



# Interfase Hombre/Recurso Natural

## Mitigación de la Contaminación

### **Soluciones Propuestas**

Partiendo del lago y sus crecientes índices de contaminación, de múltiple y diversa procedencia, antes de introducirnos al terreno particular del saneamiento, tomaremos las reflexiones vertidas por los expertos del comité científico de ILEC, donde se brinda conocimiento de cual es el espectro de consideraciones y métodos aplicados y aplicables actualmente en cuanto a la mitigación de los efectos que la polución produce, los que no resultan fáciles de determinar en todos los sitios, ni tampoco generalizar métodos de mitigación que sean aplicables a todos los casos y regiones.

### **El Modelado como Herramienta para Interpretar los fenómenos**

En la gestión ambiental los modelos son utilizados en forma creciente como herramienta de investigación, la que está en condiciones de relacionar cuantitativamente el impacto en un ecosistema acuático con las consecuencias que inciden y determinan el estado del ecosistema.

Como los modelos de ecosistemas acuáticos han sido particularmente desarrollados durante las últimas décadas, no es de sorprender que los modelos hayan encontrado un amplio rango de aplicaciones en la gestión de lagos y reservas.

Los modelos ecológicos pueden ser comparados con los mapas geográficos (los que también son modelos). Diferentes tipos de mapas sirven a diferentes propósitos. Los hay para aeronavegación, para la náutica, para el transporte carretero, para redes de ferrocarriles, geológicos, arqueológicos, biológicos, y así, para el sinnúmero de aplicaciones posibles.

Son todos distintos porque se focalizan en diferentes objetos y también se realizan en diversas escalas de acuerdo a la aplicación del mapa al conocimiento subyacente. Más allá, un mapa nunca contiene todos los detalles para un área geográfica determinada porque sería irrelevante y distraería al propósito del mapa. Si un mapa contuviera todos los detalles, por ejemplo incluyendo las posiciones de todos los vehículos en un tiempo dado, el mapa quedaría invalidado muy rápidamente mientras los vehículos hubieran variado a nuevas posiciones. Por lo tanto un mapa contiene sólo aquel conocimiento que es relevante para el usuario del mapa.

### **Técnicas Mitigadoras**

El hecho de que exista disponibilidad de un amplio espectro de técnicas mitigadoras implica que al seleccionar la combinación de métodos más adecuada, deben hacerse una cantidad apreciable de consideraciones. La base para el desarrollo de un buen plan de gestión a toda escala es contar con un conocimiento lo más abarcativo posible de las fuentes de polución y de las propiedades del ecosistema. La tarea que implica obtener este conocimiento constituye en sí un problema complejo debido a las diversas fuentes potenciales y las diversas descargas de nutrientes (fósforo y nitrógeno).

Debido a la complejidad del problema se recomienda enfáticamente aplicar balances de masa y modelos a fin de tener un panorama de las posibilidades de gestión.

Las fuentes de contaminación pueden ser puntuales o no puntuales, lo que requiere abordajes completamente distintos al problema. En principio, hay dos tipos de técnicas mitigadoras disponibles: la tecnología ambiental y la ecotecnología. La primera intenta eliminar o reducir los componentes indeseados de las aguas residuales que ingresan al lago mediante el uso de tecnologías de tratamiento adecuadas, mientras que la segunda intenta modificar el ecosistema o su entorno para acelerar el proceso de restauración o reducir las concentraciones de componentes indeseados tanto en el lago como en el agua natural que ingresa al mismo. La tecnología ambiental se utiliza principalmente para resolver los problemas generados por las fuentes puntuales y la ecotecnología para hacer lo propio con las no puntuales, para mejorar la resistencia del ecosistema a la polución o para acelerar su transferencia a un estado más favorable. La primera es una medida de control externa mientras que la segunda puede ser considerada tanto una medida de control externa como interna.

Una estrategia óptima de gestión lacustre requerirá la aplicación de un amplio espectro de métodos basados en una combinación de las dos tecnologías arriba secriptas. No podría esperarse que un problema complejo tuviera una solución simple.

## **Aplicación de Tecnología Ambiental**

Durante las últimas dos décadas la tecnología de tratamiento de aguas residuales ha avanzado rápidamente, por lo que hoy disponemos de una variada gama de métodos que cumplen con casi cualquier criterio de calidad de agua.

A continuación se da un panorama de los métodos de tratamiento aplicados habitualmente para desagües industriales como domésticos. En la tabla siguiente se indica el problema específico, el método para solucionarlo y la eficiencia de remoción generalmente lograda por este último.

Como la eficiencia depende de la composición del efluente, de la temperatura y del pH, estas indicaciones deben ser tomadas con la debida cautela. Existe además una relación entre los métodos de tratamiento y los parámetros de contaminación de las aguas residuales, por lo que las eficiencias que se indican son las mejores obtenibles.

**Panorama de los métodos de tratamiento de aguas residuales aplicados generalmente**

<b>Método</b>	<b>Problema de contaminación</b>	<b>Eficiencia</b>
Tratamiento Mecánico	Remoción de material suspendido Reducción de DBO <sub>5</sub>	0.75 - 0.90
Tratamiento Biológico	Reducción de DBO <sub>5</sub>	0.70 - 0.95
Precipitación química Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> o FeCl <sub>3</sub>	Remoción de fósforo Reducc. de concentración de metales pesados Reducción de DBO <sub>5</sub>	0.85 - 0.95 0.80 - 0.95 0.50 - 0.70
Separación de amoníaco	Remoción de amoníaco	0.70 - 0.95
Nitrificación	El amonio se oxida a nitrato	0.80 - 0.95
Adsorción en carbón activado	Remoción de DQO (sustancias tóxicas) Reducción de DBO <sub>5</sub>	0.40 - 0.95 0.40 - 0.70
Denitrificación luego de nitrificación	Remoción de nitrógeno	0.70 - 0.90
Intercambio iónico	Reducción de DBO <sub>5</sub> (p.ej., proteínas) Remoción de fósforo Remoción de nitrógeno Reducc. de concentración de metales pesados	0.20 - 0.40 0.80 - 0.95 0.80 - 0.95 0.80 - 0.95
Oxidación química (p.ej., con Cl <sub>2</sub> )	Oxidación de compuestos tóxicos (p.ej., CN <sup>-</sup> , N <sub>2</sub> )	0.90 - 0.98
Extracción	Metales pesados y otros compuestos tóxicos	0.50 - 0.95
Ósmosis inversa	Remoción de poluentes	Onerosa pero de alta eficiencia
Métodos de desinfección	Reducción de microorganismos	Elevada pero difícil de indicar

La solución de problemas de esta naturaleza implican a menudo la combinación de dos o más métodos. En ese caso la eficiencia del tratamiento es dependiente de las eficiencias de los pasos individuales.

Si bien en las prácticas se necesita una gran profundización a nivel de detalle, la posesión de algunas primeras estimaciones, como las presentadas en la tabla, permitirá hacer consideraciones preliminares sobre las posibles soluciones a plantear para los problemas de contaminación por efluentes líquidos.

## Aplicación de la Ecotecnología

La ecotecnología, denominada también ingeniería ecológica, surgió durante la última década como consecuencia de los resultados insuficientes logrados por la sola aplicación de la tecnología ambiental, ver Jorgensen y Mitsch (1988). Ofrece un amplio espectro de posibilidades pero debe trabajar mano a mano con la tecnología ambiental para lograr el mejor plan de gestión posible.

Estos métodos tratan ya sea con las fuentes no puntuales de polución como de intentar hacer volver lo más rápidamente posible al lago a su situación de equilibrio natural. . Como puede observarse en la siguiente tabla, las medidas de control pueden ser externas e internas, lo que da un panorama de las medidas mitigadoras ecotecnológicas

## **a. Medidas de Control “Externas”**

1. Protección de la cuenca
  - Forestación
  - Cambios en el uso del suelo
  - Tratamiento de desagues cloacales
2. Pre-embalses
3. Control de nutrientes en aguas Fluviales Entrantes.

## **b. Medidas de Control “Internas”**

1. Manipulaciones físicas
  - Mezclado y desestratificación térmica
  - Aereación, aumento de oxígeno hipolimnético.
  - Retiros de agua selectivos.
2. Manipulaciones Químicas
  - Precipitación de nutrientes interna.
  - Sellado y remoción de sedimentos.
3. Manipulaciones de la Biota
  - Cosechas mecánicas
  - Medidas químicas de control (alguicidas, herbicidas, isnecticidas)
  - Medidas de control biológicas.

La aplicación de la ecotecnología en la restauración de lagos es muy ilustrativa puesto que tales métodos han sido expresamente utilizados en tales cuerpos de agua y puede demostrarse claramente que para lograr buenos resultados en materia de gestión lacustre se necesita aplicar varios métodos - tanto de tecnología ambiental como de ecotecnología - simultáneamente. La contaminación de lagos constituye un problema muy complejo y, como se señalara en la

introducción, muy raras veces puede ser resuelta mediante un único método, mucho menos si este es simple. No es sorprendente entonces que una buena solución para un problema complejo resulte también compleja, y que se haya utilizado ampliamente a la modelación para seleccionar las estrategias de gestión de lagos que brinden un panorama óptimo del complicado problema planteado.

Mediante el uso de modelos puede también obtenerse otro panorama de los métodos ecotecnológicos aplicados en la restauración de lagos. Mediante los modelos de eutroficación sabemos que el crecimiento algal es función de la luz, del nitrógeno inorgánico insoluble, del fósforo inorgánico soluble, del carbono inorgánico soluble, de la tasa de sedimentación del tiempo de retención y de la tasa de pastura (cadena alimentaria pastoril).

Los métodos pueden ser clasificados según el factor que cambie ya sea en el lago o por disminución del ingreso o incremento del egreso, es decir por la modificación de funciones de fuerza. Puede aplicarse también el principio de esta clasificación a los problemas de sustancias tóxicas y de acidificación.

En este estudio se incluye asimismo a la reaeración artificial puesto que ésta es extensivamente usada en materia de restauración de lagos para obtener mejores condiciones de oxígeno. Se trata, por lo tanto, de un método que mejora el potencial redox (reducción-oxidación) del agua del lago.

El sedimento anaeróbico libera, en general, más fósforo que aeróbico, ya que este último contiene hierro en estado de oxidación tres, mientras que aquél que contiene hierro en estado de oxidación dos. El hierro (III) es mucho más insoluble que el del hierro (II). Estos procesos pueden causar un efecto amplificador ya que el aumento de eutroficación significa una mayor producción de fitoplancton, el que sedimentará proporcionando un aporte elevado de materia orgánica al sedimento. Este se volverá anaeróbico, lo que implica una mayor liberación de fósforo que contribuirá a incrementar más la eutroficación, etc. Si el sedimento se vuelve lo suficientemente anaeróbico (bajo potencial redox), pueden generarse sulfuros, y como el sulfuro de hierro (II) es altamente insoluble, ello coadyudará a una ulterior liberación de fósforo. Puede concluirse entonces que, en los lagos las condiciones redox están íntimamente relacionadas al reciclaje de nutrientes.

La aereación puede también ser capaz de disminuir la eutroficación. Ello se logra si el aereador hace circular el agua elevando la del fondo y reemplazándola por la que se encuentra en el estrato superior, que puede estar sobresaturada con el oxígeno producido por la fotosíntesis. Las algas son llevadas hacia abajo al hipolimnio oscuro, donde las condiciones lumínicas son desfavorables para su crecimiento. El efecto es más pronunciado y eficiente si la profundidad supera a los 5 metros.

Algunos métodos sirven a dos propósitos, mejorar las condiciones de oxígeno y modificar la concentración de nutrientes en el agua del lago. Esto es lo que ocurre cuando se hace sifón con el agua del hipolimnio hacia aguas abajo, ya que ésta tiene una baja concentración de oxígeno y una elevada concentración de nutrientes.

A menudo el estrato superior del sedimento tiene una concentración de nutrientes mayor que los

estratos inferiores. El fósforo del estrato superior puede ser no intercambiable por estar confinado a compuestos químicos insolubles, o intercambiable, por ejemplo, por estar ligado a compuestos orgánicos y, luego de la descomposición de materia orgánica, quedar liberado. Consecuentemente, la remoción del estrato superior del sedimento será ventajosa por lo que se reducirá la liberación de fósforo a partir de este último. Esto fue realizado sólo en un caso - el Lago Trummen en Suecia y resultó un éxito parcial. Si el estrato superior del sedimento contiene sustancias tóxicas, puede considerarse que este método resulta bastante atractivo aunque, como es muy oneroso, parecería más aconsejable aplicarlo sólo en el caso de lagos pequeños y muy valiosos.

La disminución del tiempo de retención tiene también un efecto positivo en la eutroficación, y asimismo implica una menor concentración de sustancias tóxicas, si ello constituye un problema de polución para el lago. El método es llevado a cabo mediante la descarga al lago de aguas no contaminadas. En los reservorios las presas pueden controlar los tiempos de retención. El uso de estas últimas no sólo permite este tipo de modificación sino también el de la profundidad y el volumen del agua. En general, un tiempo de retención más largo significa un aumento de la eutroficación y un volumen más grande, una disminución de la misma. Por lo tanto es necesario utilizar modelos que predigan el efecto global de estos cambios en el balance hidrológico del lago o reservorio. Una complicación ulterior es la constituida por el suelo expuesto al agua del lago al aumentar la profundidad. Este estará en un estado oxidado por lo que, en general, tendrá una gran capacidad de fósforo no intercambiable. Si esta nueva área sedimentaria resulta significativa en superficie, un aumento de profundidad puede causar un cambio esencial en el balance de fósforo de todo el lago.

También es posible remover el fósforo del agua del lago directamente. Esta puede ser bombeada a través de una columna de óxido de aluminio activado que remueve muy efectivamente al fósforo, o filtrada para hacer lo propio con el fitoplancton. El agua del lago así tratada es devuelta al mismo con concentraciones reducidas de fósforo soluble o fitoplancton respectivamente, con lo que se obtiene como resultado una disminución de la concentración total de nitrógeno y fósforo.

También puede aplicarse directamente una precipitación mediante la utilización de sulfato de aluminio o cloruro de hierro (III). Este método ha arrojado, no obstante, resultados menos prometedores en lagos poco profundos, ya que el viento puede agitar los flóculos formados durante la precipitación.

Si las fuentes de polución de un lago son distribuidas o difusas, el problema es generalmente más difícil de resolver. El uso de tierras pantanosas resulta habitualmente un método factible que puede aplicarse para la remoción de poluentes no puntuales. Estas tierras pantanosas poseen a menudo un sedimento anaeróbico y, por lo tanto elevada tasa de denitrificación.

Además, el suelo que las constituye tienen una alta capacidad de captura de fósforo, pesticidas y otros contaminantes. Finalmente las plantas que se desarrollan en este tipo de tierras captan fósforo y nitrógeno e incluso, otros poluentes, todos los cuales pueden ser removidos con la cosecha de las mismas.

Una idea similar subyace en la utilización de pre llenados. Los lagos y reservorios tienen una

capacidad de retención de fósforo, lo que implica que la concentración de éste en el agua que egresa del cuerpo de agua que se trate es menor que la que ingresa al mismo. La retención del fósforo se incrementa con la disminución del tiempo de retención hidráulica y la profundidad media, siendo menor en lagos o reservorios con un hipolimnio anóxico. Consecuentemente, la construcción de un lago artificial frente a otro ( a esto se denomina pre-llenado) puede tener un efecto positivo importante en la eutroficación. Se han desarrollado modelos para evaluar la retención de fósforo de los pre-llenados (Uhlmann y Beundorf, 1976 y 1980) los que son sustentados de manera excelente por datos independientes (Wilhelmus et al., 1978).

La presencia de sustancias húmicas en el agua del lago puede tener un efecto pronunciado en la eutroficación debido a la modificación significativa en el coeficiente de extinción del agua. Las sustancias húmicas están constituidas por materia orgánica natural coloreada, pero el coeficiente de extinción puede asimismo verse alterado por la acción del hombre, como es particularmente el caso de la contaminación derivada de las fábricas de papel.

Se ha utilizado también la modificación del coeficiente de extinción para disminuir el crecimiento de fitoplancton.

Otras posibilidades incluyen el sombreado de riberas con árboles o vegetación flotante. En el caso de reservorios pequeños de tanques tuvo bastante éxito el empleo de láminas plásticas no transparentes, cuentas plásticas o tizne.

Durante los últimos años se ha estudiado muy intensamente a la biomanipulación. La idea consiste en incrementar la pastura sobre el fitoplancton pero todavía no está suficientemente claro si el método puede ser utilizado por sí solo o si únicamente puede ser empleado para llevar más rápidamente al ecosistema a un nuevo estado estable una vez que se ha modificado a la función de fuerza.

Es prácticamente imposible dar directrices generales sobre qué combinación de métodos ecotecnológicos y de tecnología ambiental usar para resolver un problema dado de contaminación en un lago. Ello requiere que en cada caso se desarrolle un modelo capaz de tomar en cuenta, al ecosistema, al problema, al ambiente y a las fuerzas de polución. Empero, es posible dar algunas directrices iniciales basadas en las consideraciones del balance de masa.

Ante una situación típica del balance de fósforo y nitrógeno en gran cantidad de lagos poco profundos, a partir de dicho balance queda claro que la mayor reducción en el ingreso de fósforo se logra mediante el tratamiento de aguas residuales.

Luego se realiza un balance de masa poco después de haber cesado la descarga de efluentes al lago de lo que puede observarse que en el momento inmediato posterior al cese, la carga interna es pronunciada por la acumulación de fósforo en el sedimento.

Por último se realiza un balance de masa una vez que el lago ha alcanzado un nuevo estado de equilibrio. De manera adicional se crea un área de tierras pantanosas frente al tributario principal a

fin de remover el fósforo y nitrógeno a través de la cosecha de las plantas realizada en el momento preciso en que la concentración de ambos elementos en las fragmitas está en su punto máximo.

A partir de la comparación de los tres balances de masa se concluye que la muy pronunciada reducción del nivel de eutroficación sólo se obtiene por aplicación de la combinación de los métodos ecotecnológicos y de tecnología ambiental descriptos.

## La Biomanipulación

Los ecosistemas de los lagos y de las islas parecen ser homólogos en lo que hace a su intolerancia a la invasión de especies exteriores de plantas y animales, probablemente porque ambos ecosistemas están compuestos por una biota limitada que puede mejorar por azar a menos firme en comparación con los situados en el océano o en el continente.

Debido al transporte y comunicación inter-continental en continuo crecimiento, se introducen más y más especies exóticas, tanto intencionalmente como de casualidad a una cantidad de lagos, donde frecuentemente se propagan de una forma explosiva, produciendo un daño severo a las especies nativas. En ciertos extremos, la introducción de una única especie íctica puede alterar completamente toda la estructura de todo un ecosistema lacustre. Esta es una seria amenaza a la biodiversidad de ciertos lagos geológicamente antiguos en los cuales muchos taxones nativos nacieron a través de cientos de miles de años.

Por otro lado, la variabilidad de los ecosistemas lacustres puede indicar también la posibilidad de controlar efectivamente su estructura y de esa forma modificar los ambientes acuáticos mediante la intervención artificial de los procesos biológicos dentro de los lagos – también llamada biomanipulación. Su práctica no es nueva, la gente hace mucho que viene tratando de introducir nuevos organismos en sus lagos domésticos con el fin de incrementar la producción pesquera, remover especies desfavorables de plantas y animales, etc.

Sin embargo, los estudios sistemáticos sobre la biomanipulación comenzaron apenas recientemente. Están apareciendo una gran cantidad de trabajos que tratan del tema en los boletines científicos, pero todavía es difícil para los no especialistas comprender qué es lo que se ha logrado hasta ahora con esos estudios y cómo pueden ser aplicados sus resultados en la gestión práctica de los recursos lacustres y medio ambiente.

En los comienzos de los sesenta, Hrbáček y colaboradores (Hrbáček e al., 1961) pusieron atención en la existencia de un control de “arriba hacia abajo” en la cadena alimentaria, de igual importancia al control de “abajo hacia arriba”.

En base a un análisis de datos referentes a la relación entre el fósforo y la clorofila sugerida por Dillon y Rigler (1974), Hrbáček et al. (1978) mostró una vez más cómo podían explicarse convincentemente los casos de apartamiento extremo de esta relación a través de la intensidad de control de “arriba hacia abajo”.

Estos resultados dieron lugar a una serie de estudios que fueron desarrollados para identificar los mecanismos responsables de este tipo de control y las consecuencias de su existencia en un nivel estructural y funcional, no sólo en las comunidades acuáticas sino también en los ecosistemas lacustres como un todo.

Por lo tanto estaba claro que este proceso de control biológico podría responder por buena parte de la resiliencia observada en las variaciones de las comunidades que acompañan el proceso de eutroficación del lago, y aún más por el proceso de oligotrofización que tiene lugar como consecuencia de las operaciones de tratamiento que apuntan a reducir la carga de nutrientes y por ende, el control de “abajo hacia arriba” de la productividad biológica (de Bernardi 1981, 1983).

Se acepta ampliamente que los ecosistemas lacustres pueden dividirse en dos componentes, el biótico y el abiótico, los cuales interactúan a través de mecanismos recíprocos de retroalimentación. Consecuentemente los cambios en un componente incidirán cambios en el otro. Un segundo concepto ecológico básico es que las comunidades biológicas están estructuradas a lo largo de jerarquías tróficas-cadenas alimentarias que dirigen el flujo de energía dentro del ecosistema (Lindeman 1942) y que por lo tanto influyen virtualmente todos los aspectos de la función del ecosistema. Sin embargo, debido a que cada especie tiene sus propias características biológicas y ecológicas, las cadenas alimentarias de diferente estructura o composición de especies cumplirán sus funciones de manera distinta y con diferente eficiencia. Estas simples creencias han fomentado buena parte del gran interés en la estructura de las comunidades biológicas y en respuesta de la estructura de la comunidad a los cambios ambientales.

Los ecosistemas lacustres pueden subdividirse en una serie bien definida de subsistemas altamente interactuantes. Entre estos, el ambiente pelágico es el más peculiar. La mayoría de los ambientes exhiben geometrías complejas que resultan en gradientes y discontinuidades físicas abruptas; las aguas abiertas de los lagos contienen un gradiente vertical de luz, temperatura y composición química relativamente simple con lo que resultan en uno de los medio ambientes más uniformes de todos.

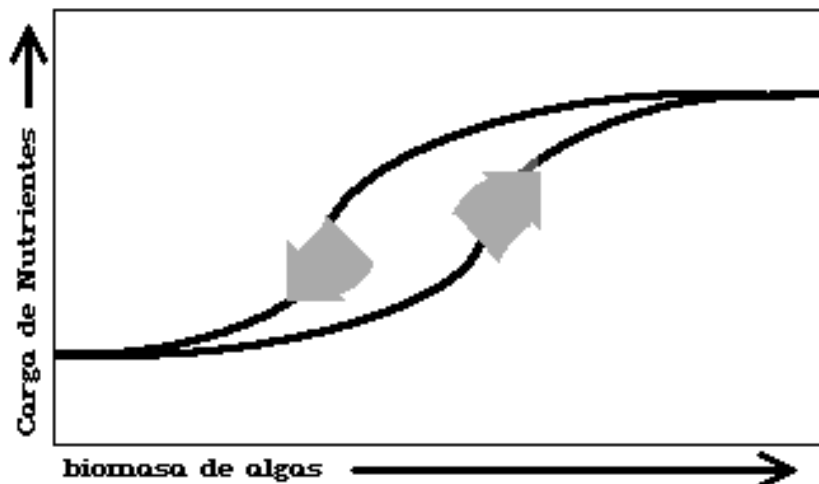
Una peculiaridad adicional del ambiente pelágico es que los productores primarios (algas unicelulares y colonias) son muy pequeños en relación al tamaño de los hervíboros planctónicos. Estos hervíboros, a su vez son mucho más pequeños que sus propios predadores. Por lo tanto, debido a que los predadores pelágicos frecuentemente son mucho más grandes que su presa, la presa está completamente expuesta al ataque del predador. Además, a pesar de las diferencias en los mecanismos de obtención de alimentos (Hrbáček, 1977)

Todos los hervíboros planctónicos compiten por partículas de alimento del mismo rango de tamaños (alrededor de 1 a 15 mm.) (Brooks & Dodson 1965). Por lo tanto, en el ambiente pelágico, las interacciones bióticas de competencia y predación pueden ubicarse entre los factores más importantes en la determinación y regulación de la estructura de la comunidad.

Se acepta ampliamente, sin ninguna duda, que la eutroficación es la causa más importante del deterioro de los ambientes lacustres. Existe un consenso similar en el hecho de que las causas de la eutroficación deben reconocerse en el aumento de la disponibilidad de nutrientes (principalmente

Fósforo) para el crecimiento de las algas.

La eutroficación y oligotroficación de un ambiente lacustre no se produce de acuerdo a una relación lineal entre la carga de nutrientes y la biomasa vegetal, sino más bien exhibe una tendencia sigmoidea con retardo. Los sistemas biológicos muestran una marcada resistencia a la variación, tanto cuando hay un incremento en la carga de nutrientes, tanto para el aumento como para la disminución, que causan cambios rápidos en el estado del sistema (Vollenweider 1968, 1976; Hoser 1989).



Cambios en la biomasa de algas con una carga de nutrientes creciente y decreciente: un lago en restauración puede tener más biomasa de algas antes de la restauración. El área entre las dos curvas representa el campo de acción de la biomaniipulación (de Hoser, 1989, redibujado)

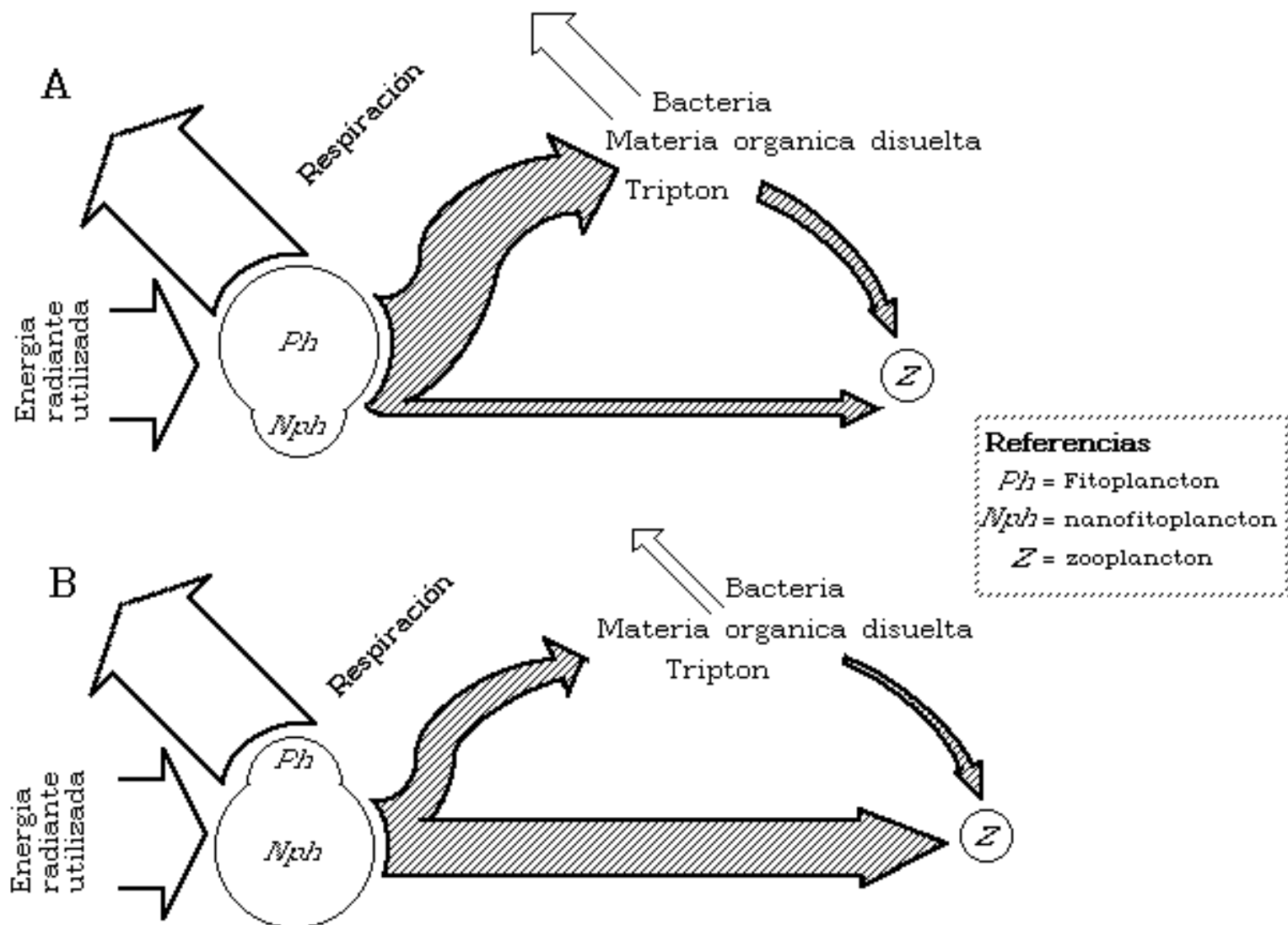
Un lago eutrófico produce mucho más material vegetal que el que puede ser utilizado por los hervíboros. Este excedente se acumula en el lago hasta que es descompuesto por las bacterias. Esto conduce a una declinación progresiva del oxígeno disuelto en los estratos más profundos y, en casos extremos, a la anoxia y acumulación de nutrientes liberados desde los sedimentos del fondo a estas capas profundas. En el agua superficial, se observa un incremento del pH siguiendo el consumo de Anhídrido Carbónico por la fotosíntesis. Estas variaciones en el medio ambiente químico provocan modificaciones en la comunidad biológica. Las especies estenóticas de peces tales como los salmónidos y los corégonos son gradualmente reemplazadas por ciprínidos más tolerantes; en el fitoplancton, las algas verdes son suplantadas por las verdeazuladas que logran más ventajas en la competencia por el Anhídrido Carbónico y nutrientes a valores más altos de pH. Las poblaciones de zooplancton también sufren un cambio estructural profundo pasando del dominio de los copepodos calanoides al de los pequeños cladóceros y rotíferos. Hablando en forma más general, a este nivel de la cadena alimentaria se observa un paso gradual a especies más pequeñas. Esto representa un punto muy importante para el balance de energía en el medio ambiente del lago. Como las especies de menor tamaño son menos eficientes en la utilización de las partículas de alimento disponibles, la eutroficación determina una mayor discontinuidad entre la producción primaria y la utilización de la biomasa de algas por el zooplancton hervívoro.

Hay dos razones principales para el cambio hacia hervíboros más pequeños en la comunidad planctónica de los lagos eutróficos: primero una variación en la comunidad de peces con un dominio de las especies planctófagas, que consumen selectivamente los animales más grandes del zooplancton; y segundo, la reducida posibilidad que representan estos últimos para evitar el taponamiento del aparato filtrador por las algas filamentosas y colonias que progresivamente dominan a la comunidad de fitoplancton. Se debe destacar a este respecto que la formación de filamentos o grandes colonias por algas planctónicas ha sido interpretado como una estrategia evolutiva para evitar su ingesta por los organismos filtradores.

El resultado del proceso de eutroficación es por tanto una disminución de la eficiencia de la transferencia de energía a lo largo de la cadena alimentaria pelágica con pérdidas más importantes hacia la cadena de detritus

La comunidad eutrófica típica tiende a mantener su identidad contrarrestando los intentos de purificación. En tales casos, la manipulación podría constituirse en un mecanismo útil y eficiente para la reducción de los inconvenientes más obvios de la eutroficación.

En efecto, tal biomanipulación consiste en un cambio en los factores de control que se muestran como tipo "A", a aquellos del tipo "B".



El diagrama esquemático del camino principal del flujo de energía entre el nivel de los productores y el de los consumidores en la zona pelágica de lagos eutróficos (A) y oligotróficos (B). A medida que aumenta el nivel trófico en un lago se observa un incremento contemporáneo de la energía que fluye a las bacterias. (De Gliwicz, 1969, redibujado)

Los humanos tendemos a creer que el orden biológico es débil y frágil, comparado con los materiales inertes, pero las plantas y animales cumplen proezas que ni la más poderosa de las máquinas puede realizar, comenta Michael Shaw, presidente de Living Machines, una empresa norteamericana que utiliza a los seres vivos y sus múltiples asociaciones para remediar los estragos ambientales de las industrias, y, de paso, generar algún beneficio adicional, como producción de energía o materias primas.

El objetivo de estas empresas de saneamiento reside en diseñar ecosistemas con las áreas que normalmente corresponden a las máquinas. El proyecto más simple consiste en una planta depuradora de efluentes industriales que, en lugar de utilizar filtros, métodos químicos u otros mecanismos, utiliza una compleja cadena de seres vivos – desde bacterias hasta árboles, pasando por insectos y moluscos – para depurar las aguas a un ritmo acelerado y eficiente. El secreto está en encontrar los animales y plantas adecuados para cada tipo de desperdicio y lograr combinarlos para formar una trama que se encargue de la contaminación. Para ello se buscan precisamente los organismos que habitan en los pozos, pantanos y cañerías locales, que pueden ser los mismos desagües de las industrias, dado a que esos seres están adaptados a alimentarse con ese tipo

particular de residuos. Todo pasa por la adecuada selección de los más eficientes y criarlos para que no encuentren competencia, sino más bien, en tal caso, mutualismo y protooperación.

Este tipo de sistemas consumen la mitad de la energía que la que consumen los métodos tradicionales, generando además ambientes agradables dado a que los ecosistemas creados – con arroyos, lagunas y pequeños bosques – pueden ser visitados como parque.

## Saneamiento

En términos generales los tres principales temas que atañen al saneamiento responden a las necesidades comunitarias de servicios eficientes de agua potable, cloacas y recolección de residuos.

En cuanto al agua Potable, cabe destacar que se está avanzando en forma lenta respecto al crecimiento poblacional y desequilibrada respecto a encausamiento de desarrollos de extracción, potabilización y distribución.

Por otro lado, con el progreso tecnológico, los organismos provinciales en la Municipalidad de Lago Puelo se está comenzando a considerar otro tipo de posibilidad de potabilización que no dependa del clorado que puede ser muy nocivo si no se mantienen estrictas medidas de control en la dosificación de su inyección.



[Portada](#)



[\\_Indice Manual](#)



[Modelo Ecogeográfico](#)