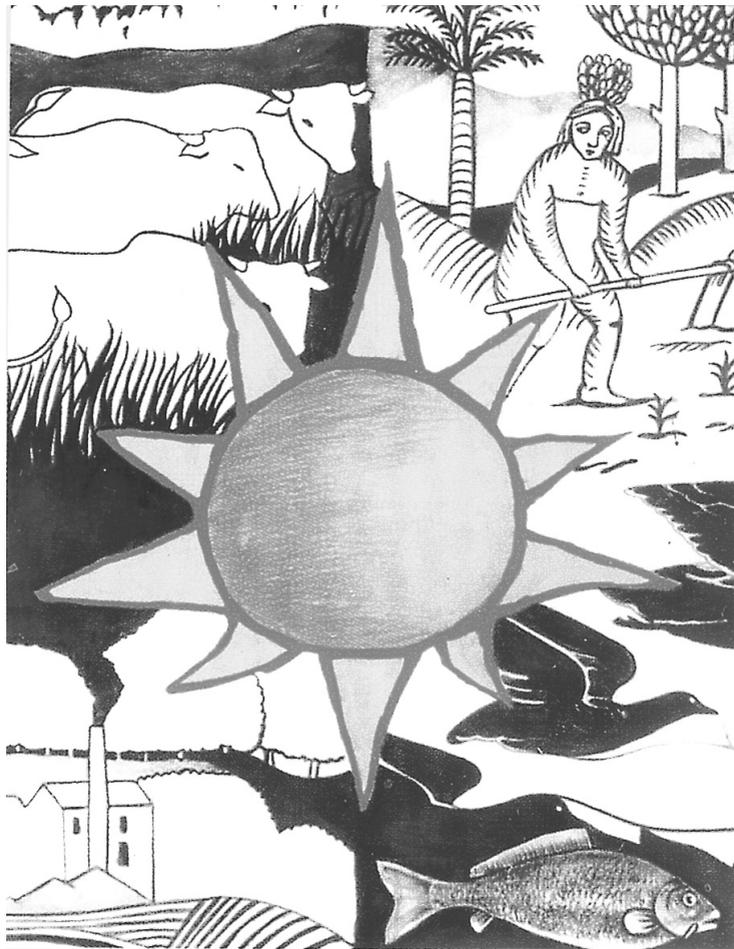


COMENTARIO

MONITOREO AMBIENTAL, UNA HERRAMIENTA INVALUABLE EN EL MANEJO DE ECOSISTEMAS

Environmental monitoring, a valuable tool in ecosystem management

M. Claudia Gil Cordero



Centro de Estudios Agrarios y Ambientales CEA, Casilla 164, Valdivia, Chile.
Correo electrónico: claudiagil@ceachile.cl.

RESUMEN

La capacidad de predecir los impactos que tienen nuestras acciones sobre los ecosistemas es limitada, mientras que las prácticas de manejo extractivas y centradas en un solo recurso del pasado han dado paso a una concepción holista del manejo de nuestros recursos naturales: el manejo de ecosistemas. Sin embargo, esta aproximación de carácter adaptativo requiere de herramientas apropiadas para poder implementarse. En este comentario se plantea que el monitoreo ambiental tiene un importante rol como método científico de prueba de hipótesis, se señalan las alternativas de monitoreo empleadas en la actualidad, algunas de las técnicas utilizadas y se discute la viabilidad de la implementación de estos programas en Chile.

Palabras claves: monitoreo, manejo de ecosistemas, método científico, manejo adaptativo.

ABSTRACT

The ability to predict the effects of our actions on ecosystems is still limited, while extractive management practices based on single resources of the past have turned into an holistic concept of the management of our natural resources: ecosystem management; yet this adaptative focus requires of the appropriate tools to be implemented. In this commentary the important role of monitoring as a scientific method to prove hypothesis is enhanced, the different alternatives and methods actually in use are presented, and the viability of the implementation of monitoring programs in Chile is discussed.

Key words: monitoring, ecosystem management, scientific method, adaptative management.

Introducción

Los recursos biológicos, de los cuales dependemos los seres humanos para la obtención de nuestro alimento, energía, medicinas, entre muchísimos otros fines, tienen la propiedad de ser renovables. Esto implica que, con un manejo adecuado, pueden ser sustentables en el tiempo. Sin embargo, la modificación del entorno que el hombre ha causado desde su aparición sobre la tierra, proceso que se ha acelerado en los últimos siglos, es reconocido hoy como la mayor causa de la pérdida de biodiversidad en la historia reciente, principalmente debido a los cambios en el uso de la tierra, que alteran y degradan ecosistemas y hábitats para servir a los propósitos de la humanidad (Salwasser 1994, McNeely et al. 1995, Torres 1998, Wolodarsky 1998).

A pesar de los avances de la investigación científica y de la tecnología, la capacidad de predecir los impactos de nuestras acciones sobre los ecosistemas no está bien desarrollada, y las técnicas para llevar a cabo estos análisis aún se encuentran en estados preliminares (Soulé & Kohn 1989 citado por McNeely et al. 1995). Para poder controlar los efectos de la manipulación que ejercemos sobre los ecosistemas, debemos ser capaces de predecirlos; y para que una acción sea efectiva debe basarse en información precisa, y mientras más difundida y más accesible sea esta información, existirán mayores probabilidades que las partes involucradas coincidan en la definición de los problemas y en las soluciones (National Research Council 1986, McNeely et al. 1995).

Una vez asumida la necesidad de manejar una especie, población o ecosistema, deberemos considerar una serie de opciones dentro de un amplio rango de alternativas. Desde esta perspectiva es fundamental contar con un correcto análisis de decisión que proporcione un marco para verificar la eficacia de las distintas opciones, y que además de simplificar

la identificación de las mejores medidas de manejo, permita visualizar fuentes potenciales de incertidumbre, proporcione una forma de comparación de costos y beneficios, y permita asegurar la robustez de sus conclusiones (Soulé 1987).

Frente a la incertidumbre generada por el desconocimiento y la escasa capacidad predictiva sobre la respuesta de los ecosistemas a nuestras acciones de manejo, surgen los siguientes conceptos: a) manejo de ecosistemas, que en su filosofía, pretende integrar las visiones económicas, sociales y ecológicas involucradas en la toma de decisiones por parte de los distintos componentes de la sociedad frente a un problema ambiental, y b) monitoreo, como una de las herramientas de mayor proyección en el ámbito de la ecología aplicada, presentándose como una nueva forma de detectar a tiempo cambios no deseados en los ecosistemas (Rochelle 1994, Hellawell 1995).

Pese a todos nuestros esfuerzos para investigar, inventariar y prospectar; y pese a todo lo que se habla de monitoreo, aún tenemos sólo una vaga idea de la cantidad de recursos de los que disponemos, donde se encuentran y si están en expansión, disminución o se mantienen estables (Franklin 1994). Poseemos un escaso conocimiento de las variaciones naturales que ocurren en las comunidades presentes en los distintos ecosistemas, sean estas cíclicas, estacionales o estocásticas, tanto en los sistemas inalterados como en los intervenidos, y una de nuestras mayores preocupaciones la constituye la pérdida de diversidad por declinación de las poblaciones tanto de plantas como animales: La contaminación, la pérdida de hábitat, los disturbios, el cambio del uso del suelo están todos implicados en estas declinaciones, sin embargo, la relación causa efecto no puede ser demostrada sin datos de monitoreo o de reconocimiento, ya que sólo mediante la aplicación del método científico y en estudios a

largo plazo será posible distinguir entre los cambios naturales que afectan a los ecosistemas y aquellos cambios producidos directa o indirectamente por la acción antrópica (National Research Council 1992; Spellerberg 1994; McNeely et al. 1995).

El presente comentario pretende señalar aspectos generales de los programas de monitoreo, sus objetivos, metas y aplicaciones, poniendo especial énfasis en la aplicación del monitoreo ambiental como una herramienta en el manejo de ecosistemas, considerando a éste último como un manejo adaptativo y nueva aproximación científica al desarrollo sustentable.

Monitoreo

Monitoreo es una palabra de uso bastante común en nuestro vocabulario, por lo que es preciso definir claramente su significado, y en especial diferenciarla de las actividades de supervisión o reconocimiento, con las cuales, si bien, comparte actividades en común, difiere en el sentido.

Hellawell (1995), Goldsmith (1995) y Horton et al. (1993) coinciden en definir el reconocimiento como un ejercicio en el cual se realizan una serie de observaciones cuantitativas, generalmente por medio de un proceso estandarizado y dentro de un período restringido o un programa continuo. Comúnmente, su objetivo es efectuar análisis de series de tiempo, o determinar variabilidad o rangos de estados o valores a lo largo del tiempo, pero sin una concepción previa respecto a los posibles hallazgos, en un intento de adquirir información lo más objetiva posible, siendo su principal propósito el de aumentar el conocimiento.

Por otra parte, monitoreo es el reconocimiento intermitente (regular o irregular) realizado para asegurar el grado de cumplimiento con un estándar determinado o el grado de

variación de una norma definida, y asume que ya poseemos una idea, aunque sea vaga, de los resultados a obtener, siendo su principal propósito el fijar límites y decidir que acciones deben efectuarse al comprobar que se han traspasado estos límites (Spellerberg 1994, Goldsmith 1995, Hellawell 1995).

Aunque virtualmente no existen sistemas inalterados en el planeta, ya que todos los ecosistemas se han visto afectados en alguna medida por la acción humana, ha habido intentos de instaurar programas de monitoreo a largo plazo en ecosistemas relativamente prístinos, ya que el monitoreo de estas áreas no alteradas entrega valiosos datos en relación al desarrollo de los procesos naturales, a la vez que proporciona una línea de base con la cual establecer comparaciones cuando ocurre alguna intervención o disturbio (Spellerberg 1994, McNeely et al. 1995). Algunas veces, la observación de los efectos de una acción puede ser la única fuente de información para la correcta toma de decisiones (Committee 1986).

El monitoreo es un proceso y no un resultado, un medio para la consecución de un fin y no un fin en sí mismo (Hellawell 1995) e implícito en su lógica está el reconocimiento del potencial de cambio de los sistemas naturales. Debido a esto, nuestra preocupación es encontrar una forma de detectar la ocurrencia de este cambio, establecer su dirección y medir su extensión o su intensidad. Debemos, además, poder interpretar la información obtenida, determinando su significado e implicancias, lo que generalmente resulta ser el problema más difícil de abordar debido a que los cambios en los ecosistemas, la mayoría de la veces, no son el resultado de un hecho aislado, si no más el bien producto de la acumulación de diversos factores (Hellawell 1995, McNeely et al. 1995).

Los programas de monitoreo pueden visualizarse como una serie de experimentos

diseñados específicamente para diferenciar distintas alternativas de manejo, las que se basan en predicciones de las cambiantes condiciones ambientales. Estas predicciones, por lo tanto, pueden servir como hipótesis a prueba que dirigen la adquisición de nueva información a partir de la investigación básica, y principalmente, del monitoreo. El monitoreo, en especial, se usa para probar los supuestos biológicos que subyacen en nuestros planes de manejo. Por lo tanto el monitoreo debe considerarse un ejercicio de prueba de hipótesis, que, a través del tiempo, permite mejorar el manejo a medida que diferentes alternativas van quedando excluidas (Murphy & Noon 1991).

Visualizar un proyecto o una acción como un experimento, puede ayudar en el diseño de un programa de monitoreo de sus efectos. Este monitoreo tendrá dos ventajas principales: la detección de efectos no esperados, lo que podrá usarse como base para la alteración de los procedimientos (Holling 1978, citado por National Research Council 1986), y la información obtenida, que puede usarse para la planificación y diseño de proyectos o acciones similares (National Research Council 1986).

Desde una perspectiva más amplia, el monitoreo de seguimiento y el análisis retrospectivo son formas de aprender desde la experiencia y mejorar la predicción de los efectos ecológicos. El monitoreo es más efectivo cuando está diseñado para probar hipótesis ecológicas y cuando estudios pre proyecto han proporcionado una línea de base de información. Los estudios post proyecto sobre la precisión de las predicciones son útiles, pero no tan útiles como el monitoreo de seguimiento, que coordina muestreos pre y post proyectos y que pone a prueba las hipótesis relevantes (National Research Council 1986).

Así, la implementación de un programa de monitoreo requiere de una cuidadosa planificación que incluye tener gran claridad en las metas y objetivos, así como del estado del

conocimiento. Debe también señalar claramente las variables a medir, la frecuencia de las mediciones y los indicadores que se usarán para ello. En relación al manejo estadístico de los datos obtenidos, es necesario planificar de antemano los programas que se usarán tanto para el análisis de la información reunida como para las líneas de base. Las líneas de base y los programas de monitoreo son más efectivos si están estadísticamente diseñados para detectar cambios en la magnitud esperada (Zar 1976 en National Research Council 1986).

Las áreas de aplicación del monitoreo son muy variadas, sin embargo la mayoría de ellas pueden clasificarse en tres categorías generales que no son excluyentes: (a) el uso del monitoreo para detectar cambios incipientes en el ambiente, siendo esta el área de mayor interés para ecólogos y conservacionistas. El objetivo de muchos programas de monitoreo es el de evaluar estos cambios y la subsecuente recuperación después de la aplicación de medidas de amortiguación; (b) el monitoreo aplicado para asegurar la efectividad de una política o legislación, ya que, en términos generales, la legislación ambiental pretende asegurar la mantención de una condición deseable o bien facilitar el progreso hacia esa condición. Buenos ejemplos de esta aplicación son el monitoreo de los sitios declarados de especial interés científico, o de áreas protegidas en las que se puede evidenciar la efectividad de la legislación relevante; y (c) el monitoreo aplicado en la regulación de la normativa vigente, calzando la mayoría del monitoreo que se realiza actualmente dentro de esta categoría, ya que las autoridades deben monitorear constantemente los índices permitidos de contaminantes en aguas, aire, ruido, radioactividad, etc. En esta última categoría se encuentra la mayor aplicación del monitoreo de las variables físico-químicas del ambiente, y debe aplicarse en casi todas las áreas de la actividad humana, como higiene ambiental, seguridad, etc. (Storks & Samways 1994, Hellowell 1995).

La selección de los indicadores que evidencien los cambios dependerá de los objetivos del monitoreo. En una situación específica puede ser fácil y posible medir diversas variables que señalen este cambio, sin embargo, en otras situaciones más complejas o en hábitats extensos, de hecho las situaciones más comunes, será preferible escoger un solo componente cuyo comportamiento y respuesta sea representativa de toda la comunidad. Esta es una tarea difícil, ya que conocemos muy pocas especies tan bien como para servirnos a este propósito (Hellawell 1995).

Dependiendo de los objetivos del programa existen diversas formas de monitoreo y diferentes herramientas para su aplicación:

Monitoreo físico/ químico

Aplicado especialmente a los contaminantes, se ha desarrollado mucho a través del uso de sofisticados métodos computacionales de análisis, y actualmente gracias a estos avances, es posible detectar cantidades muy pequeñas de algunos contaminantes en muy poco tiempo. La principal limitación de este método es que indica lo que hay, pero no dice nada respecto a los procesos ecológicos involucrados, especialmente en relación a los efectos a largo plazo sobre los ecosistemas (Spellerberg 1994).

Percepción remota

Consiste en captar objetos o procesos, mediante el análisis e interpretación de datos captados por un sensor remoto, utilizando para esto la energía de los campos generados por cada cuerpo, en especial la energía electromagnética (Pontificia Universidad Católica de Chile 1993). Algunas de las variables que permiten monitorear la vegetación son la cubierta, estructura, composición, condición y producción de biomasa, y aunque estas variables pueden medirse directamente, la utilización de sen-

sores remotos permite una mayor eficiencia, reduciendo el tiempo de estadía en terreno. En la actualidad se cuenta con varios tipos de sensores remotos y la elección de cada uno de ellos dependerá principalmente de las características de cada proyecto de monitoreo:

- *Sensores satelitales o espaciales*, que utilizan principalmente scanners, y cuya aplicación más común es el mapeo de vegetación. La mayor ventaja de la imagen satelital es que es digital y por lo tanto permite análisis cuantitativos computacionales, bajos costos, recolección frecuente de datos sobre bases regulares e integración con los Sistemas de Información Geográficos (SIG). Las señales digitales generadas pueden transmitirse hacia la tierra como señales de radio (Budd 1995, Dymond et al. 2001).
- *Sensores aéreos*, que utilizan principalmente cámaras fotográficas con diferentes tipos de película. Sus principales ventajas radican en su alta resolución, alta precisión geométrica, buenas imágenes estereoscópicas, bajos costos de análisis y en que ya existe gran cantidad de información disponible de este tipo, lo que proporciona una excelente base de datos para monitorear el cambio en el paisaje y el uso del suelo, en los últimos 80 años (Budd 1995).
- *Sensores terrestres*, principalmente cámaras fotográficas y radiometría, que se utilizan con dos objetivos principales: corroborar datos de los sensores satelitales y aéreos, y permitir mediciones no destructivas de variables como la biomasa, estructura y cobertura de la vegetación. Su principal ventaja radica en que es el método más simple que está disponible (Budd 1995).

Sistemas de información geográficos

Los sistemas de información geográficos (SIG) son un grupo de herramientas empleadas en la recolección, almacenamiento, despliegue, organización, manipulación y transformación de datos espaciales del mundo real, para un propósito determinado. Son el producto de una serie de desarrollos paralelos en diferentes disciplinas relacionadas con el procesamiento de estos datos y cuyo objetivo es automatizar tanto el tratamiento de datos como sus características descriptivas o atributos (Muñoz 1990). La información geográfica describe objetos del mundo real en términos de: (a) su posición respecto de un sistema conocido de coordenadas, (b) otros atributos que no estén relacionados con la posición, como color, valor, diseño, pH, etc., y (c) la interrelación espacial entre ellos o relación topológica, que describe como están vinculados entre sí (Burrough 1986).

Los sensores remotos y el SIG son herramientas cruciales para enfrentar el desafío al que se ven enfrentados hoy los encargados del manejo de recursos (Franklin 1994). El SIG proporciona grandes oportunidades para explorar alternativas futuras en el manejo de los recursos naturales (Cornett 1994). Según Franklin (1994) existen al menos 5 áreas en donde el SIG es invaluable; (1) inventario y monitoreo; (2) planificación de manejo; (3) establecimiento de políticas; (4) investigación y (5) toma de decisiones a nivel consensual.

En 1993 James Burke (citado por Cornett 1994) planteó la siguiente pregunta “¿Cuál es el objeto del conocimiento, si no, el de proporcionar nuevas alternativas a futuro de las cuales poder escoger?” Así, un importante uso no analítico del SIG, es la capacidad del sistema de entregar información compleja de una forma que la hace fácilmente comprensible (Rochelle 1994). Los estudios de seguimiento de los efectos ecológicos, o monitoreo, pueden ayudar en la planificación sólo si están dispo-

nibles, ojalá como resúmenes publicados y como análisis completos, ya que los resultados son más valiosos si se reportan y analizan en formas de fácil acceso a científicos y encargados de manejo (Hilborn & Walters 1981 en National Research Council, Committee 1986, Brant et al. 1994).

Monitoreo biológico

Los recursos vivos del planeta están siendo continuamente mermados y el impacto del desarrollo está afectando su calidad (National Research Council 1992). Si uno de los objetivos mundiales es el desarrollo sustentable, entonces necesitamos monitorear los cambios en estos recursos, como base para modelar estrategias para este desarrollo (Spellerberg 1994). El monitoreo biológico y ecológico tiene un importante rol en el manejo tendiente a la conservación de las poblaciones de plantas y animales. Si no monitoreamos los cambios en las comunidades, los cambios en el estatus de las especies, el efecto de la pérdida de hábitat, tendremos escasa información en la que basar buenas prácticas conservacionistas. La calidad del agua, el aire y el suelo pueden ser monitoreados a través del uso de especies y comunidades indicadoras, con mayores probabilidades de éxito que sólo con el monitoreo químico; el monitoreo biológico tiene importantes aplicaciones en el control de plagas y enfermedades de interés para la salud pública, la agricultura y el manejo forestal (Stork & Samways 1995).

Aún cuando no conocemos lo suficiente de la ecología de muchas de las especies potencialmente aptas, es posible plantear algunos lineamientos que permitan seleccionar las especies más útiles para un propósito de monitoreo en particular. En este contexto, las especies utilizadas para la planificación y manejo de vida silvestre se han denominado especies focales y entre de ellas se encuen-

tran las especies claves, definidas por su valor ecológico; las especies paraguas, en las cuales se basan las decisiones en relación al tamaño y otros atributos espaciales de áreas protegidas; las especies emblemáticas, que son carismáticas y se utilizan para la recaudación de fondos y relaciones públicas; y por último, las indicadoras, utilizadas principalmente en el monitoreo de la calidad del hábitat (Noss 1990, Meffe & Carrol 1994).

Los programas de monitoreo biológico han usado un amplio rango de variables a diferentes niveles, desde ecosistemas, pasando por poblaciones, hasta el nivel fisiológico de un organismo en particular (Tabla 1) (Spellerberg 1994).

En relación a los diferentes niveles, el organismo individual aparece como el menos útil al monitoreo, aunque sus características fisiológicas pueden ser relevantes y, junto al

TABLA 1. VARIABLES Y PROCESOS UTILIZADOS EN PROGRAMAS DE MONITOREO (sensu Spellerberg 1994).

Variables and process used in monitoring programs

Variables	Procesos
Biomasa	Productividad
Area de cubierta o % de cubierta	Acumulación de materia organica
Cantidad de material muerto	Descomposición
Estructura vegetacional	Tasa de consumo
Estudios de liquenometría	Fijación de nitrógeno
Composición específica	Fijación de carbón
Riqueza, diversidad y frecuencia específica	Respiración
Proporción de muestras en que aparece una especie	Colonización
Ocurrencia de especie indicadora	Sucesión
Ocurrencia de especie rara	Bioacumulación
Fenología de especie seleccionada	
Patrones de distribución espacial	
Densidad poblacional	
Abundancia relativa predador –presa	
Posición trófica	
Estructura de edades de la población	
Diámetro del tronco	
Tasa de natalidad, reclutamiento y mortalidad	
Tamaño	
Tasa de crecimiento	
Estado reproductivo	
Numero en condiciones reproductivas	
FloreCIMIENTO	
Tamaño de la colonia	
Contenido químico de material vivo y muerto	
Composición y estructura del suelo	

análisis de tejidos, se utiliza frecuentemente para determinar índices de contaminación. La presencia de poblaciones de ciertas especies es a menudo de gran valor para determinar la calidad de un hábitat o ambiente determinado si conocemos su valor como indicador. Por último, los ensamblajes y biocenosis que componen los ecosistemas pueden usarse para obtener mediciones cuantitativas tales como diversidad o producción; parámetros como éstos son, tal vez, la mejor aproximación a la medida ideal, sin embargo tienen la desventaja que su medición es extremadamente costosa (Hellawell 1995).

Una aplicación especialmente valiosa del monitoreo biológico es la identificación de los efectos de la fragmentación del hábitat, una forma común de alteración de los ambientes terrestres, provocado por la actividad humana. El monitoreo puede ayudar a la determinación del tamaño mínimo necesario del área requerida por una especie (National Research Council 1986).

El monitoreo en el manejo de ecosistemas

En una extensa revisión bibliográfica, Grumbine (1994) pudo definir diez temas relevantes para el manejo de ecosistemas: contexto jerárquico, límites ecológicos, integridad ecológica, recolección de datos, monitoreo, manejo adaptativo, cooperación entre organizaciones, cambios a nivel organizativo, integración del hombre a la naturaleza y valores. Todos estos temas, aún cuando no son tocados en igual proporción por todos los autores revisados, representan áreas de consenso y forman la base para la definición, implementación y comprensión global del manejo de ecosistemas.

Según Salwasser (1994) el concepto de manejo de ecosistemas implica que el conocimiento y la tecnología pueden usarse en la implementación de acciones que fomenten las condiciones deseadas de los ecosistemas, para

obtener beneficios ambientales, económicos y sociales tanto hoy como en las generaciones futuras.

La falta de conocimiento y comprensión de los complejos procesos que regulan el funcionamiento de los ecosistemas, nos hace enfrentarnos a un alto nivel de incertidumbre, en particular, frente a la predicción de los resultados de las acciones de manejo que pretendemos implementar. Así, al no poder hacer una predicción confiable de los efectos ecológicos de un determinado proyecto o acción, aún empleando todos nuestros recursos en la investigación en terreno, debemos reconocer este hecho, de manera que la planificación y la toma de decisiones puedan considerar esta cuota de incertidumbre (Paine 1981 citado por National Research Council 1986).

Por tanto, la incertidumbre inherente a los sistemas ecológicos, sociales y económicos, implica que, para implementar el manejo de ecosistemas, debiéramos emplear mecanismos que permitan tomar decisiones informadas (Cornett 1994). Un concepto que surge de esta situación de incertidumbre, es el de manejo adaptativo, el que se asocia a “la evaluación de las respuestas de las especies y de los procesos del ecosistema a las prácticas de cosecha, mediante el monitoreo y la experimentación a largo plazo, y el compromiso de incorporar este conocimiento a los métodos de cosecha, aún cuando esto signifique una reducción en la ganancia económica” (Arroyo et al. 1995). Esta definición, si bien está planteada en términos de un manejo extractivo, es igualmente válida para cualquier opción de manejo, ya sea éste el manejo de recursos o manejo de ecosistemas, custodial o manipulativo, ya que la base fundamental del manejo adaptativo reside en la aceptación del hecho que nuestra capacidad de comprensión de los procesos naturales es limitada y, por lo tanto, nuestra intervención en ellos debe ser experimental y gradual (Lee 1993 citado por Marín & Delgado 1997, Dale 1998).

La información expuesta sugiere que el manejo de ecosistemas debe ser un manejo adaptativo, y requiere en su implementación de dos pasos reiterativos: (1) el monitoreo de la respuesta del sistema a la manipulación y (2) el ajuste de las prácticas de manejo para dirigir el curso hacia condiciones deseadas.

El manejo adaptativo asume que el conocimiento científico es provisorio, y enfrenta el manejo como un proceso de aprendizaje o un experimento continuo, donde la incorporación de los resultados de acciones previas permite a los encargados de manejo permanecer flexibles y adaptarse a la incertidumbre. Esto puede presentar dificultades desde el punto de vista económico, pero es indispensable reconocer los errores y corregirlos cuando se cometen (Fuentes 1994, Grumbine 1994, Marín & Delgado 1997, The Keystone Center 1996).

La comprensión de los ecosistemas y las condiciones ecológicas, sociales y económicas cambian continuamente en el tiempo y consecuentemente, el manejo debe cambiar a medida que las condiciones cambian. Por lo tanto es crucial monitorear el progreso, evaluar los impactos de las decisiones y adaptar las respuestas basándose en la nueva información. (The Keystone Center 1996).

La implementación de un programa de monitoreo en el contexto de un programa de manejo tiene tres objetivos principales: monitorear el cumplimiento del plan, es decir verificar el progreso; indicar si el manejo está alcanzando la productividad y/o los resultados esperados; y recopilar y proporcionar nueva información continuamente para actualizar y revisar el plan, y decidir sobre las futuras acciones (Horton et al. 1993, National Research Council 1986). Al proporcionar una retroalimentación en el tiempo, con revisiones periódicas, un sistema de monitoreo permite a los encargados mejorar la implementación de las actividades en curso o hacer ajustes en los planes y diseños de investigación, para

decidir si la actividad debe continuar como se ha planificado, si deben hacerse cambios importantes en las metas o en los planes, o si se debe concluir la actividad (Horton et al. 1993).

Como señala Franklin (1994a) el monitoreo es esencial para el manejo adaptativo, debido a que todas las proposiciones de manejo son, en el mejor de los casos, hipótesis de trabajo cuyos resultados desconocemos. En el caso de cambios ambientales inesperados, el monitoreo puede facilitar los cambios adaptativos necesarios en el manejo y en el diseño de los estudios ecológicos. Los encargados de manejo deben seguir los resultados de sus acciones, de tal modo que el éxito o fracaso de las mismas pueda ser evaluado cuantitativamente. El monitoreo crea, así, un círculo retroalimenticio de información (Hilborn et al. 1980 en National Research Council 1986, Grumbine 1994, Gibbs et al. 1999).

El manejo adaptativo puede ir desde la más simple aproximación de prueba y error, o también llamado pasivo, hasta una estrategia cuantitativa estructurada, denominada manejo adaptativo activo. Esta segunda aproximación es la que se recomienda para el manejo de ecosistemas, ya que da como resultados una manera más rápida de aprendizaje y de logro de las metas. A diferencia del manejo adaptativo pasivo, en el cual una sola alternativa se prueba hasta demostrar que es incorrecta, el manejo adaptativo activo permite la implementación simultánea de varias alternativas (The Keystone Center 1996). Para detectar, medir y juzgar estos cambios, se deberán utilizar tanto indicadores específicos de los atributos de la biodiversidad, como indicadores de los cambios socioeconómicos, ya que un monitoreo confiable es la mejor alternativa para determinar el éxito o el fracaso de las acciones implementadas (McNeely et al. 1995, Noss & Cooperrider 1994 citado por Grumbine 1997).

El análisis periódico de los resultados puede ayudar a la detección de los cambios inesperados, y a evaluar programas de muestreo, permitiendo modificarlos a tiempo. Así, una aproximación iterativa al monitoreo, con resultados que se incluyan en el diseño del estudio, es a menudo efectivo, particularmente cuando los métodos no han sido bien probados y los efectos son inciertos (National Research Council 1986).

La correcta interpretación de los datos, y la determinación de la importancia relativa de los diversos factores que inciden en los cambios en el ecosistema, así como la posibilidad de determinar la continuación, alteración, o supresión de las acciones implementadas, además de señalar el término del programa de monitoreo, constituyen un punto crítico en la implementación del mismo y deben estar resueltos con anterioridad. La decisión de detener o finalizar un programa de monitoreo puede darse de dos maneras diferentes, ya sea al alcanzar un estado o situación predeterminado, o a través de revisiones sucesivas en las que se evalúan los logros alcanzados y la relación costo beneficio de continuar con el programa; en cualquiera de los dos casos, esta decisión está muy ligada a la correcta planificación de las metas y los objetivos del programa (Horton et al. 1993, Spellerberg 1994, Usher 1995).

Rol del monitoreo en los estudios de impacto ambiental

El rol que cumple el monitoreo dentro de los estudios de impacto ambiental (EIA), no está claramente definido por la ley y, al menos en el Reino Unido es, como señala Treweek (1996), una “omisión legislativa”. Como Beansland y Duinker (1983 citados por National Research Council 1986) señalaran, la mayoría de los EIA se concentran sólo en la predicción del impacto inmediato en el ambiente, excluyendo casi completamente estudios posteriores que

permitirían determinar el impacto real sobre el ecosistema.

Debido a que los EIA terminan al ser aprobados o entregados a la autoridad competente, no es raro que no se realicen programas de monitoreo post proyectos, que permitan una evaluación de las predicciones, y si estos estudios postproyecto llegan a realizarse, se invierte poco esfuerzo en determinar si estas predicciones eran incorrectas y por qué (Larking 1984 citado por National Research Council 1986, Treweek 1996). La revisión de los resultados de un gran número de EIA en el Reino Unido, revelaron una gran cantidad de problemas que impedían la apropiada utilización de éstos como experiencia o aprendizaje: ya que las predicciones eran vagas o simplemente estaban ausentes, los esquemas de monitoreo eran claramente inapropiados, la documentación pobre, y las partes relevantes no cooperaban (National Research Council 1986).

Los EIA, su legislación e implementación han sido objeto de numerosas revisiones, trabajos y críticas, entre las que se mencionan la falta de un enfoque riguroso y cuantitativo, especialmente en el monitoreo, la falta de un seguimiento de las acciones con programas adecuados, la falta de reconocimiento del valor científico del monitoreo y la experimentación, entre varias otras (National Research Council 1986), por lo que la implementación obligada de un programa de monitoreo pre y post proyecto es de vital importancia para mejorar la correcta aplicación y aprovechamiento de este instrumento legal (Treweek 1996).

Limitaciones para la implementación de un programa de monitoreo

Como ya se ha señalado, las ventajas del monitoreo son numerosas y la mayoría de los proyectos de investigación relacionados con la aplicación de los principios de la conservación de la biodiversidad, (e.g., el diseño

de reservas, manejo de especies raras o en declinación), deben incluirlo como parte de sus actividades de investigación (National Research Council 1992). Hecho de manera correcta, éste proporciona índices continuos de calidad ambiental que pueden señalar degradación o recuperación ambiental (National Research Council 1986).

Sin embargo, la principal desventaja de la instauración de un programa de monitoreo radica en el alto costo de su implementación. Aunque hay fuertes argumentos a favor del manejo adaptativo, éste es costoso, tanto en términos de tiempo como de recursos. Para algunas aplicaciones el SIG puede proporcionar los medios para predecir el resultado de diferentes cursos de acción alternativos, abaratando los costos, pero esto no excluye la necesidad de monitorear en terreno los resultados, para guiar los ajustes futuros (Rochelle 1994).

Aunque es necesario monitorear para revisar la efectividad de nuestras acciones, el conocimiento que poseemos es rara vez suficiente para permitir una predicción precisa, de tal manera que, frecuentemente, se requieren de mayores estudios para proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones. Tales estudios deben ser cuidadosamente planificados ya que son costosos en dinero, tiempo y esfuerzo. Lamentablemente, los programas de recopilación de información a largo plazo, con frecuencia se ven enfrentados a problemas de continuidad, tanto en la recolección de datos y medición de variables, como en la continuidad en el financiamiento (National Research Council 1986, Franklin 1994; Spellerberg 1994, McNeely et al. 1995).

Considerando que el manejo adaptativo estimula la participación activa de todos los sectores involucrados en la planificación, implementación, monitoreo y corrección de las iniciativas del manejo, y que una política adaptativa es aquella que desde su inicio está

diseñada para poner a prueba hipótesis de como una especie, comunidad o ecosistema reaccionará a las acciones de manejo, los valores y expectativas económicas y sociales se consideran en conjunto con los objetivos ecológicos para la corrección del curso del programa de manejo. Por lo tanto, para evaluar los impactos se utilizan los resultados del monitoreo de las variables económicas, sociales y ecológicas. El manejo adaptativo promueve un ambiente de toma de decisión bien informada (The Keystone Center 1996, Marin & Delgado 1997).

Algunos estudios de casos en EE.UU. como el del lago Washington y el programa de la Cuenca del Rio Columbia, revelan que la aplicación del monitoreo como herramienta para la aproximación ecosistémica del manejo de recursos pueden ser llevado a acabo con éxito (National Research Council 1986, Marin & Delgado 1997).

El monitoreo es probablemente el mayor nuevo desafío para los encargados de manejo y debemos reconocer que hasta ahora no hemos hecho una buena labor monitoreando la condición de nuestros recursos. (Franklin 1994). Y, ya que la respuesta a los disturbios varía en gran medida entre un ecosistema y otro, necesitaremos monitorear y documentar los cambios en una gran variedad de ecosistemas naturales y manejados, en diferentes zonas climáticas (Solbrig 1991 en McNeely et al. 1995). Necesitamos contar con información proveniente de programas de monitoreo buenos, amplios, de largo aliento que proporcionen datos convincentes acerca de los cambios ambientales producidos por impactos adversos (Rochelle 1994, Hellawell 1995).

Discusión

Para los países en desarrollo de América Latina y para Chile en particular, en donde más del 90% de las exportaciones se basa en los recur-

Los recursos naturales renovables, la dependencia de su desarrollo y sustentabilidad futura en éstos, es un problema aún sin resolver. Esto debido a que las actuales estrategias de explotación se concentran en los recursos aislados tratando de obtener el máximo retorno económico en el corto y mediano plazo. Esta estrategia “de pan para hoy, hambre para mañana” no es viable en el largo plazo ni apropiada para la integridad de los ecosistemas explotados (Marín & Delgado 1997).

El Banco Interamericano de Desarrollo, en su Informe del Progreso Económico y Social en América Latina de 1996, señala que resulta difícil “la sustentabilidad del desarrollo en un país como Chile, cuyas exportaciones son intensivas en recursos naturales” (Marín & Delgado 1997).

Tal como plantea Salwasser (1994) aún no está claro si el nuevo paradigma ecosistémico para el uso del suelo y los recursos será mejor, peor o neutral para los diversos elementos que la gente requiere de una tierra sana. Tampoco está claro como el manejo de ecosistemas funcionará o diferirá de las anteriores aproximaciones al manejo de los recursos, sin embargo si queremos sostener el nivel de desarrollo alcanzado, tendremos que hacer un esfuerzo por incorporar nuevos conceptos en el manejo de nuestros recursos naturales (Marín & Delgado 1997) que incluyen la discusión, generación e implementación de políticas gubernamentales y estudios ecológicos en relación a estos tópicos y la factibilidad de su aplicación a nivel nacional.

En Chile las áreas silvestres protegidas y los estamentos encargados de administrarlas, enfrentan problemas entre los que destacan los siguientes: escasez de personal capacitado, presupuestos de operación limitados, escasez de vehículos, falta de planes de manejo, falta de infraestructura básica, escasa investigación científica, conflictos con otros organismos públicos y actividades extractivas ilegales,

presión de residentes en parques nacionales, actividades turísticas no evaluadas ni planificadas (Torres 1998, Pauchard & Villaroel 2002), por lo que es urgente, resolver primero estos conflictos a través de la adecuada implementación de una política ambiental y de la voluntad política de incorporar a los problemas ambientales a la agenda de prioridades del país.

Esto resulta fundamental si se quiere implementar un manejo adaptativo como el que plantea Fuentes (1994) en relación al manejo de los ecosistemas forestales en el centro y sur de Chile en particular, y a los demás ecosistemas de Chile en general, incorporando un seguimiento cuidadoso para evitar caer en estados indeseados o en trayectorias no sustentables, dado que los objetivos del manejo ecosistémico y del monitoreo no se pueden cumplir sin un adecuado financiamiento y apoyo logístico así como tampoco si no están respaldados por la legislación vigente (Spellerberg 1994).

Reflexiones finales

De todo lo expuesto anteriormente se desprende que el gran valor del monitoreo como herramienta para el manejo de ecosistemas radica en que convierte a las distintas opciones de manejo en hipótesis de trabajo, abordando así al plan de manejo desde la perspectiva de la ciencia, lo que permite que sus resultados se validen mediante la aplicación del método científico, haciendo replicables y extrapolables sus conclusiones.

Debido a que uno de los mayores inconvenientes que se encuentra al intentar implementar un plan de monitoreo es el del financiamiento, en parte debido su descrédito por las falencias de anteriores programas mal planteados, sin objetivos y metas bien definidos (Golsmith 1995), es necesario, previo a su instauración, tener claridad en cinco puntos básicos: propósito, método, análisis, interpre-

tación y condiciones de término del programa de monitoreo (Usher 1995).

Finalmente, el manejo de ecosistemas, apoyado en el monitoreo, unido al potencial de análisis y comunicación del SIG, deberían permitirnos tomar decisiones de manejo periódicas y de un orden de magnitud relativamente pequeño, en vez de las grandes alteraciones de que debemos hacer hoy (Cornett 1994), permitiendo así, una importante disminución de la incertidumbre implícita en la gestión de los recursos naturales.

LITERATURA CITADA

- ARROYO MTK, C DONOSO, R MURÚA, E PISANO, R SCHLATTER, & I SERY (1995) Hacia un proyecto forestal económicamente sustentable: conceptos, análisis y recomendaciones. Informe evacuado por la Comisión Científica Independiente del Proyecto Río Cándor a Bayside Ltd., EE.UU.
- ASPINALL R & N VEITCH (1993). Habitat mapping from satellite imagery and wildlife survey data using a Bayesian modeling procedure in a GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59, 537- 543.
- BRANDT J, E HOLMES & D LARSEN (1994) Monitoring Small Biotopes. En: F Klijn (ed) *Ecosystem Classification for Environmental Management*: 251-274. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- BUDD J (1995) Remote sensing techniques for monitoring land-cover. En: FB Goldsmith (ed) *Monitoring for conservation and ecology*: 33-59. Chapman & Hall, London.
- BURROUGH P (1986) *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press, New York.
- CORNETT ZA (1994) GIS as a catalyst for effective public involvement in ecosystem management decision making. En: Sample VA (ed) *Remote sensing and GIS in ecosystem management*: 337-345. Island Press, Washington D.C.
- DALE V (1998) Managing forest as ecosystems: a success story or a challenge ahead? En: Pace M. & P Groffman (eds) *Successes, limitations and frontiers in ecosystem science*. Springer Press. New York.
- DYMOND TR, AB EGUE & D LOOSEN (2001) Monitoring land at regional and national scales and the role of remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 3:162-175.
- ELZINGA CL, DW SALZER, JW WILLOUGHBY & JP GIBBS (2001) *Monitoring plant and animal populations*. Blackwell Sciences, Massachusetts, EE. UU. 360 pp.
- FRANKLIN JF (1994a) Developing information essential to policy, planning and management decision-making: the promise of GIS. En: Sample VA (ed) *Remote sensing and GIS in ecosystem management*: 18-24. Island Press, Washington D.C.
- FRANKLIN JF (1994b) Adaptive management areas. *Journal of Forestry* 92 (4): 48-52.
- FUENTES E (1994) ¿Qué futuro tienen nuestros bosques? Hacia la gestión sustentable del paisaje del centro y sur de Chile. Universidad Católica de Chile, Santiago.
- GIBBS JP, HL SNELL & CE CAUSTON (1999) Effective monitorios for adaptative management: lessons from the Galapagos Islands *Journal of Wildlife Management* 63:1055-1065
- GOLDSMITH FB (Ed) (1995) *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London.
- GRUMBINE RE (1994) What is ecosystem management? *Conservation Biology*, 8(1), 27-38.
- GRUMBINE RE (1997) Reflections on What is ecosystem management? *Conservation Biology* 11(1): 41-47.
- HELAWELL J (1995) Development of a rationale for monitoring. En: Goldsmith FB (ed) *Monitoring for conservation and ecology*: 1-14. Chapman & Hall, London.
- HOFFER R (1994) Challenges in developing and applying remote sensing to ecosystem management En: Sample VA (ed) *Remote sensing and GIS in ecosystem management*: 25-40. Island Press, Washington D.C.
- HORTON D, LV PETERSON & P BALLANTY-

- NE (1993) M & E principles and concepts Monitoring and evaluating agricultural research. CAB International 5-16 pp.
- IRIARTE A (Ed.) (1994) Estado de conservación de la fauna silvestre del Cono Sur Sudamericano, Documento Técnico N° 13, FAO Santiago, 120 pp.
- LEE K (1993) Compass and Gyroscope. Integrating Science and Politics for the Environment. Island Press, Washington D.C.
- MARIN V & L DELGADO (1997) Manejo ecosistémico de los recursos naturales. *Ambiente y Desarrollo* 2(8): 70-76.
- MCNEELY JA, M GADGIL, C LEVEQUE, C PADOCH & K REDFORD (1995) Human influences on biodiversity. En: VH Heywood (ed) *Global biodiversity assessment*: 717-821. Cambridge University Press, Cambridge.
- MEFFE GK & CR CARROL (1994) *Principles of conservation biology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts.
- MUÑOZ F (1990) Los Sistemas de Información Geográficos: Nueva tecnología al servicio del sector forestal. *Revista Chile Forestal* 170: 25-27.
- MURPHY DD & BD NOON (1991) Coping with uncertainty in wildlife biology. *Journal of Wildlife Management* 55(4): 773-782.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1986) *Ecological knowledge and environmental problem solving: concepts and case studies*. Committee on the Application of Ecological Theory to Environmental Problems; Commission on Life Sciences; National Academy Press, Washington D.C.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1992) *Conserving Biodiversity: a research agenda for development agencies*. National Academic Press, Washington D.C.
- NOSS RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.
- PACE M & P GROFFMAN (1998) *Successes, limitations and frontiers in ecosystem science*. Springer Press. New York.
- QUINTERO J (1994) *Conceptos básicos de evaluación de impacto ambiental*. Seminario-Taller sobre evaluación de impacto ambiental CONAMA, Santiago de Chile.
- ROBERTS K (1995) Field monitoring: confessions of an addict. En Goldsmith FB (ed) *Monitoring for conservation and ecology*: 179-212. Chapman & Hall, London.
- ROCHELLE JA (1994) Maintenance of late successional ecosystem values in the pacific northwest: evolving methodologies to guide habitat planning and policy making. En VA Sample (ed) *Remote sensing and GIS in ecosystem management*: 43-47 Island Press, Washington D.C.
- PAUCHARD A & P. VILLARROEL (2002) Protected Areas in Chile: history, current status, and challenges. *Natural Areas Journal* 22: 318-330.
- SALWASSER H (1994) Ecosystem management: can it sustain diversity and productivity?. *Journal of Forestry* 92(8): 6-10.
- SOULE M ed (1987) *Viable Populations for Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- SPARLING DW, R GROVE, E HILL, M GUSTAFSON & P KLEIN (1995) White Phosphorus Toxicity and Bioindicators of Exposure in Waterfowl and Raptors Interagency Expanded Site Investigation: En: CH Racine & D Cate (eds) *Evaluation of White Phosphorus Contamination and Potential Treatability at Eagle River Flats, Alaska* CRREL Contract Report to U.S. Army Garrison, Alaska, Directorate of Public Works FY94- Final Report: 201-234.
- SPELLERBERG IF (1994) *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- STORK NE & M SAMWAYS (1995) Inventorying and monitoring. En: VH Heywood (ed) *Global biodiversity assessment*: 453-543 Cambridge University Press, Cambridge.
- THE KEYSTONE CENTER (ed) (1996) *The Keystone National Policy Dialogue on Ecosystem Management, Final report*. The Keystone Center, Colorado.
- TORRES H (ed) (1998) *La diversidad biológica y su conservación en América del Sur*. UICN-Sur, Quito.
- TREWEEK J (1996) *Ecology and environmental*

- impact assessment. *Journal of Applied Ecology* 33:191-199.
- USHER M (1995) Scientific requirements of a monitoring program. En FB Goldsmith (ed) *Monitoring for conservation and ecology*: 15-32. Chapman & Hall, London.
- WOLODARSKYA (1998) ¿Por qué se habla tanto de la biodiversidad? Documentos Técnicos en Zoología. Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología, Universidad Austral de Chile,