.genres.de/en/>)

El monitoreo de la biodiversidad es un campo altamente técnico y complejo, cuyos detalles están por fuera del alcance de este manual. El lector puede consultar, sin embargo, varios libros y manuales importantes que se han publicado sobre el tema (ver la sección sobre referencias adicionales al final del capítulo). Una revisión crítica del monitoreo biológico y de los desarrollos recientes se puede consultar en Yoccoz *et al.* (2001).

Elzinga *et al.* (1998) definen el monitoreo como ‘la recopilación y análisis de observaciones o medidas repetitivas para evaluar cambios en las condiciones y el progreso alcanzado en el cumplimiento de un objetivo de manejo’. El término ‘vigilancia’ frecuentemente se usa intercambiamente por ‘monitoreo’ (en francés se usa la palabra ‘*surveillance*’ que quiere decir ‘cuidar’). Los dos términos implican registrar información repetidas veces a través del tiempo. Los términos ‘muestreo’, ‘registro’ y ‘observación’ pueden ser eventos que suceden una sola vez, o hagan parte de un esquema de vigilancia o monitoreo. Hellawell (1991) ofrece una definición más rigurosa: ‘vigilancia intermitente (habitual u ocasional) realizada para determinar el grado de cumplimiento con un estándar predeterminado o el grado de desviación en el cumplimiento de una norma esperada’. En este contexto, de acuerdo con Tucker *et al.* (2005), el estándar puede ser por ejemplo el punto de partida para el mantenimiento de un área o población, o una meta establecida como objetivo, como alcanzar 200 ha de determinado hábitat o 200 individuos en una población.

En términos generales, el monitoreo puede (Tucker *et al.* 2005):

- establecer si se están cumpliendo los estándares
- detectar cambios y generar respuestas si alguno de los cambios no es deseable
- contribuir a diagnosticar las causas del cambio
- evaluar el éxito de las acciones emprendidas para mantener los estándares o para revertir cambios no deseables y, cuando fuere necesario, contribuir a corregirlos.

Se puede distinguir entre dos tipos de monitoreo: *el monitoreo del estado* y *el monitoreo de la efectividad de la estrategia* (Ervin *et al.* 2010). Como lo explican los autores, *el monitoreo del estado* se pregunta, ‘¿Cuál es el estado y la tendencia de la biodiversidad independientemente de nuestras acciones?’ mientras que *el monitoreo de la efectividad de la estrategia* se pregunta ‘¿Están nuestras acciones de conservación logrando los resultados deseados?’ (Consultar a Ervin *et al.* 2010, Recuadro 24). Ambos tipos son importantes en los programas de monitoreo de los PSC.

Cómo establecer el punto de partida

Un tema crítico en el monitoreo y el uso de indicadores es la necesidad de establecer un punto o línea de base a partir del cual iniciar y comparar los datos que se van a coleccionar. Esto implica compilar y revisar la información existente sobre poblaciones, especies, hábitats u otros elementos, procesos o acciones que se vayan a evaluar a través del monitoreo. Esto, en la práctica, es mucho más difícil de lo que pareciera a primera vista. Ya hemos visto cuán incompleto e inadecuado es nuestro conocimiento de muchos aspectos de la biodiversidad que afectan la conservación de los PSC, como la falta de un inventario de las áreas protegidas, las incertidumbres acerca de la distribución geográfica detallada de las especies, la existencia y los patrones de variabilidad genética dentro de las poblaciones, el grado de erosión genética, el grado en el que especies invasoras exóticas afectan los ecosistemas, etc. Las consultas de datos ecogeográficos que se discutieron en detalle en el Capítulo 8 sirven de punto de partida para muchas características que uno quisiera monitorear en un programa de conservación de PSC.

También es importante usar definiciones acordadas de términos clave para que las mediciones puedan ser comparables. Utilizar diferentes valores para definir los parámetros puede tener un impacto significativo. Por ejemplo, cuando la FAO redefinió el término 'bosque' en las Evaluaciones de los Recursos Forestales de 1990 y 2000, y redujo la altura mínima de 7 a 5 m, el área mínima de 1.0 a 0.5 ha y el dosel de la corona de 20% en los países desarrollados y 10% en los países en desarrollo a una cifra generalizada de 10%, los bosques del mundo aumentaron en 300 millones de hectáreas, es decir, 10% aproximadamente. Lo mismo ocurre con las definiciones que los diferentes países puedan tener de lo que constituye un bosque –dependiendo del uso principal de la tierra (en Bolivia), o de la cobertura del bosque (en Chile)– o del umbral de cobertura que se utilice para definir un área como bosque –menos del 10% en Irán y hasta 75% en África del Sur.

Para enfrentar esta disparidad, lo más importante en un programa de monitoreo es asegurar que todos los participantes usen la misma terminología, especialmente cuando muchos actores diferentes están involucrados. Como se discutió en el Capítulo 8, se deben seguir estándares ampliamente acordados como los TDWG. También es esencial tener información taxonómica acertada, como se ha enfatizado en los Capítulos 6 y 8 de este manual.

Se invita al lector a consultar a van der Maarel (2005) y Bonham (1989) sobre muestreo y medición de las características de la vegetación, como estratificación, cobertura, fitomasa e índice de área foliar. Para orientación sobre características estructurales y fisionómicas, como forma de crecimiento,

consultar los siguientes textos: *Objetivos y métodos de la ecología vegetal (Aims and Methods of Vegetation Ecology)* de Mueller-Dombois y Ellenberg (1974); *Descripción y análisis de la vegetación: Un enfoque práctico (Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach)* de Kent y Coker (1995) y el clásico de Dierschke's (1994), *Sociología de las plantas –Fundamentos y métodos (Pflanzensoziologie – Grundlagen und Methoden)*. Para el muestreo de las características de las especies consultar a van der Maarel (2005). El manual, *Técnicas para un censo ecológico (Ecological Census Techniques – A Handbook)*, de Sutherland (2006), contiene información útil sobre diversos aspectos del muestreo y sobre los métodos para censar que se pueden aplicar al monitoreo. El Manual de conservación: *Investigación, manejo y políticas (The Conservation Handbook: Research, Management y Policy)* de Sutherland (2000) contiene información sobre el monitoreo.

Los PSC y el monitoreo: identificación y selección de las variables que se van a medir

La conservación efectiva de los PSC supone emprender diversas actividades, que incluyen monitorear las características clave de una especie y su hábitat, para garantizar que las intervenciones y las acciones de manejo realmente cumplan sus objetivos.

Uno podría, por ejemplo, monitorear lo siguiente:

- cambios en la abundancia de poblaciones y especies, y tendencias en el tamaño y la estructura de las poblaciones para evaluar la salud y viabilidad de éstas, tanto antes como después de cualquier intervención de manejo
- cambios en la diversidad genética
- cantidad de depredadores para evaluar la efectividad de los programas de control
- dispersión o control de especies invasoras para evaluar su impacto en las poblaciones y el hábitat de la(s) especie(s) objetivo, o del área en conjunto
- cambios en la cobertura vegetal o en la condición del suelo, para evaluar el estado del hábitat de los PSC
- efectos de las intervenciones de manejo realizadas dentro del plan de recuperación o de manejo de la(s) especie(s).

La mayoría de los esquemas monitorean tanto la distribución (rango, área), como la composición de especies de los hábitats o ecosistemas objetivo.

Monitoreo de especies y poblaciones

¿En qué consiste?

El *monitoreo de especies y poblaciones* es la observación y el registro habitual de cambios en el estado y las tendencias de las especies o sus poblaciones en un determinado territorio. El principal objetivo de este monitoreo es coleccionar información que se pueda usar para examinar los resultados de las acciones de manejo y guiar las decisiones de la gestión. Ese monitoreo se hace, por lo general, con especies evaluadas como amenazadas para determinar cuándo se requieren acciones de conservación o cuándo intensificar las acciones existentes.

En el caso de los PSC, habrá que monitorear la cantidad de poblaciones, el tamaño poblacional, y la densidad y estructura de las poblaciones, así como las variables demográficas para evaluar su estado de conservación. También habrá que monitorear el impacto en las poblaciones de PSC de las intervenciones de manejo prescritas en el plan de manejo de las especies, para juzgar su efectividad.

Al igual que el monitoreo biológico, los programas de monitoreo de especies y poblaciones son muy variables y diversos en cuanto a escala, cobertura y objetivos. Marsh y Trenham (2008) intentaron detectar tendencias en el monitoreo de poblaciones de plantas y animales, y encontraron señales de diversificación en las metas y estrategias. Si bien algunos enfoques se aplican con más frecuencia, como área ocupada y presencia o ausencia de intervenciones, otros aún no se aplican ampliamente, como el monitoreo basado en los riesgos y la vinculación directa de los resultados del monitoreo a las decisiones de manejo. Por tanto, es importante definir claramente y desde el inicio los objetivos de toda propuesta para el monitoreo de poblaciones (consultar a Yoccoz *et al.* 2001).

Existen muchas técnicas de muestreo y análisis para el monitoreo de especies y poblaciones (ver Capítulo 8). Stork y Samways (1995) hacen una revisión de estas técnicas e Iriondo *et al.* (2008) de las técnicas específicas para los PSC.

¿Qué atributos se deben monitorear?

Los atributos de las especies para los cuales se pueden monitorear las metas incluyen rango, abundancia, demografía, dinámica poblacional y requerimientos del hábitat (Tucker *et al.* 2005):

Cantidad

- presencia o ausencia
- rango
- tamaño poblacional

- frecuencia
- cantidad y densidad
- cobertura

Dinámica poblacional

- reclutamiento
- mortalidad
- migración
- inmigración

Estructura de la población

- edad
- proporción de individuos machos y hembras
- fragmentación o aislamiento
- diversidad genética

Requerimientos del hábitat

Monitoreo demográfico

El monitoreo demográfico es la manera más común de monitorear una población, especialmente de especies raras o amenazadas, y es un enfoque apropiado para los PSC, puesto que mantiene la viabilidad y la variabilidad genética de las poblaciones.

El *monitoreo demográfico* evalúa los cambios en una población y sus causas a lo largo del ciclo de vida de la población. Mide atributos como tasas de germinación y mortalidad, crecimiento, tamaño, densidad y distribución. Se puede usar también para ayudar a establecer los factores que determinan la distribución y abundancia de una especie, y predecir la estructura futura de las poblaciones. El monitoreo demográfico puede requerir mediciones frecuentes o elaboración de mapas si se quiere lograr determinado nivel de resolución (Given 1994). Los principales enfoques demográficos son: (1) análisis de poblaciones y de disponibilidad; (2) investigaciones sobre diferentes edades y clases de estadíos (3) estructura demográfica (Elzinga *et al.* 1998). Los enfoques demográficos del monitoreo son procedimientos costosos que requieren mucho tiempo y, por tanto, no siempre son factibles. Además, un enfoque demográfico puede ser inapropiado en determinadas situaciones: Elzinga *et al.* (1998), por ejemplo, advierten del uso inapropiado del monitoreo demográfico para ciertos tipos de especies, especialmente aquellas con bancos de semilla de larga duración, reproducción vegetativa densa, longevidad muy corta o muy larga, reproducción episódica, morfología de múltiples yemas y de láminas filamentosas, densidad poblacional alta y poblaciones grandes en hábitats heterogéneos (consultar a Elzinga *et al.* 1998, Figura 12.13).

Monitoreo de la diversidad genética: ¿qué es y cuándo se usa?

Como hemos visto, la conservación de los PSC se centra en la diversidad genética encontrada en la especie objetivo como una posible fuente de características que se pueden usar en el fitomejoramiento. Pero, al mismo tiempo, el objetivo a largo plazo de la conservación *in situ* de los PSC es garantizar que se mantenga suficiente variabilidad genética para asegurar la supervivencia de la especie y permitir que continúen los procesos evolutivos, generando así nueva variabilidad que le permita a la especie adaptarse a condiciones cambiantes. La mejor manera de lograr este objetivo es proteger el ambiente y los hábitats en los que ocurren las especies objetivo, y controlar o limitar las amenazas que afectan tanto los hábitats como las especies.

Como hemos visto, el monitoreo de poblaciones puede ser un ejercicio laborioso y costoso. Monitorear la diversidad genética puede ser aún más costoso, especialmente si se utilizan métodos moleculares, por lo cual este enfoque no se emplea ampliamente, ni siquiera se recomienda. Sin embargo, puede haber circunstancias en las cuales es importante monitorear la diversidad genética de PSC de alta prioridad. Como se indicó cuando se discutieron las consultas de datos ecogeográficos, la información sobre la distribución de la variabilidad genética de poblaciones de PSC se tendrá que obtener mediante medidas sustitutivas como los marcadores morfológicos (también 'visibles'), que son caracteres o rasgos fenotípicos (como la forma de las hojas, el color de las flores, el hábito de crecimiento), o mediante marcadores bioquímicos (incluyendo variantes alélicas de isoenzimas detectadas por electroforesis).

Iriondo *et al.* (2008, p. 118–120) discuten las circunstancias en las cuales se indica el monitoreo genético y dan varios ejemplos. Éste, se puede usar específicamente para:

- Evaluar la diversidad genética de una población objetivo en cuanto a cantidad total de genotipos o alelos (riqueza) o frecuencia de diferentes genotipos o alelos (uniformidad). Esta información se puede usar para comparar poblaciones y determinar cuál seleccionar para conservación *in situ*, y para decidir qué poblaciones monitorear para evaluar cambios en la diversidad genética a través del tiempo.
- Estimar flujo de genes entre poblaciones, tendencias en el grado de endogamia dentro de poblaciones y diferenciar entre poblaciones o subpoblaciones.

Programas computarizados para analizar la diversidad genética

Existen varios programas para hacer análisis de diversidad genética. En la Lista alfabética de programas computarizados para el análisis genético

(*An Alphabetic List of Genetic Analysis Software*), mantenida desde 2002 en el Instituto Judío de Investigación de North Shore Long Island, Nueva York, EE.UU (*North Shore Long Island Jewish Research Institute*), se puede encontrar una extensa lista, en orden alfabético, de aproximadamente 500 de estos programas¹.

Marcadores moleculares para el análisis de diversidad genética

Existe un amplio rango de marcadores moleculares para monitorear la diversidad genética, pero como los desarrollos en este campo son rápidos y frecuentes, se invita al lector a buscar las últimas tecnologías en internet. Los marcadores moleculares o de ADN son loci (sitios) en el genoma de un organismo donde la secuencia básica del ADN varía entre los individuos de una población. Estos marcadores no se ven afectados por factores ambientales ni por el estado de desarrollo de la planta y, por tanto, aventajan a los marcadores morfológicos o bioquímicos.

La mayoría de los artículos sobre marcadores moleculares suponen que el lector tiene un buen nivel de conocimiento de fitogenética y biología molecular. Collard *et al.* (2005), sin embargo, hacen una introducción muy útil del concepto de los marcadores (y de su uso en la selección asistida) para quienes sólo tienen un conocimiento básico del tema.

En opinión de varios autores (como Joshi *et al.* 1999; Iriando *et al.* 2008), los marcadores de ADN deberían incluir las siguientes características:

- naturaleza altamente polimórfica
- herencia codominante (determinación de los estados homocigóticos y heterocigóticos de organismos diploides)
- distribución frecuente y uniforme en el genoma
- comportamiento neutro selectivo (puede estar enfocado hacia genes expresados)
- disponibilidad
- facilidad de uso en pruebas rápidas y económicas
- alta facilidad de reproducción, y
- facilidad para intercambiar datos de manera confiable entre laboratorios.

Desafortunadamente, ningún marcador cumple todos estos criterios, aunque algunos, como los SSR, se acercan.

Du *et al.* (2009) comparan cuatro marcadores moleculares: polimorfismo amplificado de las regiones inter-retrotrasposones (IRAP, de su nombre en inglés), polimorfismo amplificado de micro satélites retrotrasposones (REMAP, de su nombre en inglés), polimorfismos amplificados de secuencia específicas (SSAP, de su nombre en inglés) y AFLP, en cuanto a valor

de la información y efectividad, para el análisis genético de *Diospyros* L. (Ebenaceae). Utilizando datos de estudios publicados, Peace *et al.* (2004) comparan marcadores moleculares en cuanto a tipo, cantidad y eficiencia en términos de costos de la información generada, para el análisis genético de *Macadamia*.

Iriondo *et al.* (2008) resumen lo que se debe hacer y no hacer cuando se usan marcadores moleculares:

- Cuando evalúe acciones de conservación *in situ*, no incluya en sus planes el monitoreo genético y molecular de poblaciones como primer paso
- No evalúe ni haga el monitoreo genético de una población con marcadores moleculares sin tener una buena razón, o si no tiene preguntas específicas que quiera responder, y sin antes haber examinado a fondo otras evaluaciones genéticas con información que se aproxime (*proxy*)
- No se obligue, en sus planes, a hacer monitoreo genético secuencial y rutinario de una población
- Haga la evaluación genética de una población con marcadores moleculares como último recurso y para refinar, con el fin de:
 - seleccionar las poblaciones más apropiadas y aptas para conservación *in situ*
 - medir la endogamia y exogamia de una especie en un estudio piloto
 - monitorear poblaciones o situaciones críticas
 - seleccionar entre poblaciones de especies endogámicas candidatas para la conservación
 - seleccionar la 'mejor' población pequeña y aislada para proteger
 - determinar el efecto que una disminución severa en el tamaño real de la población podría tener en la diversidad genética
 - establecer si hay flujo de genes entre poblaciones fragmentadas.

Monitoreo de hábitats

El *monitoreo de hábitats o áreas protegidas* se puede definir como 'la recopilación y análisis de observaciones o mediciones repetitivas para evaluar cambios en las condiciones y progreso en el logro de objetivos de manejo' (Elzinga *et al.* 2001).

El monitoreo de hábitats (a veces conocido como monitoreo del ecosistema) implica hacer registros repetidos de las condiciones de los hábitats o ecosistemas objetivo, para detectar o medir cambios en comparación con un estándar predeterminado, un estado objetivo o un estado previo (Hellawell 1991). Puede incluir el rango y distribución de los tipos de hábitat y el área ocupada, y la composición y abundancia de la especie, la segunda en algunos casos. Puede también dar información sobre el estado de algunos

componentes del hábitat como especies o poblaciones. El monitoreo de hábitats se ha sugerido como un reemplazo eficiente en términos de costos del monitoreo simultáneo de diversas especies (Gottschalk *et al.* 2005).

A continuación se mencionan las características de los hábitats que se pueden monitorear, incluyendo aspectos relacionados con cantidad, estructura, función o dinámica (Tucker *et al.* 2005):

Cantidad

- área
- calidad: atributos físicos
- geológica (por ejemplo, presencia de roca desnuda o turba profunda)
- agua (por ejemplo, presencia de espejos de agua descubiertos o profundidad del nivel freático)

Calidad: composición

- comunidades
- riqueza o diversidad
- especies típicas, clave o indicadoras
- presencia o ausencia
- frecuencia
- cantidad o densidad
- cobertura
- biomasa

Calidad: estructura

- escala entre los hábitats (paisajes) (por ejemplo, fragmentación, mosaicos de hábitats)
- escala dentro del hábitat
- escala macro
- horizontal (por ejemplo, mosaicos de comunidades vegetales)
- vertical (por ejemplo, topografía de la capa de suelo, matorrales o árboles)
- escala micro
- horizontal (por ejemplo, parches de vegetación pequeña y alta)
- vertical (por ejemplo, topografía dentro de la capa)

Calidad: dinámica

- sucesión
- reproducción o regeneración
- cambios cíclicos y dinámica de los parches

Calidad: función

- física y bioquímica (por ejemplo, estabilización del suelo, sumideros de carbono)
- procesos del ecosistema².

El monitoreo de hábitats abarca una amplia variedad de enfoques. La manera tradicional de adquirir información sobre los hábitats es mediante registros en el campo y elaboración de mapas de la vegetación, las comunidades de plantas o los tipos de hábitats. Recientemente se está aplicando la teledetección remota, que emplea interpretaciones asistidas por computador y visualización de imágenes de satélite (Turner *et al.* 2003). En ambos enfoques se puede usar la fotografía aérea.

Desarrollo de un programa de monitoreo

Cualquiera sea el objetivo del monitoreo –de especies, hábitats o políticas– se debe elaborar un programa o estrategia de monitoreo que contenga objetivos; metodología que se va a seguir con cada característica que se vaya a monitorear; estrategia de muestreo, si es del caso; revisión de los recursos y equipos necesarios; revisión de aspectos legales, como licencias que se puedan necesitar; sistema y metodología para registrar y almacenar los datos; proceso para analizar e interpretar los datos; y cronograma.

Es importante garantizar que los programas de monitoreo se diseñen apropiadamente, que se establezca la línea base y se haga un muestreo adecuado; de lo contrario, será difícil detectar las tendencias con precisión. La evidencia indica que muchas de las prácticas actuales están lejos de ser satisfactorias (Yoccoz *et al.* 2001; Noon 2003; Kull *et al.* 2008).

El desarrollo de programas de monitoreo se entiende como un proceso paso a paso (ver, por ejemplo, Elzinga *et al.* 1998; Noon 2003). Noon (2003) lo resume de la siguiente manera:

- especificar metas y objetivos
- caracterizar los factores de estrés en el sistema
- desarrollar modelos conceptuales del sistema
- seleccionar indicadores de monitoreo
- establecer el diseño del muestreo
- definir los criterios de respuesta, y
- vincular los resultados del monitoreo a la toma de decisiones.

Elzinga *et al.* (1998) resumen los pasos necesarios para establecer un programa de monitoreo de poblaciones de plantas (ver Recuadro 13.2). Cada uno de los pasos se puede subdividir; las tareas preliminares incluyen:

- completar y revisar la información existente (ver los Capítulos 6 y 8 de este manual)
- revisar los documentos de planeación de las agencias encargadas del manejo y la conservación para garantizar que el monitoreo esté en

armonía con las metas establecidas por estas agencias

- identificar las especies o poblaciones prioritarias (ver el Capítulo 7 de este manual)
- evaluar los recursos necesarios y disponibles para el monitoreo –respaldo de la gerencia, personal capacitado, equipo apropiado (tanto de baja tecnología, como vehículos e instrumentos de medición, como de alta tecnología, como SIG, GPS e imágenes satelitales)
- determinar la escala de las acciones de monitoreo –qué parte del rango de distribución de las especies o las poblaciones
- determinar la intensidad y frecuencia del monitoreo
- revisar la propuesta con las agencias gestoras y solicitar revisión externa si fuera necesario.

Elzinga *et al.* (1998) describen en detalle las metodologías utilizadas en cada paso del monitoreo de poblaciones, e Iriondo *et al.* (2008: Capítulo 4) las específicas para los PSC.

Recuadro 13.2 Principales pasos de un programa de monitoreo

- 1 Completar las tareas preliminares
- 2 Desarrollar objetivos
- 3 Diseñar e implementar el manejo
- 4 Diseñar la metodología del monitoreo
- 5 Implementar el monitoreo con un estudio piloto
- 6 Implementar y completar el monitoreo
- 7 Reportar y usar los resultados

Fuente: Elzinga et al. 1998

Selección de sitios para el monitoreo

Una decisión clave que tomar es definir las poblaciones de PSC que se van a incluir (cuántas y cuáles), lo que a su vez determina los sitios que se van a seleccionar para el monitoreo. La selección de sitios dependerá de la naturaleza, el patrón y la extensión del hábitat, así como de la cantidad, el tamaño y la distribución de las poblaciones de los PSC objetivo, y de los recursos disponibles para el programa de monitoreo.

Selección de indicadores para las poblaciones y amenazas

Los componentes clave de un plan de manejo de especies de PSC son las acciones propuestas para combatir, mitigar o eliminar los procesos amenazantes. Éstos se habrán identificado durante la etapa de los estudios ecogeográficos (ver Capítulo 8). Monitorear la efectividad de estas acciones de manejo requerirá diseñar indicadores apropiados.

Muestreo

Se puede hacer un censo de la población que se va a monitorear, aunque ésto puede ser imposible o poco práctico en el caso de especies con gran cantidad de individuos. Cuando se requiera información sobre el hábitat o la población en general, pero no resulte práctico hacer todas las mediciones individuales que esto implicaría, se puede usar el muestreo. El muestreo es un mecanismo mediante el cual se selecciona parte del hábitat, de la población o de otra unidad para hacer una evaluación general de su estado, naturaleza o calidad. Elzinga *et al.* (1998) e Iriondo *et al.* (2008, capítulo 8) discuten temas relacionados con el diseño y los objetivos del muestreo; el tamaño de la unidad de muestreo; los parámetros poblacionales, como cantidad de individuos (tamaño poblacional), densidad y cobertura; el número de caracteres de la planta, como las hojas y las flores; y los límites de confiabilidad.

Tiempos y frecuencia del monitoreo

Los resultados dependerán en gran medida de los tiempos y la frecuencia del monitoreo, lo cual dependerá también en parte de la historia de vida de la planta, su fenología, su hábito de crecimiento y la estación cuando se la puede medir con mayor facilidad. La forma de vida también afecta la frecuencia necesaria de monitoreo, al igual que la tasa con la que se presenten los cambios en la población o en el hábitat. Entre más amenazada esté una población, mayor debe ser la frecuencia del monitoreo. Si el momento para hacer el monitoreo no es apropiado a las circunstancias, se puede escapar información valiosa.

Informes

Los informes de monitoreo pueden ser diferentes pero muy probablemente incluirán:

- un resumen ejecutivo
- los antecedentes del proyecto
- mapas, ilustraciones, fotografías o dibujos que muestren los sitios de monitoreo de la línea base
- la metodología de monitoreo empleada y los estándares utilizados
- el equipo utilizado y los detalles de calibración
- los parámetros monitoreados
- los sitios para el monitoreo
- la frecuencia e intensidad del monitoreo
- la fecha, hora, frecuencia y duración
- los resultados del monitoreo
- el análisis, y
- las conclusiones y recomendaciones.

Costos de los programas de monitoreo: participación de las comunidades locales

Como hemos visto, los programas de monitoreo van desde simples estudios de campo hasta procedimientos complejos que pueden ser muy costosos en términos de salarios de personal profesional y materiales o equipos importantes, como localidades para el muestreo permanente, imágenes satelitales, teledetección remota, equipos de cómputo avanzados, y análisis e interpretación de datos. Sin embargo, los presupuestos que los países generalmente asignan a la conservación de la biodiversidad son limitados. Pocas veces es posible emplear profesionales y se debe aprovechar el trabajo voluntario coordinado por expertos. También es importante involucrar a los actores locales.

Se deben hacer todos los esfuerzos posibles para lograr la participación de las comunidades y las organizaciones locales en el monitoreo, puesto que tienen intereses en las áreas y las especies involucradas. Las directrices del CDB para crear un plan de manejo (2008) observan que es más probable que los grupos locales colecten información que ellos puedan analizar y usar para manejar el ecosistema. Esta información se puede complementar con otras actividades de monitoreo. Pero en la práctica, como lo comentan Danielsen *et al.* (2009), 'la mayoría de la literatura sobre métodos de monitoreo de recursos naturales incluye enfoques dirigidos desde afuera, en los que investigadores profesionales externos al área de estudio establecen, ejecutan y analizan los resultados de un programa de monitoreo financiado por una agencia remota'.

Causas del fracaso en el monitoreo

En la práctica, el monitoreo por lo general no logra cumplir las expectativas. Por ejemplo, Kull *et al.* (2008) evaluaron 63 esquemas de monitoreo de plantas de Europa (incluidas en la base de datos DaEuMon), y 33 esquemas encontrados en una búsqueda de literatura, que incluían un total de 354 especies de plantas vasculares, 69 de las cuales aparecen listadas en el Anexo II de la Directiva de Hábitats de la Unión Europea. Los autores encontraron que los actuales esquemas no colectan suficientes datos, especialmente sobre la dinámica del patrón de extensión y distribución de las especies, y concluyen que la calidad y efectividad general de los programas de monitoreo se mejoraría si, en el momento de diseñar el esquema, se planeara la publicación de los datos de monitoreo. Otro aspecto que se debe enfatizar al desarrollar esquemas de monitoreo es la diversidad genética y la integración de diferentes escalas, así como el contexto de diferentes tipos de manejo sostenible.

Elzinga *et al.* (2001) presentan un resumen de las causas más comunes del fracaso del monitoreo, incluyendo razones técnicas como el mal diseño del proyecto, el uso de múltiples observadores o recolectores de datos no confiables, el análisis equivocado de los resultados y problemas institucionales, como la falta de apoyo a los programas de monitoreo o de análisis de datos, y el no lograr los resultados.

Monitoreo de cambio climático

Como lo observan Lepetz *et al.* (2009), *es difícil predecir las respuestas biológicas a largo plazo, puesto que tenemos escaso conocimiento de los intervalos entre determinado efecto y las respuestas relacionadas. Para mostrar y comprender el impacto del cambio climático en la biodiversidad es esencial monitorear individuos, poblaciones y especies durante un período largo, generalmente de varias décadas, puesto que los efectos sólo se pueden detectar después de muchos años.*

Una situación crítica que surgirá a medida que el cambio climático se agudice es la alteración de la dinámica de los hábitats en las áreas protegidas, los patrones de migración de algunas de sus especies e incluso de los PSC objetivo, como se discutirá en el Capítulo 14. Por tanto, el monitoreo podría requerir cambios de hábitat y desplazamiento de poblaciones, temas que se discuten en mayor detalle en el Capítulo 14.

Experiencias de Armenia, Madagascar y Uzbekistán

Armenia

En 2007 se desarrolló un sistema de monitoreo, que luego se evaluó y refinó en 2008, conjuntamente con las autoridades de las áreas protegidas. El sistema se aplicó en la Reserva Estatal de Erebuni para monitorear el estado de las poblaciones de cuatro especies objetivo, parientes silvestres del trigo: *Triticum boeoticum* Boiss., *Triticum urartu* Thum. ex Gandil., *Triticum araraticum* Jakubz. y *Aegilops tauschii* Cosson. Los siguientes factores se seleccionaron para hacer observaciones periódicas y registrar datos:

- clima
- suelos (contaminación)
- perturbaciones naturales e inducidas por los seres humanos
- observaciones tecnológicas
- tamaño poblacional y área ocupada
- plagas y enfermedades
- especies invasoras.

Para cada uno de estos factores se desarrollaron protocolos y formularios de campo. Adicionalmente se desarrolló un programa de cómputo que se puede usar como herramienta independiente para registrar y almacenar los datos del monitoreo. Esta herramienta se desarrolló en Visual Basic 6.0, utilizando MS Access para la base de datos. Los modos de visualización o edición se pueden escoger. Aunque la herramienta fue desarrollada para la Reserva Estatal de Erebuni, se puede adaptar fácilmente a cualquier otra área protegida. Los módulos de observaciones tecnológicas, tamaño poblacional y área ocupada, y plagas y enfermedades están ligados actualmente a las especies objetivo, pero el número de especies se puede aumentar.

Los procedimientos adoptados para el monitoreo de especies de trigo silvestre en la Reserva Estatal de Erebuni se presentan en el Anexo II.

Dificultades técnicas

Se encontraron varias dificultades en la elaboración de mapas de la distribución de las especies objetivo dentro de las áreas protegidas y, por consiguiente, en los cálculos del área ocupada. Las distribuciones de *T. urartu* y *A. tauschii* no son uniformes. Ocurren en pequeños parches que no son espacialmente estáticos sino que varían de un año a otro, aunque se pueden identificar si un experto hace una inspección detallada del sitio. A veces se requieren exámenes adicionales en el laboratorio. *T. araraticum* y *T. boeoticum* son más abundantes y están más uniformemente distribuidos dentro del área protegida, pero en algunas áreas no se pudo encontrar ninguna de las especies de interés. Estas áreas son relativamente pequeñas



Figura 13.1 Revisión general de la parcela piloto 2 (nuez de Castilla) –territorio estrictamente protegido. Parque Nacional de Ugam Chatkal, Uzbekistán.



Figura 13.2 Población de nogales en la parcela piloto 2 –territorio estrictamente protegido. Parque Nacional de Ugam Chatkal, Uzbekistán.

y sólo se pueden identificar después de que expertos calificados han hecho trabajo de campo intensivo durante la etapa de formación de espigas. Para resolver estos problemas, se desarrolló una metodología utilizando funciones de programas SIG, que se evaluó exitosamente.

Madagascar

Los socios nacionales han establecido y evaluado protocolos de monitoreo de poblaciones de *Dioscorea* spp. El monitoreo se hace conjuntamente con el personal del parque, la comisión forestal de la comunidad local y los socios nacionales interesados en los PSC.

Uzbekistán

La metodología de monitoreo se desarrolló en el marco del Proyecto CPS. Se establecieron parcelas piloto (37 x 83 m) en áreas de alta distribución de PSC para cuatro especies objetivo prioritarias: almendra silvestre en la Reserva de la Biosfera de Chatkal, pistacho silvestre en Pistalisay, y manzana y nuez de Castilla silvestres en Aksarsay. En cada una de estas áreas se establecieron tres parcelas piloto y se llevó a cabo el monitoreo. Los resultados se entregaron a la administración del Parque Nacional de Ugam Chatkal, territorio dentro del cual ocurren estas especies de PSC. El monitoreo se hará cada cinco años, tanto en primavera como en verano. Los resultados del monitoreo se encuentran disponibles en ruso en la dirección <http://www.cwr.uz> y se están traduciendo al inglés.

Otras fuentes de información

- Elzinga, A.L., Salzer, D.W. y Willoughby, J.W. (1998) *Measuring and Monitoring Plant Populations*, Bureau of Land Management, Denver, CO, EEUU.
- Elzinga, C.L., Salzer, D.W., Willoughby, J.W. y Gibbs, D.P. (2001) *Monitoring Plant and Animal Populations*, Blackwell Scientific Publications, Abingdon, Reino Unido
- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. y Shaw, P. (eds) (2005) *Handbook of Biodiversity Methods: Survey, Evaluation and Monitoring*, Cambridge University Press, Cambridge
- Iriondo, J.M., Macted, N. y Dulloo, M.E. (eds) (2008) *Conserving Plant Diversity in Protected Areas*, CAB International, Wallingford, Reino Unido, Capítulo 3
- Stork, N.E. y Samways, M.J. (1995) 'Section 7: Inventorying and monitoring of biodiversity', en V.H. Heywood (ed) *Global Biodiversity Assessment*, pp457-543, Cambridge University Press, Cambridge. Reino Unido
- Sutherland, W.J. (2000) *The Conservation Handbook: Techniques in Research, Management and Policy*, Blackwell Science Ltd, Oxford, Reino Unido
- Tucker, G., Bubbs, P., de Heer, M., Miles, L., Lawrence, A., Bajracharya, S.B., Nepal, R.C., Sherchan, R. y Chapagain, N.R. (2005) *Guidelines for Biodiversity Assessment and Monitoring for Protected Areas*, KMTNC, Katmandú, Nepal

Yoccoz, N.G., Hichols, J.D. y Boulinier, T. (2001) 'Monitoring of biological diversity in space and time', *Trends in Ecology and Evolution*, vol 16, pp446–453

Notas

- 1 <http://linkage.rockefeller.edu/soft/>
- 2 Tucker *et al.* (2005) advierten que estos procesos son difíciles de definir y aún más difíciles de evaluar y monitorear, de manera que pueden no ser prácticos para monitorear las condiciones del hábitat.

Referencias

- Bonham, C.D. (1989) *Measurements for Terrestrial Vegetation*, John Wiley and Sons, Nueva York, NY, EE.UU.
- Collard, B.C.Y., Jahufer, M.Z.Z., Brouwer, J.B. y Pang, E.C.K. (2005) 'An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts', *Euphytica*, vol 142, pp169–196, doi:10.1007/s10681-005-1681-5
- Danielsen, F., Burgess, N.D., Balmford, A., Donald, P.F., Funder, M., Jones, J.P., Alviola, P., Balete, D.S., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fjeldså, J., Holt, S., Hübertz, H., Jensen, A.E., Jensen, P.M., Massao, J., Mendoza, M.M., Ngaga, Y., Poulsen, M.K., Rueda, R., Sam, M., Skielboe, T., Stuart-Hill, G., Topp-Jørgensen, E. y Yonten, D. (2009) 'Local participation in natural resource monitoring: A characterization of approaches', *Conservation Biology*, vol 23, pp31–42
- Dierschke, H. (1994) *Pflanzensoziologie – Grundlagen und Methoden*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Alemania
- Du, X.Y., Zhang, Q.L. y Luo, Z-R. (2009) 'Comparison of four molecular markers for genetic analysis in *Diospyros* L. (Ebenaceae)', *Plant Systematics and Evolution*, vol 281, pp171–181
- Elzinga, A.L., Salzer, D.W. y Willoughby, J.W. (1998) *Measuring and Monitoring Plant Populations*, Bureau of Land Management, Denver, Colorado, EE.UU.
- Elzinga, C.L., Salzer, D.W., Willoughby, J.W. y Gibbs, D.P. (2001) *Monitoring Plant and Animal Populations*, Blackwell Scientific Publications, Abingdon, Reino Unido
- Ervin, J., Mulongoy, K.J., Lawrence, K., Game, E., Sheppard, D., Bridgewater, P., Bennett, G., Gidda, S.B. y Bos, P. (2010) *Making Protected Areas Relevant: A Guide to Integrating Protected Areas into Wider Landscapes, Seascapes and Sectoral Plans and Strategies*, CBD Technical Series No. 44, Convention on Biological Diversity, Montreal, Canadá
- Given, D.R. (1994) *Principles and Practice of Plant Conservation*, Timber Press, Portland, Oregon, EE.UU.
- Gottschalk, T.K., Huettmann, F. y Ehlers, M. (2005) 'Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationships using satellite imagery data: A review', *International Journal of Remote Sensing*, vol 26, pp2631–2656, doi:10.1080/01431160512331338041

- Hellawell, J.M. (1991) 'Development of a rationale for monitoring', in Goldsmith, F.B. (ed) *Monitoring for Conservation and Ecology*, pp1–14, Chapman and Hall, Londres, Reino Unido
- Iriondo, J.M., Maxted, N. y Dulloo, M.E. (eds) (2008) *Conserving Plant Diversity in Protected Areas*, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Joshi, S., Ranjekar, P. y Gupta, V. (1999) 'Molecular markers in plant genome analysis', *Current Science*, vol 77, pp230–240
- Kent, M. y Coker, P. (1995) *Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach*, John Wiley and Sons, New York, NY, EE.UU.
- Kull, T., Sammul, M., Kull, K., Lanno, K., Tali, K., Gruber, B., Schmeller, D. y Henle, K. (2008) 'Necessity and reality of monitoring threatened European vascular plants', *Biodiversity and Conservation*, vol 17, pp3383–3402
- Lepetz, V., Massot, M., Schmeller, D. y Clobert, J. (2009) 'Biodiversity monitoring: Some proposals to adequately study species' responses to climate change', *Biodiversity and Conservation*, vol 18, pp3185–3203
- Marsh, D.M. y Trenham, P.C. (2008) 'Tracking current trends in plant and animal population monitoring', *Conservation Biology*, vol 22, pp647–655
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. (1974) *Aims and Methods of Vegetation Ecology*, Wiley, Nueva York, NY, EE.UU.
- Noon, B.R. (2003) 'Conceptual issues in monitoring ecological resources', en D.E. Busch y J.C. Trexler (eds) *Monitoring Ecosystems: Interdisciplinary Approaches for Evaluating Ecoregional Initiatives*, pp27–72, Island Press, Washington, DC
- Peace, C.P., Vithanage, V., Neal, J., Turnbull, C.G.N. y Carroll, B.J. (2004) 'A comparison of molecular markers for genetic analysis of macadamia', *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, vol 79, pp965–970
- Schmeller, D.S. (2008) 'European species and habitat monitoring: Where are we now?', *Biodiversity and Conservation*, vol 17, pp3321–3326
- Schröder, S., Begemann, F. y Harrer, S. (2007) 'Agrobiodiversity monitoring – documentation at European level', *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, vol 1, pp29–32
- Stork, N.E. y Samways, M.J. (1995) 'Section 7: Inventorying and monitoring', en V.H. Heywood (ed), *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido
- Sutherland, W.J. (2000) *The Conservation Handbook: Techniques in Research, Management and Policy*, Blackwell Science Ltd, Oxford, Reino Unido
- Sutherland, W.J. (2006) *Ecological Census Techniques – A Handbook*, Edición 2, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido
- Tucker, G., Bubbs, P., de Heer, M., Miles, L., Lawrence, A., Bajracharya, S.B., Nepal, R.C., Sherchan, R. y Chapagain, N.R. (2005) *Guidelines for Biodiversity Assessment and Monitoring for Protected Areas*, KMTNC, Katmandú, Nepal

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. y Steininger, M. (2003) 'Remote sensing for biodiversity science and conservation', *Trends in Ecology and Evolution*, vol 18, no 6, pp306–314, doi:10.1016/S0169-5347(03)00070-3

van der Maarel, E. (ed) (2005) *Vegetation Ecology*, Blackwell Science Ltd, Oxford, Reino Unido

Yoccoz, N.G., Hichols, J.D. y Boulinier, T. (2001) 'Monitoring of biological diversity in space and time', *Trends in Ecology and Evolution*, vol 16, pp 446–453