



El primer contacto cercano que tuve con un río fue al cruzar el Pánuco en el famoso "chalán", que es un tipo de panga que cruza carros y personas de Mata Redonda, Veracruz, hacia Tampico, Tamaulipas. Todos los años cruzaba el Pánuco al menos dos veces en la búsqueda de vacaciones en casa de mis abuelos. A finales de los ochentas el puente Tampico le dio continuidad a la carretera costera del Golfo, sustituyendo al famoso y tardado chalán. Lo elevado de este puente hacía que el río se viera a unos cien metros de distancia. A pesar de que lo crucé múltiples veces tengo pocas imágenes del río en la memoria, de su color, sus olas y de la vegetación que lo rodeaba; mi recuerdo del río se basa más bien en lo ancho y lo tardado que era cruzarlo. Contrasta con los recuerdos precisos que tengo tanto del chalán como del puente. Esto se debe a que nadie me enseñó, como a muchos mexicanos, a ver los ríos y los lagos como interesantes sistemas que se pueden degradar y que hay que cuidar. Yo veía al río como a las carreteras: algo que hay que cruzar para llegar a la meta final. Quizá mi apreciación sobre el río hubiera sido otra si me hubiera enterado que el Pánuco está en una cuenca que se caracteriza por ser de las que tienen una mayor diversidad de peces dulceacuícolas del país. Mi percepción también hubiera sido diferente si me hubieran dicho que esta misma cuenca, como muchas otras habitadas en el país, cuenta con altos índices de contaminación en el agua y que a este efecto se le suman las altas tasas de asolvamiento, desecación, sobreexplotación de organismos y el efecto de especies exóticas introducidas. El Pánuco no es el único en estas condiciones; prácticamente todos los ríos

y lagos, pequeños o grandes, están muy deteriorados por todos o alguno de los males arriba mencionados. Las consecuencias de este deterioro pueden ser muy graves: reducción de la diversidad acuática, imposibilidad de utilización del agua, problemas de salud y pérdida parcial o total del cuerpo de agua.

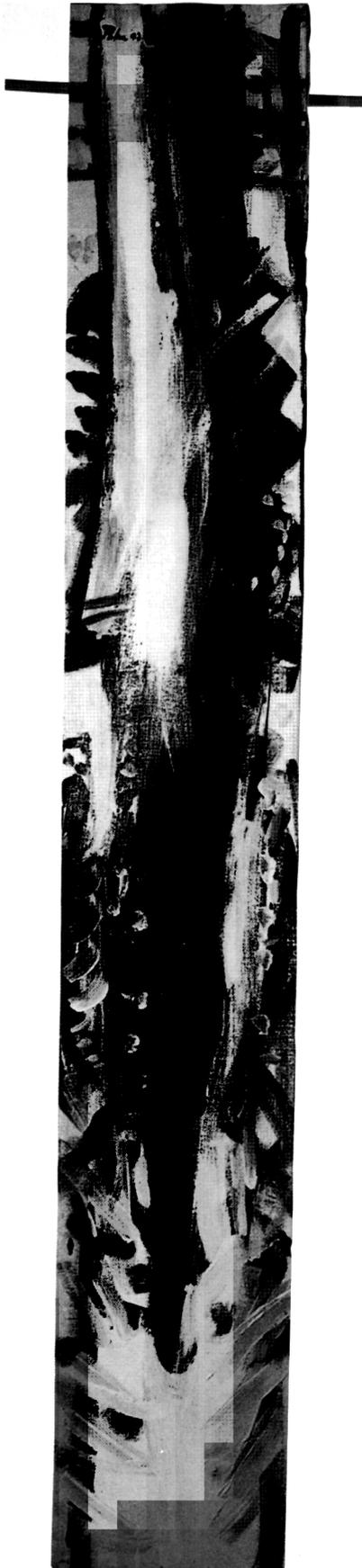
Decir que los ríos y los lagos están completamente deteriorados es un lugar común. También lo es el decir que hay que hacer esfuerzos descomunales para restaurarlos. Pero, ¿qué significa la restauración?, ¿cuánto se tarda llevarla a cabo y cuáles son los costos de ponerla en práctica?

El concepto de restauración es relativamente nuevo, por lo que todavía adolece del mismo problema que todos los conceptos en biología sufren durante sus primeros años: todo el mundo habla de ellos pero nadie tiene una visión sólida de lo que significan. Por lo cual cada quien se hace una idea diferente del concepto. Esto disminuye la capacidad de comunicación y debilita los argumentos a favor de la restauración de algún sistema.

La visión empírica que genera la palabra restauración sugiere el significado de revertir los daños producidos a un ecosistema, dejándolo exactamente igual a como estaba antes de la perturbación. Esta visión deja el concepto virtualmente en la utopía, puesto que la mayoría de los daños que causan las perturbaciones son irreversibles. Tal es el caso de la extinción de uno o varios organismos o los cambios drásticos en la geografía o geología de la región. Otro problema de esta visión empírica de la restauración es que asume que la sucesión ecológica cuenta con una sola dirección que llega a un único clímax.

La restauración

de ríos y lagos



Como consecuencia, si el sistema deja de ser perturbado volverá a su estado "natural". En la gran mayoría de las ocasiones esto no es cierto. Si se deja de perturbar un sistema éste podría volver a un estado similar al previo a la perturbación, pero muchas veces produce otro tipo de sistema muy diferente al original e incluso se queda como si se siguiera perturbando, lo cual pasa mucho en lagos.

Un tercer problema de esta visión empírica es la nula información ecológica que suele tenerse del sistema antes de la perturbación. Esto hace imposible el restaurarlo puesto que no se sabe como era antes. Un ejemplo de este problema es el que sufren los restauradores de los Everglades en Florida. Los cambios en este gran humedal que abarcaba todo el sur de la península de Florida se hicieron hace más de medio siglo y no se cuenta con información que sugiera cómo era la dinámica de los humedales en esa época. Muchos investigadores de Florida están buscando en la península de Yucatán sistemas no perturbados que se parezcan a los de los Everglades para usarlos como modelo similar en la restauración. Pero estos investigadores tienen suerte de contar con un sistema similar no perturbado, cosa que nosotros no tendríamos si seguimos destruyendo las últimas selvas inundables al desarrollar el turismo en el mar caribe.

Esta visión empírica del concepto no soporta el peso de la realidad una vez que los restauradores se enfrentan a un sistema perturbado. Es por esto que los restauradores han sugerido algunas palabras asociadas al concepto de restauración. Un primer concepto asociado es el de "rehabilitación"; ésta busca recuperar un sistema perturbado pero no con-

sidera que el sistema deberá quedar exactamente igual que como estaba antes. De esta manera se pueden hacer grandes esfuerzos para rehabilitar un sistema con el fin de que se parezca a lo que era en un principio sin el compromiso de que quede como estaba originalmente. Otro concepto asociado es la enmendación, que implica recuperar un sistema para dirigirlo hacia algo deseable por las personas que lo rodean, pero éste no se acerca siquiera a lo que el sistema perturbado era en un principio. Este concepto se utiliza mucho en los casos que en un sistema ha sido perturbado por alguna actividad productiva y al pensar en la restauración es imposible evitar que la actividad productiva se detenga. Por lo tanto se genera un sistema alternativo en el cual se recuperen algunos de los valores "ecológicos" del mismo sin perder su potencial productivo.

Considerando entonces la necesidad de volver realista el concepto de restauración para poderlo utilizar consistentemente, ha sido necesario juntar los conceptos mencionados. De esta manera la palabra restauración sugiere la manipulación de un sistema perturbado para mejorarlo, ya sea llevándolo a su estado original, a un estado similar al original o simplemente a un estado mejor. Así lo entendió la Sociedad para la Restauración Ecológica cuando en 1996 sugirió la siguiente definición de restauración: "La restauración ecológica es el proceso de recuperar y manejar la integridad ecológica de un sistema. Esta integridad incluye un rango crítico de variabilidad en biodiversidad, procesos ecológicos y estructuras en un contexto regional e histórico y sustentable para prácticas culturales". Aun cuando es una definición con algunas

lagunas, quizá su mayor valor es el de incluir todos los propósitos de los restauradores cuando se enfrentan a un sistema deteriorado (rehabilitarlo o enmendarlo, por ejemplo). También tiene la virtud de sugerir que los parámetros fundamentales a recuperar son la biodiversidad del sistema y sus procesos ecológicos.

La restauración en lagos y ríos

Los primeros países que se comenzaron a preocupar por restaurar sus ríos y lagos fueron los europeos y los norteamericanos. Esto responde a que el propio desarrollo industrial generó como consecuencia una degradación sustancial de sus ríos, que son por naturaleza un perfecto transporte de desechos, y sus lagos, que son el receptáculo final de estos desechos. A mediados del siglo pasado las deterioradas condiciones de los ríos y los lagos movieron a estos países a generar programas de manejo y restauración de los sistemas dulceacuícolas. Cabe mencionar que muchas de las teorías básicas de restauración se han generado con base en estudios en ríos y lagos, puesto que el efecto de la contaminación y la degradación en un sistema dulceacuícola es mucho más evidente y rápido que en un sistema terrestre.

Con tantas variables en juego y tantas dinámicas diferentes en cada lago o río no existe una receta básica a seguir. Pero en el momento de generar un programa de restauración son indispensables los siguientes factores que a continuación se mencionan: a) el régimen hídrico, b) la concentración de químicos en el agua, c) la estructura de la red trófica, y d) la erosión de los sedimentos y la colonización de las plantas.

El régimen hídrico

El primer paso para restaurar un cuerpo de agua es que tenga agua. Aun cuando esto suena bastante obvio es fundamental considerarlo en países como el nuestro en donde existen problemas de escasez de agua. Por ejemplo, el lago de Chapala ha visto disminuida su área de manera considerable en los últimos cincuenta años. De hecho existen asentamientos humanos y producción agrícola sobre lo que antes de la Segunda Guerra Mundial fue el fondo del lago. El daño no se ha detenido ahí, en estos momentos el lago se contrae en un gran porcentaje durante la época de secas, en particular en las zonas someras del mismo. Esto se debe a que el agua con poco volumen se calienta lo suficiente para evaporarse, mientras que en las zonas con mucho más volumen la temperatura del agua se mantiene más homogénea y evita una evaporación tan grande. En época de secas existen grandes planicies que generan tolvaneras en toda la zona. El mismo problema han sufrido los lagos de Cuitzeo y Texcoco, entre otros. De hecho el gran proyecto de restauración del lago de Texcoco basó sus elementos en la necesidad de regenerar el vaso receptor de la cuenca con el fin de que pudiera capturar agua de nuevo. El éxito de esta restauración se hace evidente en la ciudad de México al no volver a ver esas nubes cafés generadas por las tolvaneras de la región y también en la reaparición de las aves migratorias.

Volviendo a Chapala, para evitar la pérdida de agua dentro de los lagos por evaporación, hay investigadores que sugieren que se represe el lago en las zonas más someras con el fin de mantener el mayor volumen po-



sible en las partes profundas. La solución mejorará la capacidad de retención del agua pero puede acarrear modificaciones en la vida de los organismos que habitan el lago. Esto se debe a que los sistemas dulceacuícolas mexicanos dependen en gran medida de la época de lluvias. Así, en la época de secas muchos de los ríos y lagos se ven naturalmente reducidos (y algunos hasta desaparecen), mientras que en la época de lluvias estos ríos y lagos se mantienen caudalosos y profundos. Los organismos nativos están acostumbrados a estos cambios que ocurren a lo largo del año, de tal manera que generar un sistema homogéneo durante todo el año, aun cuando suene más estable, en realidad puede estar perjudicando a un gran número de poblaciones de peces, invertebrados y anfibios que necesitan de una época de secas para continuar con sus ciclos de vida.

En conclusión, considerar el régimen hídrico es fundamental en las prácticas de restauración de un río o un lago, y hay que ajustarlo tanto a las necesidades físicas del sistema (forma, tamaño, profundidad, capacidad de evaporación, olas, entre otras) como a las necesidades bióticas (qué tipo de dinámicas genera más diversidad que otra).

La concentración de químicos en el agua

En los primeros pasos de las técnicas de restauración de cuerpos de agua se contemplaban básicamente factores ligados a la contaminación. Por lo tanto, la gran mayoría de los esfuerzos están dedicados a disminuir algunos químicos disueltos en el agua y cantidades de bacterias patógenas. Las plantas de tratamiento que capturan los químicos dañinos y las bacterias

más agresivas que los digieren se volvieron fundamentales para este tipo de restauración. De esta línea de restauración ha surgido una gran cantidad de tipos de plantas de tratamiento. La ingeniería hidráulica ha desarrollado desde plantas para industrias y ciudades, que son costosas de construir y mantener, hasta plantas tipo "hágalas usted mismo", que sirven primordialmente para controlar los desechos de pequeñas comunidades rurales. Un ejemplo de la forma en que se ha tratado de atacar el problema de la contaminación en México es el programa que se llevó a cabo durante el sexenio pasado, el cual obligaba prácticamente a todos los municipios de la cuenca del Lerma a poner plantas de tratamiento en las comunidades más grandes. Esto se llevó a cabo más o menos con cierta prontitud, sin embargo el costo del mantenimiento de las plantas de tratamiento ha vuelto obsoletas muchas de ellas, y éstas han dejado de surtir agua de calidad moderada a lagos tan importantes como Xochimilco, en donde el agua de más baja calidad es la que está cerca de las mismas plantas de tratamiento, o Pátzcuaro, donde hace algunos años la planta de tratamiento era completamente inútil y los desechos del pueblo llegaban directamente al lago.

Un paso paralelo a la reducción de contaminantes ha sido el de tratar de aminorar la cantidad de fitoplancton en el agua (algas que flotan en el agua y que le dan un color verdoso). El agua verde puede generar desde problemas de disminución en la diversidad y el oxígeno disuelto, hasta de salud humana, puesto que existen algas que en grandes cantidades pueden ser tóxicas (*Microcystis*). El agua verde es poco agradable a la vista y genera olores fétidos. Por lo

tanto, a pesar de que la mayoría de los capitalinos estemos acostumbrados a las aguas verdes del lago de Chapultepec, éstas no son ni las más sanas ni las más agradables y se puede hacer mucho para mejorarlas.

Para disminuir las probabilidades de tener un lago con agua verdosa turbia, los restauradores buscan reducir uno de los recursos primordiales del fitoplancton: la cantidad de nutrientes en el agua, en particular el fósforo. Similar a lo que pasa con los fertilizantes en los cultivos, el fósforo en el agua ayuda a crecer al fitoplancton, lo cual pone el agua verde en horas o días. La forma de reducir la concentración de fósforo en el agua es a base de precipitadores, lo cual fue popular para restaurar lagos en la década de los setentas y a la fecha se sigue utilizando. Sin embargo cuentan con el defecto de que es necesario hacerlo constantemente. Esto se debe a que la precipitación del fósforo no lo elimina del sistema, sino que nada más lo inutiliza, pero puede ser reincorporado al agua en cualquier momento. Por otra parte, no funciona mucho en lagos de gran tamaño puesto que la solución puede ser muy costosa.

Otro elemento que se utiliza para mejorar el balance químico en la columna de agua es el de poner grandes bombas de circulación de agua para oxigenarla, el mismo principio que se utiliza en las peceras. Este tipo de soluciones es muy útil para lagos pequeños de zonas urbanas, pero no es práctico poner muchas bombas en lagos de gran tamaño.

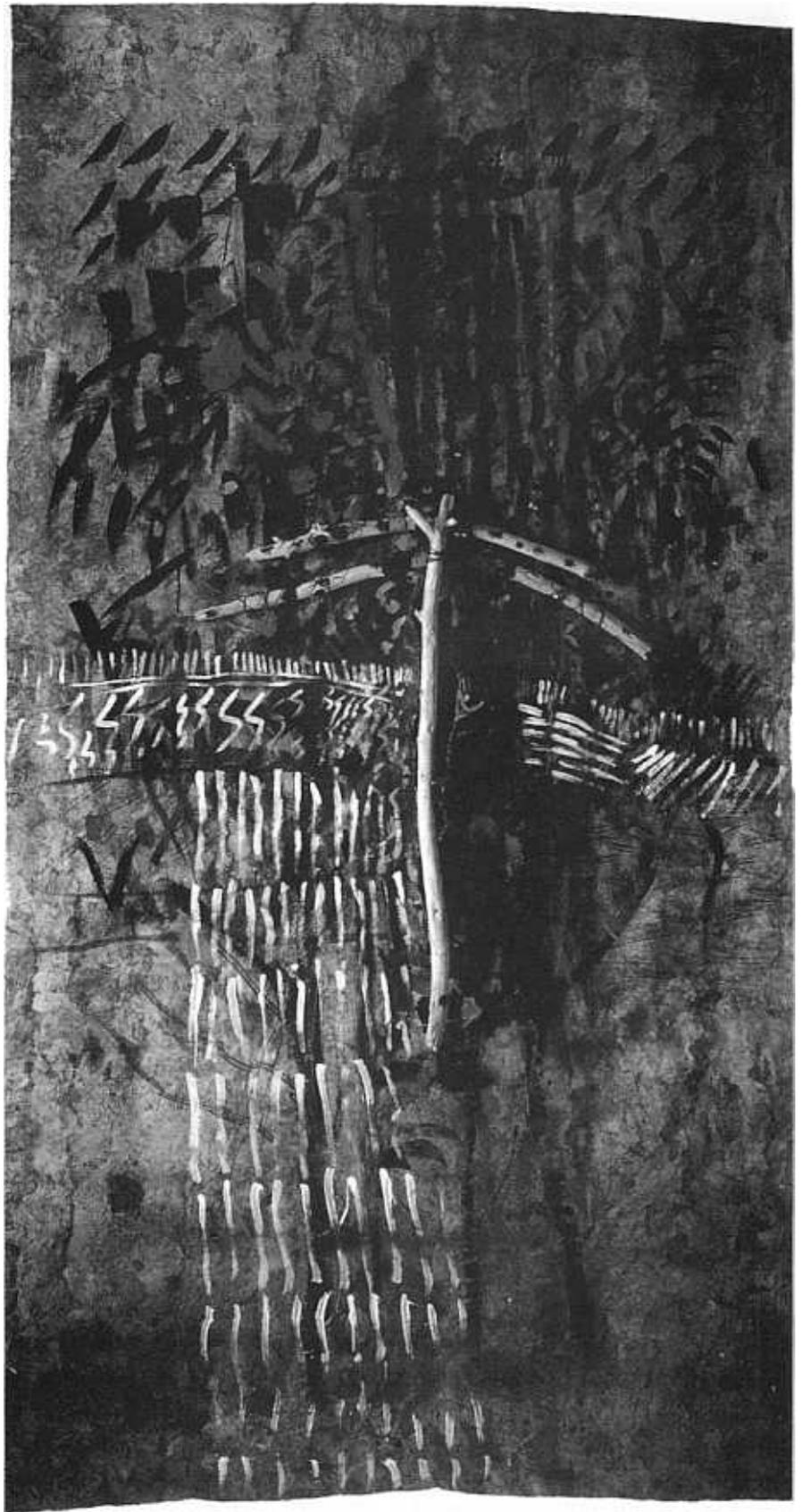
La teoría ecológica en la que estas soluciones de restauración se basan es que las condiciones y los recursos son los que controlan la cantidad de algas verdes en la columna de agua. Consideran, por lo tanto, que el con-

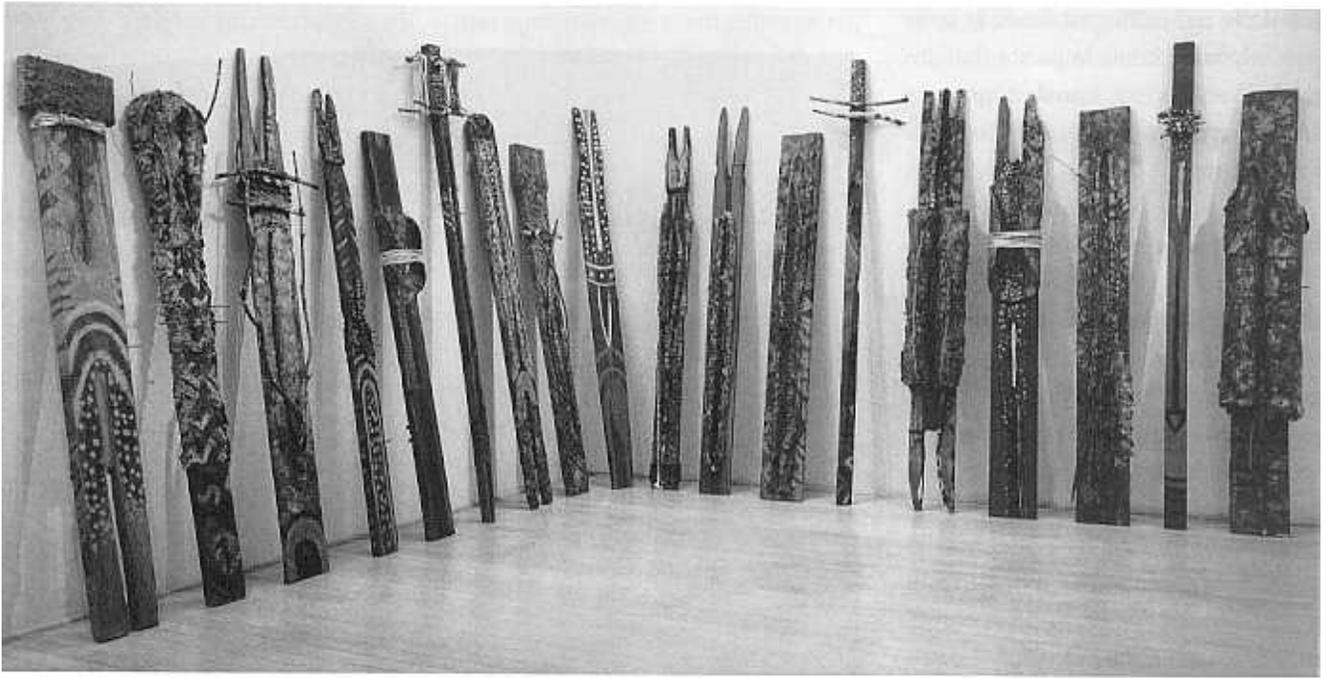
trol de la red trófica va desde la base (los recursos) hacia la punta (los depredadores). A este tipo de conceptos se le llama primordialmente "control ascendente".

La estructura de la red trófica

Después de la generación de conceptos de restauración de los ríos y los lagos a partir de la modificación de variables abióticas, en los últimos años se han generado soluciones con base en enfoques más integrales, los cuales no utilizan únicamente el concepto de control ascendente, sino también modifican la estructura de la comunidad, lo cual puede ser útil para restaurar. Así como las variables abióticas influyen sobre la posibilidad de supervivencia de los organismos, éstos también son capaces de modificar algunas de las condiciones y recursos en donde se encuentran. Por ejemplo, el tipo y la cantidad de peces, invertebrados o zooplancton pueden modificar variables como la concentración de nutrimentos o lo turbio del agua.

Con base en este tipo de conceptos la cantidad de algas que hay en la columna de agua puede estar controlada por los últimos peldaños en la pirámide trófica. Las poblaciones de fitoplancton pueden estarlo por la presión de depredación del zooplancton. Cuando hay demasiado zooplancton la cantidad de fitoplancton baja. Para que haya zooplancton en cantidad suficiente debe haber pocos peces zoopláncidos y para que haya una minoría de peces de este tipo debe haber muchos piscívoros. Así, para que el agua no esté verde es necesario contar con muchos depredadores de peces pequeños. A este tipo de control se le llama "control descendente",





y a la modificación de la estructura de la comunidad de peces para mejorar el estado del lago se le ha llamado "biomanipulación".

A raíz de que surgió este tipo de concepto se implementaron programas dirigidos a la erradicación de especies de peces zooplanctívoros y al fomento de la producción de especies piscívoras. Este tipo de programas se desarrollaron en gran medida en lagos someros del norte de Europa y de Estados Unidos. Los resultados fueron ambiguos: en algunos casos el programa fue exitoso y en otros muchos fue un rotundo fracaso. En consecuencia, los resultados generaron un fuerte debate entre las escuelas europeas a finales de los ochentas y principios de los noventas, mismo que se centró en la competencia por ver cuál control, el ascendente o el descendente, era el que mejor funcionaba en los programas de restauración de lagos someros. Con el paso del tiempo y a raíz de múltiples experiencias en diferentes programas

de restauración, la discusión sobre los dos tipos de control ha venido disminuyendo, dando paso a teorías que abarcan ambos.

En el caso particular de lagos tropicales como los mexicanos, estos tipos de control no son tan evidentes puesto que las concentraciones de nutrientes en lagos mexicanos generan efectos muy diferentes en el crecimiento poblacional del fitoplancton al los de los lagos templados. Además, la capacidad de forrajeo del zooplancton en los lagos tropicales aparentemente es mucho menor a la de los templados, por lo que es más difícil generar agua transparente por medio de la disminución de los zooplanctívoros. Existe otro tipo de diferencia, como la temperatura media anual y la precipitación, que también modifica considerablemente las respuestas de las poblaciones de algas. Por lo tanto, los programas de restauración en los lagos mexicanos con base en este tipo de teorías deben sufrir una serie de modificaciones fundamen-

tales si se quiere contar con cierto éxito. Los restauradores mexicanos cuentan con un campo virgen para la investigación del mejoramiento de lagos por medio de la modificación en las redes tróficas.

La erosión y las plantas sumergidas

Ahora bien, la restauración de un sistema acuático debe de incluir también la erosión del sedimento en las orillas del lago o las paredes del río. La erosión de las paredes de ríos y lagos trae consigo graves consecuencias que repercuten en el asolvamiento y en la disminución de la profundidad del cuerpo de agua. Las olas y las corrientes son los actores principales dentro de los factores abióticos que generan erosión de los sistemas. Los ríos caudalosos siempre contarán con paredes erosionadas, así como aquellos ríos en donde pasan muchos botes de motor, generando olas que chocan perpendicularmente con las paredes. Los canales de Xochimilco,

por ejemplo, tienen este tipo de problemas, por lo cual las lanchas de motor han sido fuertemente restringidas, y sólo se usan para actividades muy necesarias. Además de esto, en algunos ríos se producen barreras artificiales que disminuyen el efecto de las olas.

Dentro de las variables bióticas que pueden generar erosión en los cuerpos de agua se encuentran primordialmente los organismos bentívoros, como por ejemplo las carpas, que son peces nativos de China e introducidos en casi todos los lagos de México. Estos organismos comen animales y semillas depositados en el fondo mordiendo el sedimento, aflojándolo y haciéndolo más susceptible al efecto de las olas y las corrientes. No es de extrañarse, por lo tanto, que en lugares donde hay poblaciones grandes de carpas el lago esté muy turbio de sedimentos y haya perdido su profundidad.

Es probable que la población tan alta de carpas en Xochimilco sea una de las causas de que las paredes de las chinampas se estén resquebrajando,

así como del color café del agua en lagos como el de Pátzcuaro.

Una forma de evitar la erosión, además de erradicar a las carpas del sistema donde han sido introducidas, es el fomentar la colonización de algunas especies de plantas sumergidas, que no sean malezas y por lo tanto no se conviertan en plaga. Las plantas afectan la capacidad de las olas para erosionar las paredes puesto que funcionan como matatenas en un malecón, ya que reducen la fuerza de las olas y corrientes que generan la erosión.

Por lo tanto, las plantas y algas filamentosas sumergidas pueden servir como anclas del sedimento para evitar que éste se resuspenda y con él una fuerte cantidad de nutrimentos capturados en el fondo. Además, las plantas sumergidas son el hábitat ideal de muchos peces e invertebrados, lo cual fomenta la diversidad de un sitio al contar con mayor número de ambientes para diferentes especies. De hecho, las experiencias de restauración en los humedales de Costa Rica hacen mucho énfasis en la recu-

peración de las plantas para mejorar el lugar.

Conclusión

Con el paso de los años los restauradores han llegado a la conclusión de que depende demasiado del tipo de sistema y del tipo de perturbación al enfocarse en alguno de los cuatro factores arriba mencionados. Es muy probable que en muchos de los casos sea necesario atacar dos, tres o las cuatro rutas mencionadas; y de su correcto balance dependerá el éxito del programa de restauración. La compleja trama que se maneja al tratar de restaurar un río o un lago no permite tener certeza alguna en el momento de aplicar un programa.

Es por esto que, en muchas ocasiones, aun cuando se crea que con algunas medidas se va a alcanzar el éxito, se producen modificaciones que dejan en igual o peor estado el sistema que se quería restaurar. Es fundamental por tanto considerar este tipo de modificaciones para evitar graves problemas ecológicos. 



Luis Zambrano
Instituto de Biología,
Universidad Nacional Autónoma de México.

IMÁGENES

Instalaciones de Marta Palau de la exposición *Naualli-Centinelas*. P. 36: *Naualli-Círculo Ritual*, 1992, cerámica. P. 38: *Naualli-Centinelas I*, 1992, técnica mixta sobre tela. P. 39: *Naualli-Centinelas III*, 1992, técnica

mixta sobre tela. P. 41: *Naualli-Estandarte I*, 1992, técnica mixta sobre papel amate. P. 42: *Naualli-Centinelas*, 1993, instalación de 18 esculturas, madera, papel amate y adobe. P. 43: *Naualli-Gestación*, 1992, adobe, madera y papel amate.