



# Parte I

## **Conceptos y Métodos en Monitoreo Ecológico, Restauración y Rehabilitación**



# **CAPÍTULO 1**

## **Monitoreo ecológico de la rehabilitación**

**Carlos Fragoso**

Red de Biodiversidad y Sistemática  
Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)  
[carlos.fragoso@inecol.edu.mx](mailto:carlos.fragoso@inecol.edu.mx)

**Patricia Rojas Fernández**

Red de Biodiversidad y Sistemática  
Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)  
[patricia.rojas@inecol.edu.mx](mailto:patricia.rojas@inecol.edu.mx)

## **Resumen**

Se analiza el significado de la palabra monitoreo y su utilización en diferentes ámbitos de la conservación y manejo del ambiente. Para llegar a la definición de “monitoreo ecológico”, se discute el significado de la palabra ecología y los amplios campos que cubre. También se explica brevemente qué es la sucesión ecológica. Finalmente se presenta una semblanza de cada capítulo del libro.

## **Abstract**

The meaning of the word monitoring, and its use in the conservation and management of the environment is analyzed. In order to define the term “ecological monitoring”, the meaning of ecology and the broad fields it covers is discussed. A brief explanation of ecological succession is also included. Finally an overview of each book chapter is presented.

## **1. Introducción**

El monitoreo ecológico ha sido muy usado en los estudios ambientales, sobre todo desde que quedó demostrado el impacto negativo de las actividades humanas sobre los ecosistemas. Quizás el ejemplo más claro de su utilidad es el seguimiento de los agentes contaminantes en las grandes urbes del mundo. El monitoreo de la contaminación ha resultado tan importante, que las actividades de las grandes ciudades pueden suspenderse parcialmente si los resultados indican que los contaminantes ambientales constituyen un riesgo para la población. Para todos es bien conocido cómo la circulación de automóviles en la ciudad de México (una de las urbes más grandes del mundo) puede ser restringida por la autoridad ambiental cuando así lo sugieran los altos niveles de contaminación atmosférica.

El monitoreo ecológico no solamente se utiliza para detectar la presencia de contaminantes en el aire, el agua, los suelos o, inclusive, dentro de los seres vivos, sino que también es imprescindible para determinar, por ejemplo, cuándo y cuantos animales pueden ser cazados de una cierta especie, si el diseño de un área protegida está funcionando en el mantenimiento de la diversidad de especies, o si la introducción de individuos a un área está realmente ayudando a la recuperación de la población en estudio.

Los antecedentes en este campo nos indican que cualquier proyecto de rehabilitación o restauración debe contar con su propio programa de monitoreo, con el fin de evaluar los avances.

En este capítulo trataremos de dar los elementos fundamentales sobre el monitoreo (¿qué es?, ¿cómo se define?, ¿qué variables utiliza?), definiremos ecología y sucesión ecológica, y haremos una breve semblanza de los restantes capítulos, la mayoría de los cuales se enfoca en el seguimiento de los cambios derivados de la rehabilitación.

## 2. El término “monitoreo”

La palabra monitoreo no aparece en el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (<http://www.rae.es/rae.html>). La palabra que más se le acerca es monitor, con dos significados, uno derivado del latín (*monītor*, *-ōris*) y el otro del inglés (*monitor*). En el primer caso se refiere a la persona que guía el aprendizaje o que amonesta o avisa; en la antigua Roma el *monītor* era el ayudante que acompañaba al orador para recordarle algún punto del discurso y presentarle los documentos necesarios en su alocución, o bien el esclavo que acompañaba a su señor para recordarle los nombres de las personas que encontraba en su camino. En el segundo caso el anglicismo *monitor* se refiere a un aparato que revela la presencia e intensidad de radiaciones, o al aparato receptor que capta imágenes desde donde se están filmando. Esta acepción es la que más utilizamos en castellano y generalmente la restringimos a las pantallas de televisores o computadoras.

En inglés, sin embargo, la palabra monitoreo (*monitoring*) sí existe y tiene los siguientes significados: i) mantener un registro sistemático con objeto de obtener información y ii) realizar una prueba o tomar una muestra con regularidad. El término castellanizado “monitoreo”, aunque no aceptado oficialmente, es utilizado ampliamente y siempre haciendo referencia a la vigilancia o seguimiento de un cierto fenómeno.

Tomando en cuenta lo anterior podemos considerar la siguiente definición de monitoreo: “Observación y registro sistemático del curso temporal de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios”.

En otras palabras, el monitoreo es la vigilancia a lo largo del tiempo de un fenómeno o proceso que nos permite detectar cualquier cambio en su trayectoria. Las principales características del monitoreo son: i) su realización a intervalos temporales y ii) su utilidad preventiva y correctiva.

### 3. Ecología

La palabra ecología fue acuñada hace más de 140 años, cuando Haeckel la utilizó en 1866 para referirse a las relaciones de los animales con el ambiente y con otros organismos: “La economía de la naturaleza es la investigación de las relaciones totales del animal, tanto con el medio ambiente orgánico como con el inorgánico; incluyendo sobre todo, las relaciones buenas y malas con aquellos animales y plantas con los que llega a estar en contacto directo o indirecto -en una palabra- ecología es el estudio de todas aquellas interrelaciones complejas, a las cuales Darwin se ha referido como las condiciones de la lucha por la sobrevivencia” (en Dodson 1998).

La palabra se volvió del dominio público en los últimos 50 años, a partir de la crisis ambiental detectada en los años 60 (véase por ejemplo el libro de Rachel Carson “La Primavera Silenciosa”, publicado por primera vez en 1962 y que marcó el inicio de la preocupación ambiental a nivel global). El significado literal del término sería “el tratado de la casa”, ya que deriva del griego oikos= casa y logos= tratado. Actualmente la definición es mucho más completa y se refiere a “el estudio de las relaciones, la distribución y la abundancia de organismos o grupos de organismos en un ambiente dado”. La ecología tiene varias subdivisiones según el enfoque: por la clase de organismo podemos hablar de ecología de plantas, de animales, del hombre, de bacterias, etc.; por el tipo de hábitat existe la ecología terrestre, marina, de lagos, de bosques, urbana, etc.; finalmente, por el tipo de aplicación podemos referirnos a la ecología teórica, agrícola, de manejo, o de la restauración (Dodson 1998).

#### 3.1 Monitoreo ecológico

Las variables de cualquier estudio ecológico tienen que ver con los organismos: su diversidad, su abundancia, su distribución (en el espacio y en el tiempo) y sus interacciones con otros organismos y el ambiente; de modo que el monitoreo ecológico puede definirse como: “La colecta sistemática de datos ecológicos de un modo estandarizado, a intervalos regulares y a lo largo del tiempo” (Spellerberg 2004).

En los últimos años se han publicado varios libros sobre monitoreo ecológico en los que se aborda, con ejemplos diversos, su utilidad en distintos aspectos de la investigación ecológica. Vaughan *et al.* 2001 (citado por Spellerberg 2004) señalan cuatro categorías del monitoreo ambiental: i) monitoreo simple: registro de valores de una variable en un solo lugar a lo largo del tiempo; ii) monitoreo por comparación: cuando la falta de registros

históricos de un parámetro ambiental en una cierta área puede ser compensado por la investigación de las condiciones ambientales actuales; iii) monitoreo sustituto: la falta de monitoreo previo se compensa por el uso de otra información disponible y se hacen inferencias de los cambios; iv) monitoreo integrado: se utilizan todos los datos ecológicos disponibles.

Entre los principales fenómenos ecológicos que pueden ser estudiados en un programa de monitoreo a largo plazo se encuentran (Spellerberg 1991): i) procesos lentos como la sucesión o los ciclos poblacionales de animales y plantas, ii) eventos raros como incendios o epidemias, iii) procesos sutiles, como cuando la variación interanual es mayor que la tendencia a largo plazo y iv) fenómenos complejos como las relaciones en una comunidad ecológica.

Desde un punto de vista pragmático el monitoreo debe usarse para: i) lograr la conservación de especies, comunidades o paisajes, ii) detectar la invasión de especies, el estatus de especies en peligro, el avance de plagas y pestes y iii) detectar la contaminación urbana (Spellerberg 2004). Podemos añadir en relación con este libro, un punto adicional: iv) evaluar la recuperación de un ecosistema rehabilitado.

En la actualidad el monitoreo ecológico se ha convertido, en gran cantidad de países, en una práctica cotidiana para conservar y mantener los recursos naturales (áreas protegidas, especies, ecosistemas). A diferencia de lo que ocurría hace 20 años (Spellerberg 1991), el monitoreo a largo plazo es ahora una herramienta común para evaluar el cambio en diferentes tipos de sistemas ecológicos (Spellerberg 2004).

### 3.2 Sucesión

La sucesión ecológica es una de las grandes generalizaciones en ecología y se puede definir como “el cambio temporal en la estructura de una comunidad” o de modo más específico como “los cambios en la dominancia de las especies” (Smith y Smith 2007). Durante la sucesión se da un reemplazo de especies hasta alcanzar un estado semiestable (anteriormente llamado clímax), aunque en cualquier momento la comunidad puede volver a entrar a un estado de sucesión por cambios ambientales o perturbaciones humanas.

La sucesión es un proceso gradual que, en función del ambiente en el que se desarrolla, ha sido dividida en primaria y secundaria. La sucesión primaria se presenta en un lugar que no ha sido ocupado previamente por ninguna comunidad (por ejemplo un derrame de lava volcánica); la sucesión secundaria se da en lugares perturbados que previamente estuvieron

ocupados por algún tipo de vegetación (por ejemplo un cultivo abandonado que antes era un bosque) (Smith y Smith 2007). En cualquiera de los dos casos el cambio en la dominancia y composición de especies puede deberse a la facilitación, inhibición o tolerancia de unas especies con respecto a otras. El resultado de la sucesión no siempre es el mismo, pues depende de las especies iniciales, de la invasión de otras especies y de los cambios ambientales.

La diversidad máxima de especies no siempre se presenta en las etapas posteriores de la sucesión, sino en algún punto del proceso, cuando coexisten las especies tempranas con las más tardías.

La rehabilitación puede ser considerada como una sucesión facilitada y dirigida para lograr un cierto ensamble de especies, que aunque difiera en su composición original, presenta una estructura en grupos funcionales muy parecida a la comunidad original. Dos diferencias importantes entre la sucesión natural y la rehabilitación son: i) el tiempo que toma el proceso (menor en la rehabilitación) y ii) el ensamble final de especies.

#### **4. Aportaciones de este libro**

Este libro presenta los resultados obtenidos en el monitoreo ecológico de la rehabilitación implementada por la empresa Holcim Apasco durante los años 1993-1996. El área de rehabilitación se localiza en la Cantera Cuautlapan del cerro Buenavista, en el centro del estado de Veracruz. El monitoreo abarcó 16 años (hasta el año 2009), aunque la mayor parte de la evaluación se concentra en los primeros ocho años. En México es poco frecuente que las empresas cementeras rehabiliten los terrenos afectados por sus actividades de extracción. Lo realizado por Holcim Apasco es una notable aportación a la solución de la degradación del ambiente debida a las actividades mineras.

Un error común es considerar a la rehabilitación como sinónimo de restauración, o utilizar ambos términos indistintamente. En el capítulo 2, López y Guevara (2012) hacen una síntesis muy completa de la diferencia entre estos dos conceptos, detallan los diferentes niveles en los que se llevan a cabo, y explican que un planteamiento adecuado de los objetivos y los logros a obtener es fundamental para alcanzar el éxito en la restauración-rehabilitación. Lejos ha quedado la idea de llevar a cabo restauraciones encaminadas a restituir toda la diversidad del ecosistema y sus funciones. Ahora se acepta que la restauración-rehabilitación persiga la recuperación de las funciones del ecosistema, aún cuando no se incluya el grupo original de

especies. De acuerdo a lo que señalan López-Barrera y Guevara, lo ocurrido en la Cantera Cuautlapan sería una combinación de recuperación (*reclamation* en inglés) y rehabilitación. Estos autores incluyen además una discusión sobre los proyectos de restauración-rehabilitación llevados a cabo en México.

En el capítulo 3 de este libro Gallaga y Juárez (2012) exponen el proceso completo que realizó la empresa Holcim Apasco para rehabilitar las zonas afectadas, así como la estrategia y métodos utilizados y los logros alcanzados. Se trata de una contribución fundamental para entender los resultados del monitoreo ecológico mostrado en los capítulos subsiguientes, resaltando las figuras y fotografías que ilustran el cambio ocurrido a lo largo del tiempo en los diferentes tratamientos.

En el capítulo 4 Castillo-Campos y Juárez (2012) analizan la vegetación de los ambientes rehabilitados. Primero realizan una evaluación de la vegetación en los bosques aledaños para contar con una línea base. Más adelante presentan la composición de la vegetación en varias de las zonas rehabilitadas señalando que, debido a los objetivos de la empresa, se plantaron inicialmente especies exóticas de rápido crecimiento, las cuales establecieron las condiciones de cobertura y de fertilidad del suelo (fijación de nitrógeno y aporte de hojarasca), lo que a su vez facilitó la invasión posterior de especies nativas.

Fragoso *et al.* (2012) presentan en el capítulo 5 el monitoreo ecológico del suelo en los ambientes rehabilitados, incluyendo variables edáficas y bióticas de la fauna de invertebrados. Es poco común que el monitoreo de una rehabilitación incluya el estudio de los invertebrados del suelo, a pesar de que se ha señalado a estos organismos como un grupo de gran potencial indicador (Riggins *et al.* 2009). De todos los estudios presentados en este libro, el referente a la fertilidad del suelo que se incluye en este capítulo, es el más largo y abarca un periodo de 16 años. Los resultados indican que en lo que concierne a la diversidad de grupos de macro invertebrados del suelo, los tratamientos con árboles fueron más exitosos que los tratamientos con pastos; sin embargo, ninguna de las especies de árboles en particular tuvo un efecto sobre la macrofauna.

El monitoreo de los invertebrados del suelo señaló a las hormigas como el mejor grupo indicador del proceso de sucesión inducido por la rehabilitación. En el capítulo 6 Rojas *et al.* (2012) exponen los resultados del monitoreo de las hormigas que viven en el suelo, considerando todo el ensamble en su conjunto y cinco especies en particular. Los resultados muestran que aunque uno de los sitios rehabilitados alcanzó después de 15

años la riqueza de especies del bosque, ninguno de los tratamientos ha logrado alcanzar sus valores de diversidad. Por su lado, las poblaciones de las especies monitoreadas variaron de manera muy cercana a lo pronosticado para cada uno de los tratamientos.

En el capítulo 7 González-Romero y Rizo-Aguilar (2012) llevan a cabo la misma aproximación metodológica del capítulo 4 sobre vegetación, pero ahora con vertebrados. Primero presentan la evaluación de la composición faunística en los bosques circundantes y seis años después evalúan a las zonas rehabilitadas. Sus resultados indican que en lo que concierne a los anfibios y reptiles una de las zonas recuperó más del 100% de las especies de los bosques. En esa misma zona se encontró que 31% de las especies de anfibios y reptiles están protegidas por la NOM 059. En el caso de los mamíferos se recuperó alrededor de 48% de la diversidad de los bosques del cerro Buenavista.

En el capítulo 8 González-García *et al.* (2012) nos muestran cómo las aves han ido introduciéndose en las zonas rehabilitadas, aunque los resultados indican que ocho años no son suficientes para recuperar una parte sustancial de la diversidad presente en los bosques cercanos. Por ejemplo, solamente 56% de las especies registradas en el cerro Buenavista fueron encontradas en las zonas rehabilitadas, con valores de densidad y diversidad siempre menores a los de las tres zonas boscosas aledañas. En algunas zonas, la complejidad estructural de la vegetación permitió el anidamiento de ciertas especies, de modo que los ambientes rehabilitados actuaron no solamente como sitios de alimentación y percha sino también como lugares para la reproducción.

Es importante señalar que todos los estudios de monitoreo incluidos en este libro, tuvieron sitios control con los cuales comparar los patrones de las zonas rehabilitadas. Los controles fueron el bosque mesófilo y los achuales de selva mediana-bosque mesófilo que aún existen en el cerro Buenavista, dentro de los terrenos de la planta cementera y que constituyen una Reserva Ecológica de la propia empresa. Estos bosques jugaron un doble papel: al tiempo que funcionaron como línea base, sirvieron también como “foco de infección” de diversidad para los diferentes grupos de animales y plantas.

Al menos dos de los sitios designados desde el inicio del programa fueron monitoreados para todos los grupos de organismos, circunstancia que Fragoso y Rojas (2012) aprovechan para discutir, en las conclusiones del libro, cuál de los sitios rehabilitados fue el de mayor éxito en términos de la

recuperación de la diversidad y de las funciones asociadas, y si esto estuvo relacionado con una determinada metodología de rehabilitación. En este último capítulo también se señalan los estudios necesarios en el futuro y se enfatiza la continuación obligada del monitoreo.

Este libro ejemplifica la interacción entre una empresa (Holcim Apasco), una institución de investigación (INECOL) y un centro agroforestal de desarrollo comunitario (CECAF) para: i) rehabilitar un ecosistema altamente degradado y ii) evaluar la estrategia utilizada mediante un programa de monitoreo ecológico. También es un ejemplo del papel que las industrias deberían tener en el aprovechamiento responsable de los recursos naturales. Esperamos que sirva de aliciente a otras empresas y científicos para realizar proyectos conjuntos orientados a la recuperación de los ecosistemas degradados.

## 5. Bibliografía

- Castillo-Campos, G. y B. Juárez. 2012. La vegetación y su potencial en la rehabilitación ecológica en minas a cielo abierto en Orizaba, Veracruz. pp. 93-118. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Dodson, S. I., T. Allen, S. Carpenter, A. Ives, R. Jeanne J. Kitchell, E. Langston y M. Turner. 1998. *Ecology*. Oxford University Press. USA.
- Fragoso, C. y P. Rojas. 2012. Rehabilitación, restauración y monitoreo: retos ecológicos del siglo XXI. pp. 249-256. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Fragoso C., P. Rojas, M. Rodríguez y A. Ángeles. 2011. Cambios de la fertilidad y la fauna del suelo en ambientes rehabilitados de la Cantera Cuautlapan. pp. 119-144. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Gallaga, S. y B. Juárez. 2012. La rehabilitación ambiental implementada por CECAF y Holcim Apasco en la cantera Cuautlapan, Orizaba, México. pp. 45-90. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- González-García, F., J. Alducín y I. MacGregor-Fors. 2012. Las aves en una mina en proceso de rehabilitación. pp. 219-245. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- González-Romero, A. y A. Rizo-Aguilar. 2012. Anfibios, reptiles y mamíferos del cerro Buenavista y la cantera Cuautlapan: inventario y monitoreo. pp. 181-217. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.

- López-Barrera, F. y S. Guevara. 2012. La restauración del paisaje y sus ecosistemas. pp. 25-44. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Riggins, J. J., C. Davis y W. W. Hoback. 2009. Biodiversity of Belowground Invertebrates as an Indicator of Wet Meadow Restoration Success (Platte River, Nebraska). *Restoration Ecology*. 17(4): 495-505.
- Rojas P., D. Palacios, A. Ángeles y L. Hernández. 2012. Monitoreo de las hormigas del suelo en una mina de roca caliza rehabilitada. pp. 145-179. En: C. Fragoso y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Smith, T. M. y R. L. Smith. 2007. *Ecología*. Sexta Edición. Pearson Educación S.A. Madrid.
- Spellerberg, I. A. 1991. *Monitoring Ecological Change*. 1st Edition. Cambridge University Press. UK.
- Spellerberg, I. A. 2004 *Monitoring Ecological Change*. 2nd Edition. Cambridge University Press. UK.