

Bolivia Ecológica

EDICIÓN TRIMESTRAL REVISTA Nº 47

AÑO 2007



PERTURBACIÓN ECOLÓGICA Y RESTAURACIÓN DE RÍOS

- INTRODUCCIÓN
- ECOSISTEMAS FLUVIALES
 - Dinámica fluvial
 - Morfología fluvial
 - Estructura y funcionamiento ecológico
- PERTURBACIÓN ECOLÓGICA
 - Perturbación antrópica en sistemas fluviales
 - Perturbación ecológica en los sistemas fluviales de Bolivia
 - *Perturbaciones naturales*
 - *Perturbaciones antrópicas*
- RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
 - Restauración de sistemas fluviales
- BIBLIOGRAFÍA

EDITOR

CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSION
SIMÓN I. PATIÑO

DIRECTORA DE LA PUBLICACIÓN

Carmiña Montoya Köster

ASESOR

Mabel Maldonado (ULRA - UMSS)
Edgar Goitia (ULRA - UMSS)

COLABORACIÓN

Cristina Torrico Laserna
María Elva Aguilera

FOTOGRAFÍA PORTADA

Edgar Goitia (ULRA - UMSS)

DISEÑADOR GRÁFICO

Sandra Heredia

ÍNDICE**PERTURBACIÓN ECOLÓGICA Y RESTAURACIÓN DE RÍOS**

• INTRODUCCIÓN	Pág. 1
• ECOSISTEMAS FLUVIALES	Pág. 1
Dinámica fluvial	Pág. 2
Morfología fluvial	Pág. 4
Estructura y funcionamiento ecológico	Pág. 8
• PERTURBACIÓN ECOLÓGICA	Pág. 12
Perturbación antrópica en sistemas fluviales	Pág. 14
Perturbación ecológica en los sistemas fluviales de Bolivia	Pág. 17
- <i>Perturbaciones naturales</i>	Pág. 17
- <i>Perturbaciones antrópicas</i>	Pág. 17
• RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	Pág. 21
Restauración de sistemas fluviales	Pág. 23
• BIBLIOGRAFÍA	Pág. 26

CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSIÓN



FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

Independencia, Esq. Suárez de Figueroa - Tef. / Fax: (+ 591- 3) 3 37 57 26 - Casilla 1674 - Santa Cruz - Bolivia
E-mail: edifusion@fundacionpatino.org - www.cedsip.org

INTRODUCCIÓN

Los ríos han sido los ecosistemas más aprovechados por el hombre a lo largo de su historia, ya que son un recurso renovable (agua, pesca, etc.) y un sistema rápido de transporte, de remoción de desechos y de provisión de energía.

Son muchas las actividades humanas que alteran los ecosistemas fluviales, y cada vez en mayor extensión, a grandes distancias de donde se producen y con mayor intensidad en función del creciente desarrollo tecnológico.

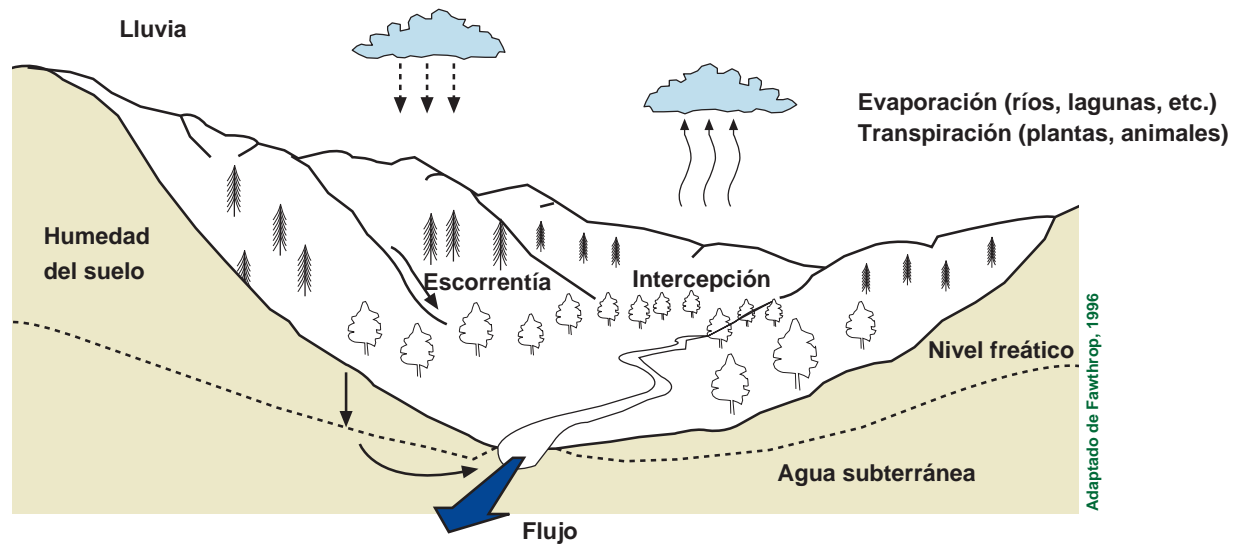
A pesar de ello, solamente a fines del siglo pasado, y debido a la crisis mundial acerca de los recursos hídricos, se ha puesto atención a la gestión para la conservación de los ríos.

Para comprender los efectos de tales alteraciones, con miras a prevenir, mitigar o remediar sus impactos ambientales y socioeconómicos, debemos entender la naturaleza de los ecosistemas fluviales y de las perturbaciones ecológicas en ellos.

ECOSISTEMAS FLUVIALES

Los ríos son sistemas que evacuan el agua caída sobre los continentes hacia los océanos, formando redes de drenaje, en las que el agua que fluye por ellas, proviene de sus cuencas.

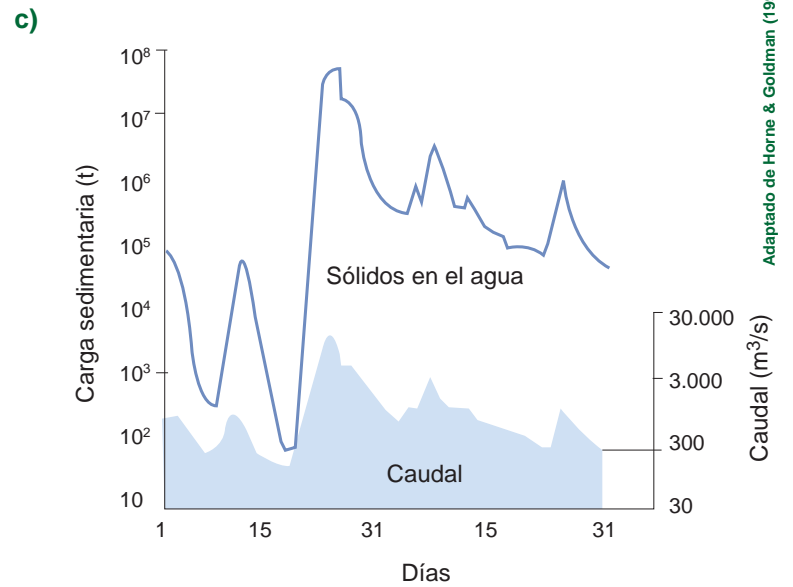
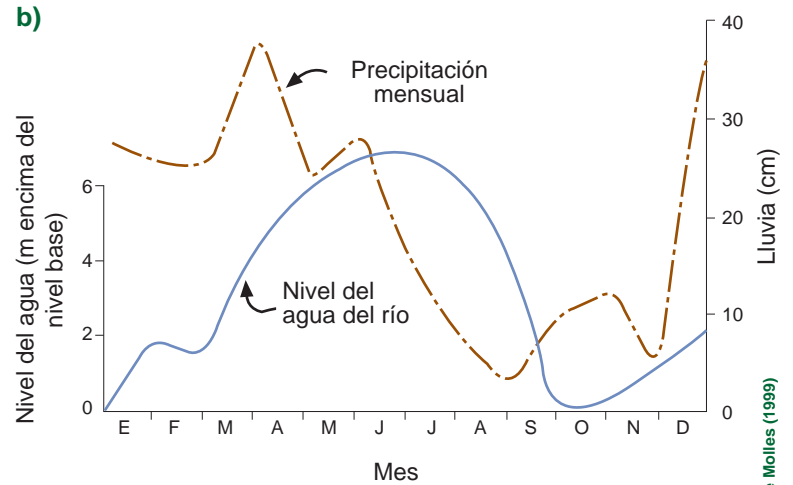
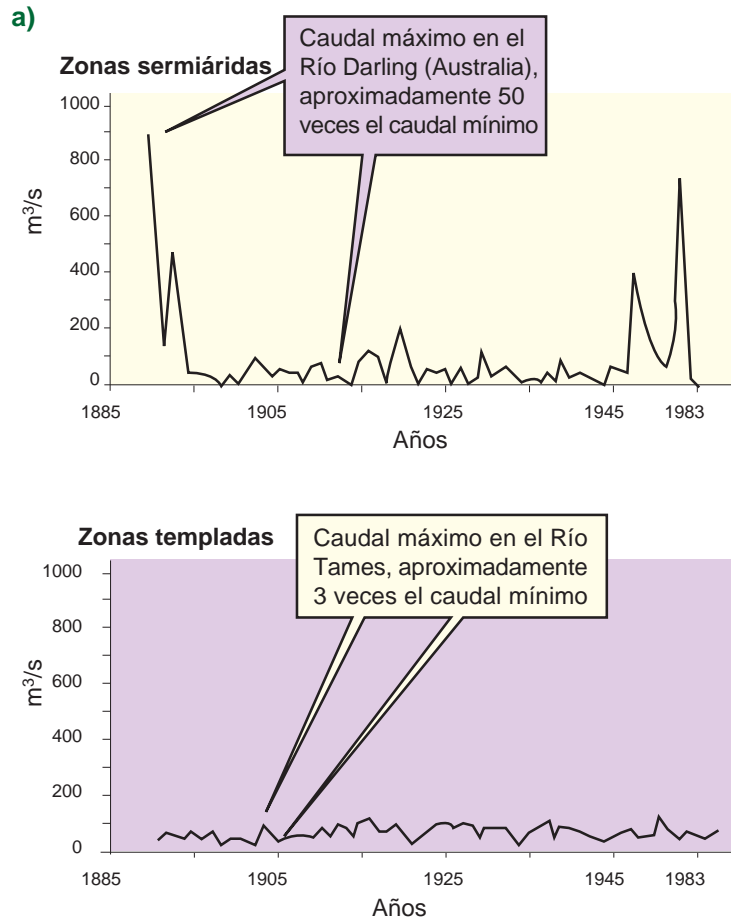
Las precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo son las principales entradas de agua en la cuenca. El agua precipitada llega a los ríos por escorrentía superficial o subterránea del agua que se infiltró en el suelo hasta la capa freática.



Representación simplificada de las trayectorias de ingreso de agua al curso fluvial desde su cuenca de drenaje

Dinámica fluvial

El caudal (volumen de agua que fluye por una sección del río) depende del clima imperante en la cuenca. El caudal varía a lo largo del año y presenta alternancias entre aguas



Hidrogramas que ejemplifican el régimen hidrológico

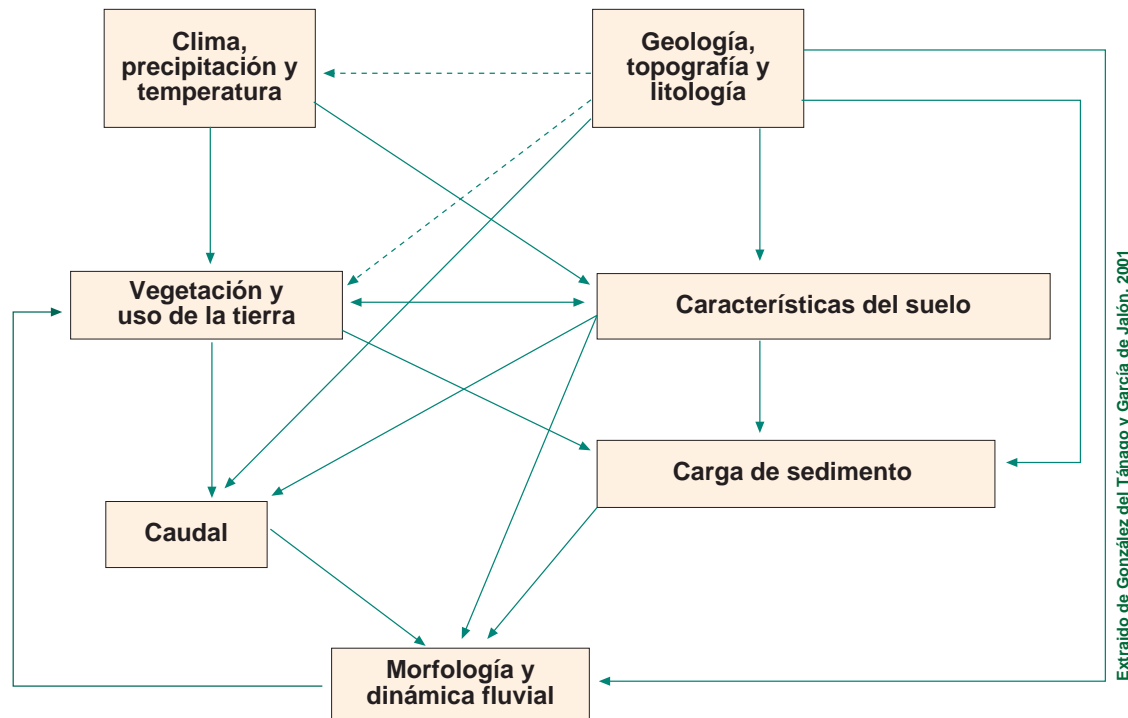
- a) en diferentes climas
- b) en relación al régimen de precipitaciones
- c) relación entre caudal y transporte de material sólido

altas y aguas bajas. El patrón resultante se conoce como régimen hidrológico. En las regiones tropicales y subtropicales, las aguas altas coinciden con las lluvias de la época cálida, en regiones templadas hay diferentes regímenes que dependen de la alternancia térmica entre primavera-otoño e invierno-verano.

Al referirnos al régimen hidrológico, debemos incluir también el transporte de sedimentos y compuestos químicos. Ellos provienen de la meteorización de las rocas, que conforman la cuenca que es erosionada por el agua que escurre hacia

los ríos. Una vez que los sedimentos y compuestos entran en el sistema fluvial, son transportados río abajo, depositándose en el cauce, ya sea en los sedimentos de fondo o en las riberas.

La carga sedimentaria del río depende entonces de las condiciones geológicas de la cuenca (tipo de rocas y suelos, topografía) y también de la vegetación y uso del suelo, ya que una vegetación escasa (por ejemplo en climas xéricos) o degradada por el uso (por ejemplo sobrepastoreo) aumenta el proceso erosivo.



Extraído de González del Tánago y García de Jalón, 2001

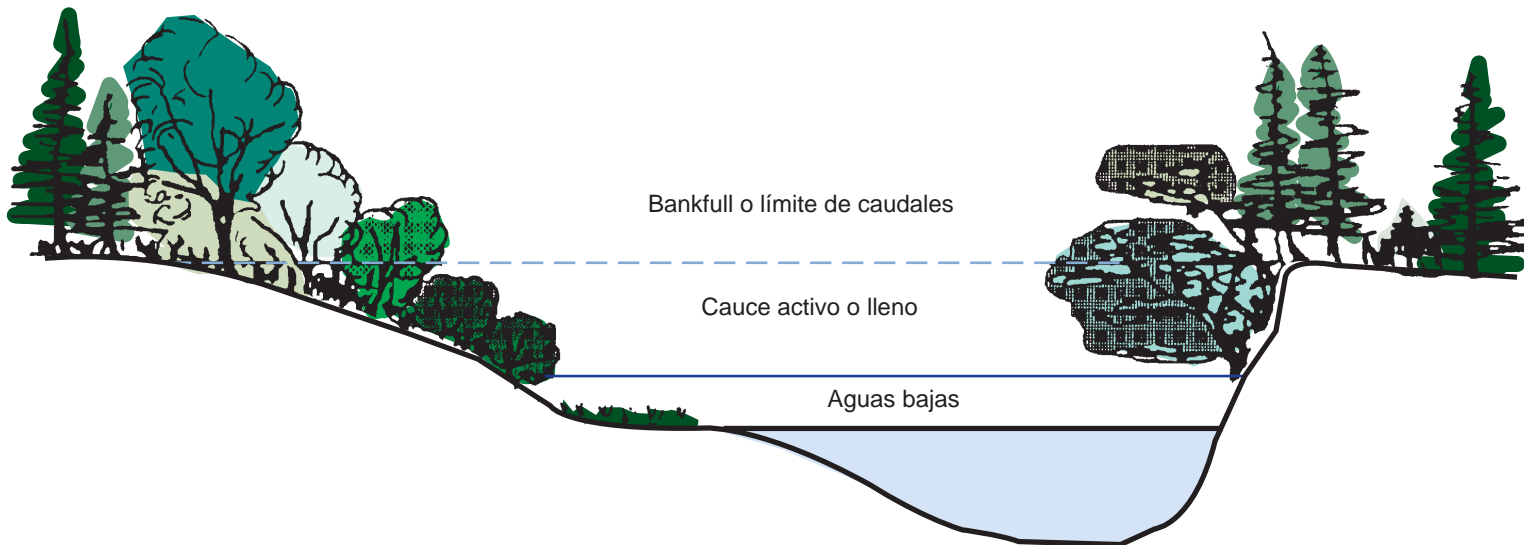
Factores de que determinan la dinámica y morfología fluvial

Morfología fluvial

Como consecuencia del régimen hidrológico, se originan ríos de diferente anchura, profundidad, velocidad de las aguas, forma del cauce, tipo de sustrato, etc.

El cauce del río queda definido transversalmente por el nivel que alcanzan las aguas y por la frecuencia de las inundaciones que determina la presencia de un cierto tipo de vegetación.

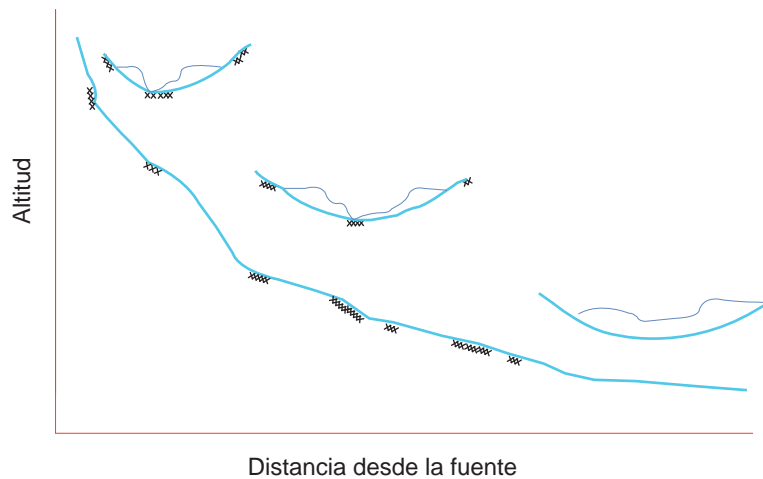
Longitudinalmente, el cauce se define por el espacio ocupado desde su nacimiento hasta su desembocadura. Un perfil longitudinal del río muestra la variación de la pendiente a lo largo del cauce, generalmente tiene una forma cóncava, con mayor pendiente y velocidad de agua en los tramos altos donde hay mayor erosión, hasta las zonas bajas donde hay mayor sedimentación. Conjuntamente a esta variación de pendiente, el valle del río también varía desde formas en "V o U" en las zonas altas, a formas amplias y planas en las zonas bajas.



Perfil transversal de un río, con distintos niveles de agua

Así mismo, el cauce desarrolla diferentes tipos de trayectoria, desde rectos a meandriformes, trenzados o anastomosados.

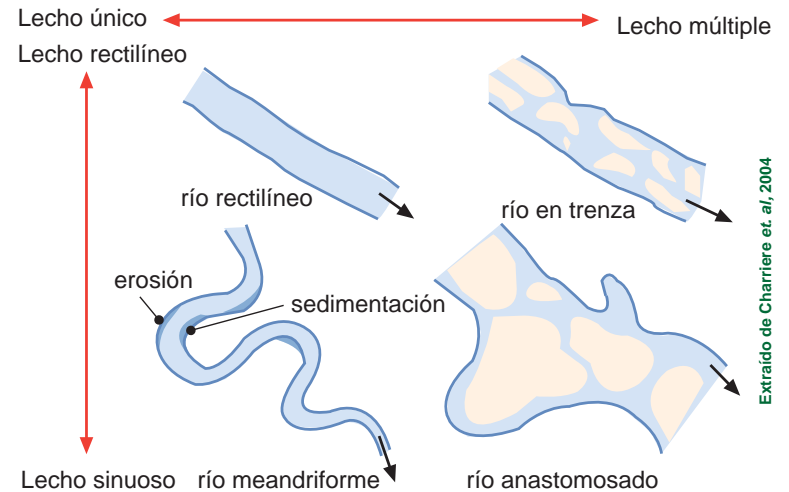
Los tramos rectos se presentan generalmente en ríos pequeños de poco caudal, los tramos meandriformes se desarrollan al aumentar el tamaño del río y disminuir la pendiente, mientras que los trenzados y anastomosados aparecen en ríos de diferente caudal pero siempre de elevada pendiente.



Perfil longitudinal de un río, mostrando las formas de los valles en distintos tramos

Dado que un río es, desde el punto de vista hidrológico, un sistema abierto, se debe recordar que una característica importante de los sistemas abiertos es su habilidad para autoregularse, adaptándose a factores externos, de forma que mantengan un estado de equilibrio, alcanzando cierta estabilidad.

Los ríos naturales llegan a este estado de equilibrio cuando su forma y dinámica se regulan ante las variables de control (régimen de caudales y de sedimentos), determinados a su vez por el clima y la geología en su cuenca. Un río estable o en equilibrio mantiene la forma de su cauce en el tiempo.



Extraído de Charriere et. al, 2004

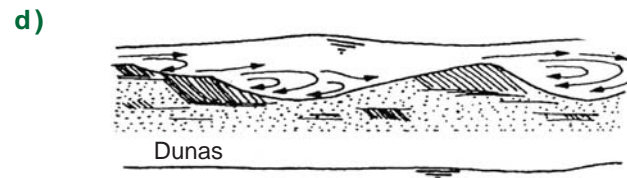
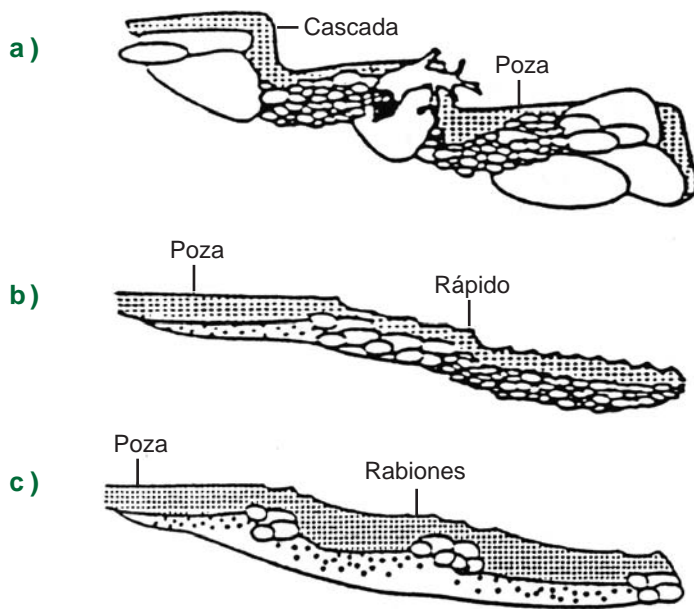
Diferentes formas de cauces fluviales

Otro aspecto morfológico importante en los ríos, es la distribución y tamaño de los sedimentos presentes en el lecho. Según su tamaño, los sedimentos se categorizan en **rocas y bloques** (diámetro mayor a 256 mm), **piedras** (64-128 mm), **cascajos** (32-64 mm), **gravas** (2-16 mm), **arenas** (0.125-2 mm), **limos y arcillas** (diámetro < a 0.125 mm).

Los sucesivos procesos de erosión y sedimentación redistribuyen los sedimentos, formando acumulaciones más o menos regulares. De esta manera, se originan diferentes formas en el lecho que se convierten en microhábitats para los organismos acuáticos.

A lo largo del río se pueden diferenciar las siguientes formas en el lecho: en los tramos superiores en que predominan

los sustratos gruesos (rocas hasta cascajos y gravas) se diferencian: **rabiones** (poco profundos, velocidad y turbulencia moderada, con gravas, cascajos o piedras sueltas), **rápidos** (alta velocidad y turbulencia, con piedras, bloques, rocas), **saltos y cascadas** (en pendientes fuertes, alternando pequeñas caídas de agua con pozas, principalmente con rocas) y **pozas** (lecho profundizado con baja velocidad y turbulencia, sustrato fino).



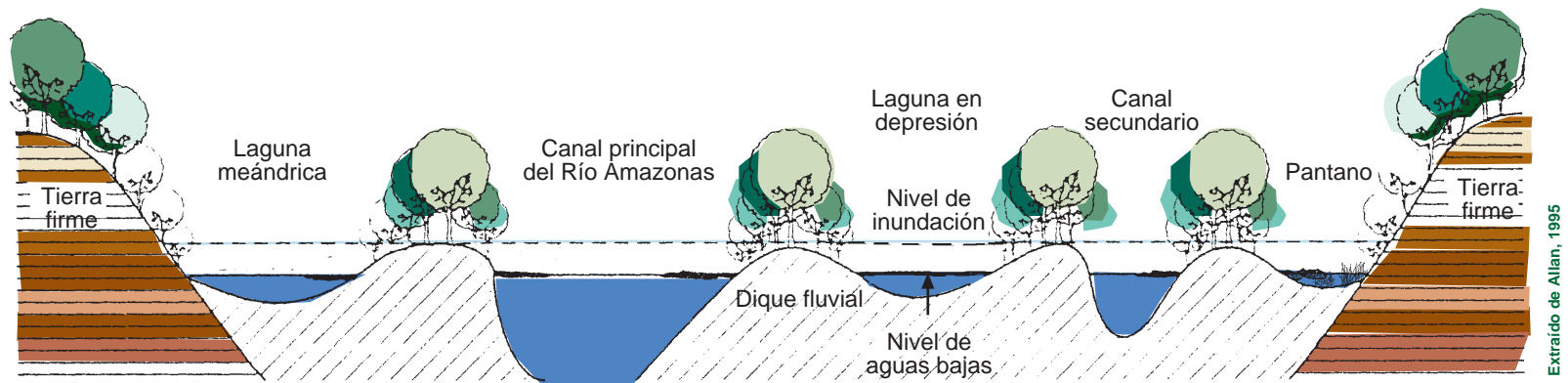
Diferentes formas del lecho de los ríos

- a) cascadas y pozas
- b) rápidos y pozas
- c) pozas y rabiones

- d) rizaduras y dunas
- e) bancos

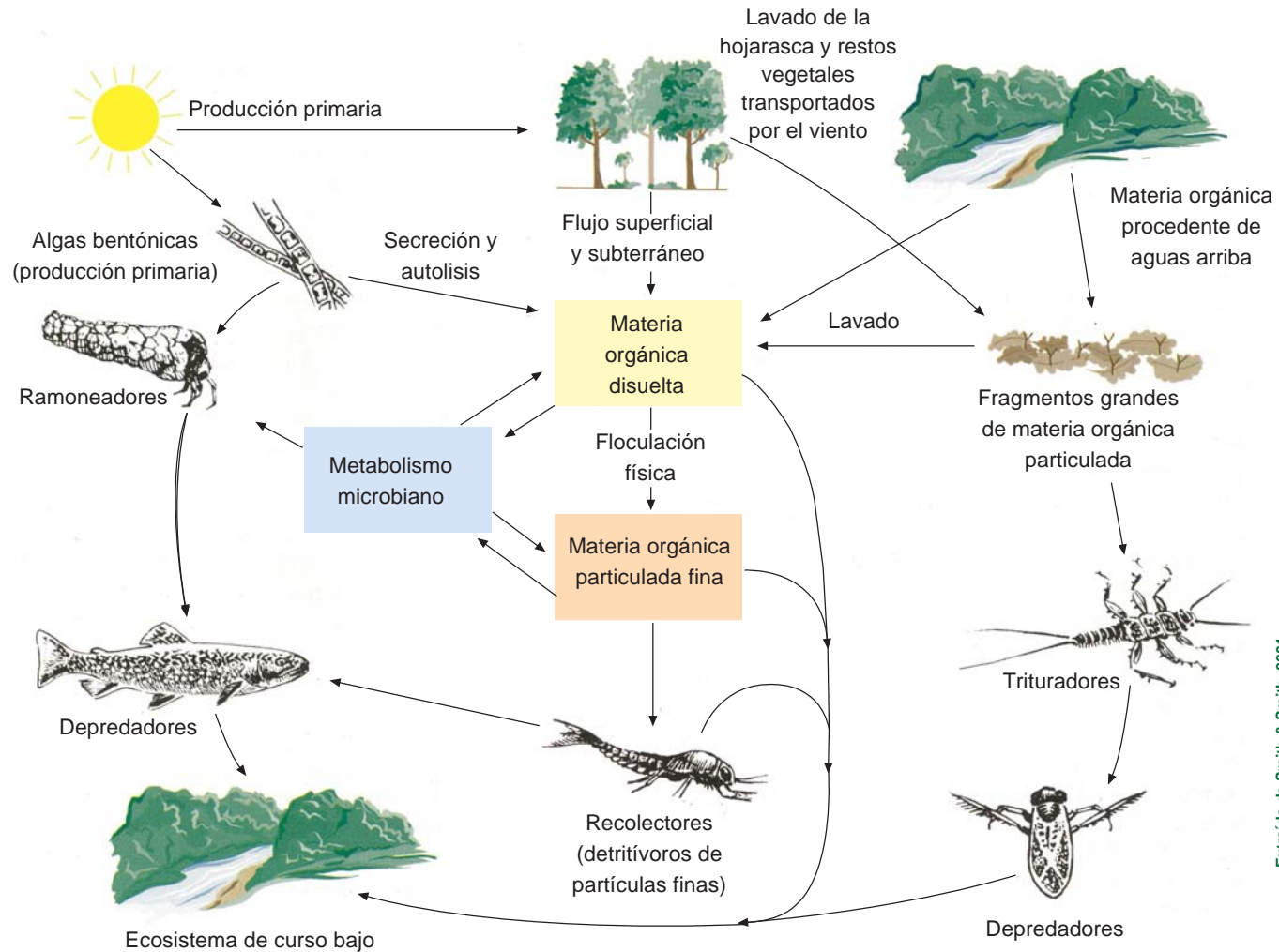
En los tramos inferiores de los ríos, con una menor pendiente, generalmente predominan los sustratos finos (arenas, limos y arcillas) apareciendo formas en el lecho como **rizaduras**, **dunas**, **lechos lisos o antidunas**. Además hay deposición intensa en las orillas que forma **bancos** (laterales, de meandros, etc.)

En estos tramos inferiores, donde las crecidas inundan la llanura adyacente al río (llanura de inundación) se distinguen: **lagunas marginales** (originadas en estrangulamiento de los meandros del río) y **huellas de meandros** (paleocauces), depresiones y elevaciones.



Perfil transversal de una llanura de inundación

Estructura y Funcionamiento Ecológico



Extraído de Smith & Smith, 2001

Modelo de estructura y función de un ambiente fluvial

Como todo ecosistema, los ríos poseen una estructura y un funcionamiento característico. La estructura de un río es el ensamblaje e interrelacionamiento de sus tres componentes: comunidad biológica, recursos materiales y energéticos y el hábitat físico. El funcionamiento es el conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos, que controlan el flujo de materia y energía que atraviesa el ecosistema.

La **estructura** es la composición, abundancia y diversidad de las especies que conforman la comunidad biológica e incluye a las redes tróficas que se forman en esta comunidad.

La comunidad biológica en un río está conformada por **algas** (que componen el perifiton cuando están adheridas al sustrato o a plantas acuáticas, y el fitoplancton cuando flotan en la columna de agua), **plantas acuáticas** (también llamadas macrófitas), **invertebrados** de muchos grupos taxonómicos como anélidos, moluscos, crustáceos, insectos, etc. (que forman el zooplancton cuando flotan en la columna de agua, o bentos cuando están sobre o dentro el sustrato), **peces** y microorganismos como **hongos y bacterias**. En los ríos, los grupos más importantes ecológicamente son los macroinvertebrados y los peces.

Las redes tróficas se forman en base a los **productores** (perifiton, fitoplancton y macrófitas) que fijan la energía del sol, **consumidores** (invertebrados y peces) que utilizan la energía acumulada por los productores y **descomponedores** (hongos y bacterias) que desintegran la materia orgánica muerta, hasta materia inorgánica que es reutilizada por los productores.

Los **recursos materiales y energéticos** están representados por la radiación solar, los nutrientes inorgánicos (nitratos, fosfatos, etc.) y diversos tipos de materia orgánica (particulada, fina, disuelta, etc.).

El **hábitat físico** es el medio en el que viven las comunidades y se interrelacionan con los recursos, incluye varios factores desde las características del cauce, hasta las condiciones térmicas, hidrológicas, etc.

Para comprender el funcionamiento de los ríos hay que considerar que el río, desde su fuente hasta su desembocadura, va adquiriendo mayor tamaño y complejidad en forma gradual. Para facilitar la comprensión, se pueden distinguir dos tramos longitudinales:

El tramo superior corresponde a **los ríos de montaña**, cuyas características morfológicas se describieron anteriormente. La anchura es pequeña y las aguas en general son transparentes.

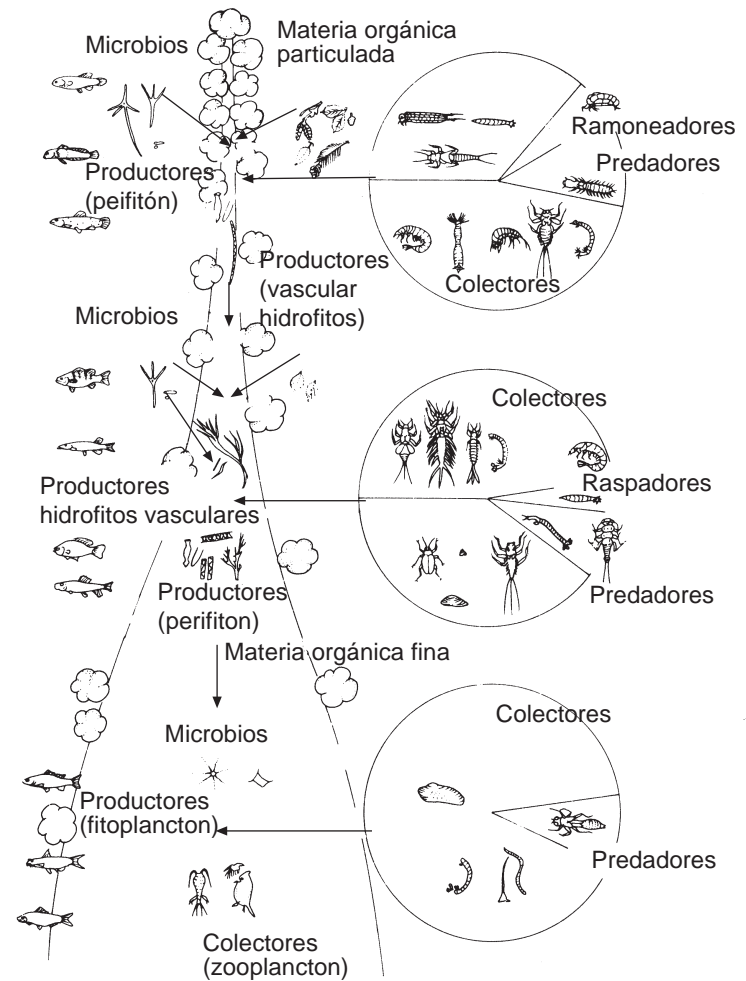
Los productores se restringen a perifiton y pocas macrófitas, por lo cual, el principal recurso energético es la materia orgánica proveniente del ambiente terrestre, en forma de material vegetal y animal muerto, que es arrastrado hacia el río por escurrimiento del agua. En el agua, esta materia orgánica muerta se descompone por la acción de los descomponedores (hongos y bacterias) que dejan el material como “partículas gruesas”, las cuales son aprovechadas por los consumidores. Por ello, los macroinvertebrados en este tramo del río son muy abundantes y diversos.

El tramo inferior corresponde a **ríos de llanura** con valles abiertos y llanuras de inundación. La baja velocidad del agua permite el desarrollo de fitoplancton, que sirve de alimento al zooplancton y éste a macroinvertebrados y peces.

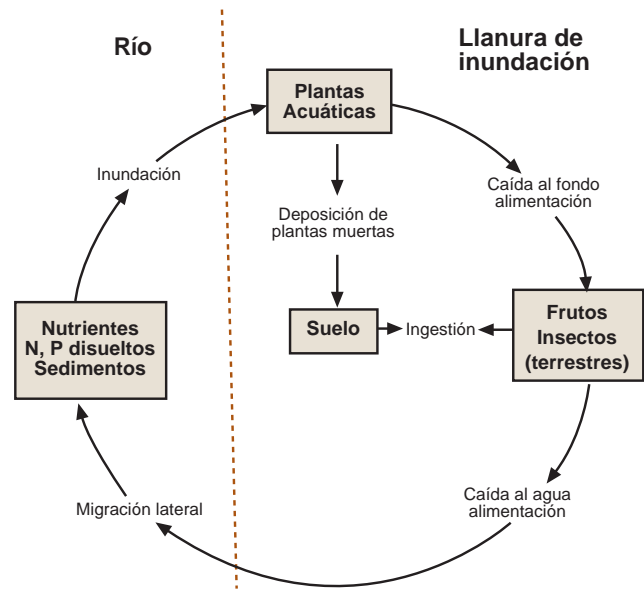
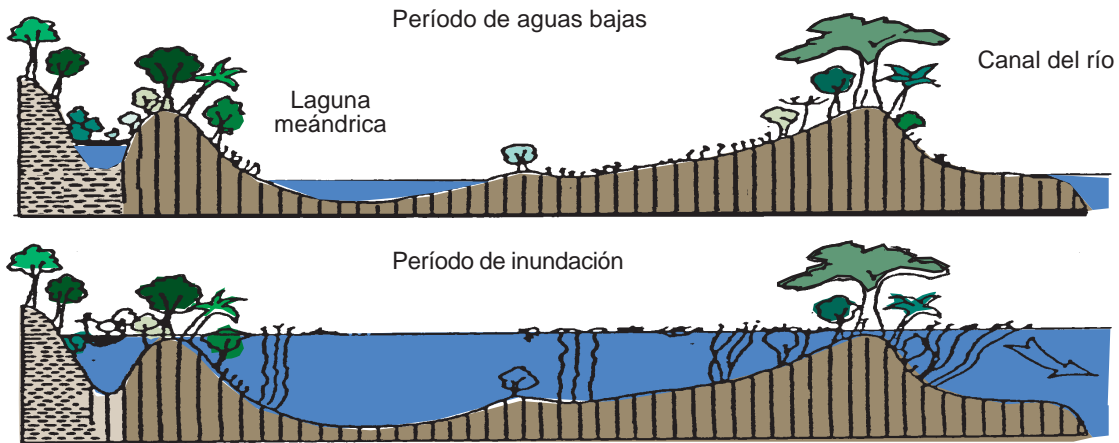
La materia orgánica presente en este tramo, es principalmente fina, y los macroinvertebrados son mas escasos debido a la inestabilidad del sustrato fino. Es el grupo de los peces que se vuelve más diverso y abundante.

En este tramo, el flujo del agua y con ella de energía, materiales, organismos, etc. ya no es solamente longitudinal, sino también transversal hacia la llanura, de inundación. Durante este período, las aguas al ingresar a la llanura llevan consigo nutrientes, material orgánico, organismos, etc. hacia los ambientes terrestres y hacia las lagunas presentes en la llanura.

Para comprender y remediar el impacto ecológico de las actividades humanas en los ecosistemas fluviales, es necesario la comprensión detallada de todos los aspectos descritos anteriormente, ya que sin ella, las decisiones o medidas aplicadas, pueden más bien causar otros efectos, además de los que queremos eliminar.



Cambios de la estructura y funcionamiento de los ríos desde la fuente hacia la desembocadura



Relación del río con su llanura de inundación

PERTURBACIÓN ECOLÓGICA

Perturbación es un término general y difuso, que debe ser establecido con precisión, para lo cual, presentamos tres definiciones:

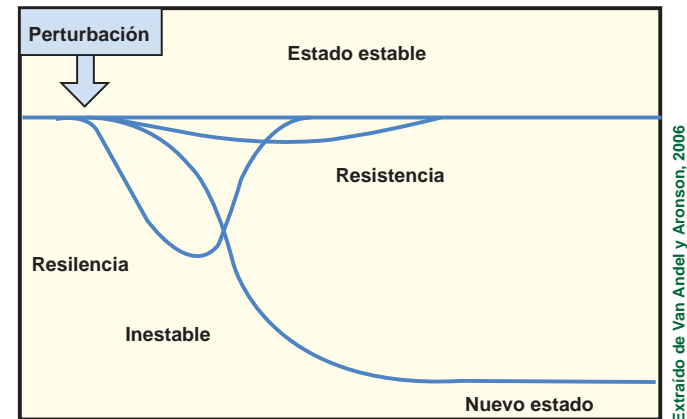
- Desorden de largo alcance en el estado estable de un ecosistema, debido a un evento externo al que el sistema no es capaz de responder a través de su resistencia o resiliencia. Por ejemplo: la deforestación ocasionada por un incendio (natural o antrópico) será una perturbación en el ecosistema (bosque) si este no es capaz de retornar al estado anterior al incendio.
- Desplazamiento de un factor físico, químico o biológico que influencia la estructura y funcionamiento de una comunidad más allá de su valor típico (más allá del umbral de su tolerancia ecológica). Por ejemplo, dependiendo de la magnitud del incendio en el bosque, gran parte de las especies vegetales y animales quedan eliminadas, lo cual cambiará la estructura y funcionamiento del ecosistema.
- Evento discreto que cambia a las comunidades o poblaciones de un ecosistema, modificando la disponibilidad de recursos o la estructura del hábitat.

Como conceptos inherentes definimos los siguientes:

- **Estabilidad:** capacidad de un sistema de retornar, a pesar de cambios en su ambiente, a un cierto

valor de partida, que es considerado el estado estable. El estado estable es un equilibrio dinámico, no estático, que es mantenido dentro de ciertos límites a través de la resistencia y/o resiliencia.

- **Resistencia:** capacidad del sistema de mantener sus características estructurales y funcionales después de la perturbación.
- **Resiliencia:** capacidad del sistema de retornar rápidamente al estado previo a la perturbación.



Respuestas del ecosistema a la perturbación. La resistencia y la resiliencia representan formas de recuperación, la respuesta inestable representa perturbación de largo alcance y que no es reversible a través de la restauración.

La perturbación puede ser discreta o crónica.

La **perturbación discreta = disturbio**, usualmente es episódico, corto y agudo, causa la mortalidad completa o parcial de los organismos. Ejemplo: crecidas excepcionales, epidemias, etc.

La **perturbación crónica = estrés**, es la intensificación constante de algunos factores pre existentes más allá del umbral de la tolerancia ecológica. Ejemplo: contaminación orgánica con residuos urbanos, estrés térmico por agua de enfriamiento, contaminación biológica por plaguicidas, etc.

La perturbación puede actuar a diferentes escalas temporales y espaciales.

Escalas espaciales

- Escala de la cuenca: como ejemplo podemos citar los cambios climáticos (calentamiento global), la fragmentación del paisaje, etc.
- Escala del sitio: la contaminación orgánica en un río, la destrucción del hábitat, etc.

Escalas temporales

- Eventos históricos: glaciaciones
- Eventos estacionales: inundaciones y sequías

La perturbación puede medirse en una variedad de formas, como ser:

- **Distribución espacial:** extensión de la perturbación

en determinados gradientes geográficos, ambientales y bióticos.

- **Frecuencia:** número promedio de eventos en un periodo de tiempo. Hay eventos aislados, recurrentes y continuos que difieren en su duración (la erupción de un volcán es un evento aislado, la estacionalidad climática es un evento continuo).
- **Tiempo de retorno:** inverso de la frecuencia, es decir, el tiempo promedio entre eventos.
- **Área:** afectada por la perturbación.
- **Magnitud:** se puede medir la severidad de la perturbación = efecto en la comunidad (50% de los organismos eliminados) o intensidad = fuerza física del evento (velocidad de viento en los huracanes).

Las perturbaciones pueden ser naturales o antrópicas:

Las **perturbaciones naturales** son componentes de un ecosistema íntegro. Muchos organismos han desarrollado rasgos que les permiten sobrevivir, explotar y hasta depender de las perturbaciones naturales. Por ejemplo, la alternancia de aguas altas y bajas anuales en un río permite a muchos peces, realizar migraciones entre zonas de desove y alimentación.

Las **actividades humanas y/o antrópicas** alteran los regímenes de perturbaciones naturales, por tanto, una población adaptada a una perturbación natural, se ve en la necesidad de responder a nuevas condiciones. Por ejemplo, el represamiento de ríos representa una perturbación antrópica sobre las migraciones de los peces.

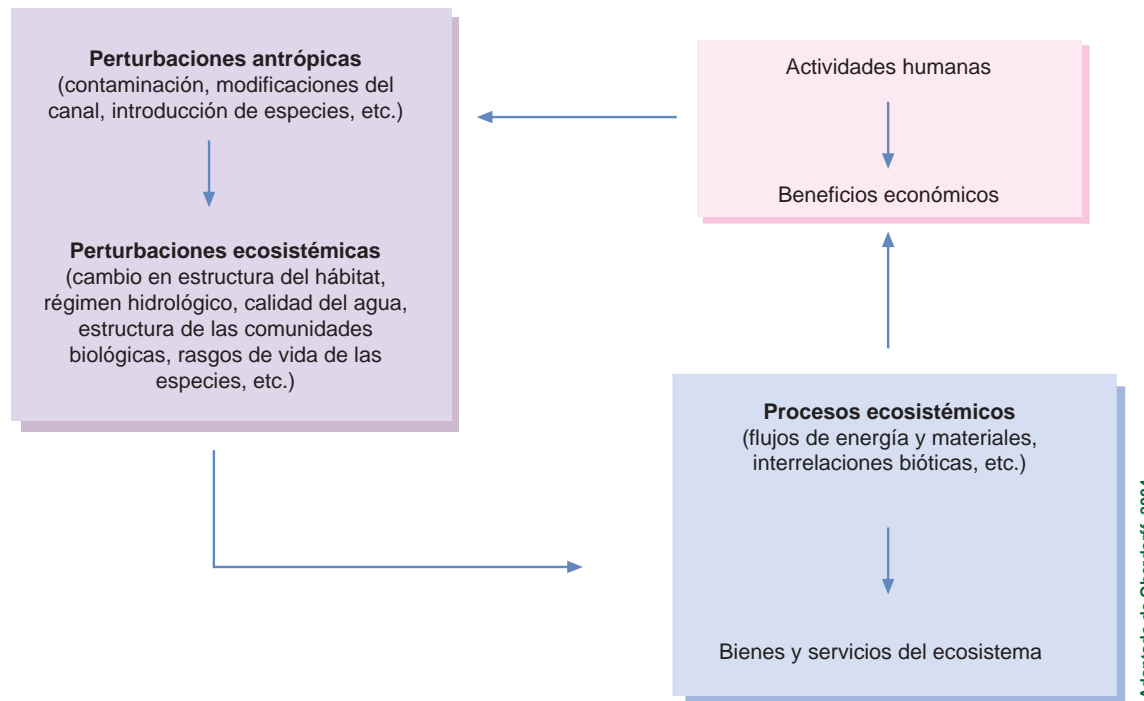
Para predecir los efectos de las actividades humanas sobre los ecosistemas, debemos distinguir entre las perturbaciones naturales y las antrópicas, en otras palabras debemos entender los patrones de organización de los ecosistemas y particularmente de los organismos.

Ello implica conocer la distribución de las especies, la composición de las comunidades y la naturaleza de los factores ambientales que explican esos patrones. Esta información permitirá predecir la respuesta de la biota a los

factores de perturbación antrópica, discriminándola de las variaciones naturales.

Perturbación antrópica en sistemas fluviales

La perturbación ecológica antrópica se está incrementando de manera alarmante en las últimas décadas, causando impactos que van más allá de la “salud” del propio ecosistema, causando repercusiones socioeconómicas.



Adaptado de Oberdorff, 2004

Relación de las perturbaciones antrópicas y las sociedades humanas

Las perturbaciones antrópicas (contaminación, represamiento, introducción de especies, etc.) producen efectos en el ecosistema (perturbaciones ecosistémicas), como cambios en la estructura del hábitat, en el régimen hidrológico de los ríos, la calidad del agua, las interacciones biológicas, etc. Estas perturbaciones cambian las comunidades en términos de su diversidad, composición, abundancia, rasgos biológicos, etc., lo cual, afecta a los procesos del ecosistema que posteriormente influyen las condiciones sociales y económicas de las sociedades.

Las perturbaciones antrópicas en los sistemas fluviales son causadas por los diversos usos del agua y de los ecosistemas acuáticos, como:

- Usos consuntivos: doméstico (agua potable y descarga de residuos líquidos), riego, industrial, minero y petrolero.
- Usos no consuntivos: hidroeléctrico, recreativo, pesca, navegación y medioambiental

Los **usos consuntivos**, en general, causan perturbaciones por cambios en la calidad del agua, como resultado de la contaminación.

La contaminación es una de las perturbaciones más estudiadas en todo el mundo. Aunque existe mucha información sobre los agentes contaminantes y los niveles de contaminación, se sabe muy poco sobre sus efectos ecológicos, que pueden ir desde modificar el metabolismo de los individuos, sus rasgos biológicos, su constitución genética, hasta cambios de abundancia y composición en comunidades íntegras, disminuyendo la diversidad de especies, o en algunos casos, eliminándolas por completo del sitio contaminado.

Los **usos no consuntivos**, generan también contaminación en algunos casos, aunque las principales perturbaciones que causan son modificaciones físicas en los ríos (modificaciones del canal, regulación del caudal, deforestación ribereña), además de sobrepesca, introducción de especies, etc.

Se realizaban **modificaciones del canal** hace más de 5 000 años en las civilizaciones antiguas, con el propósito de obtener agua para riego (canalizaciones), uso doméstico (trasvases), energía hidroeléctrica (represamiento), etc.

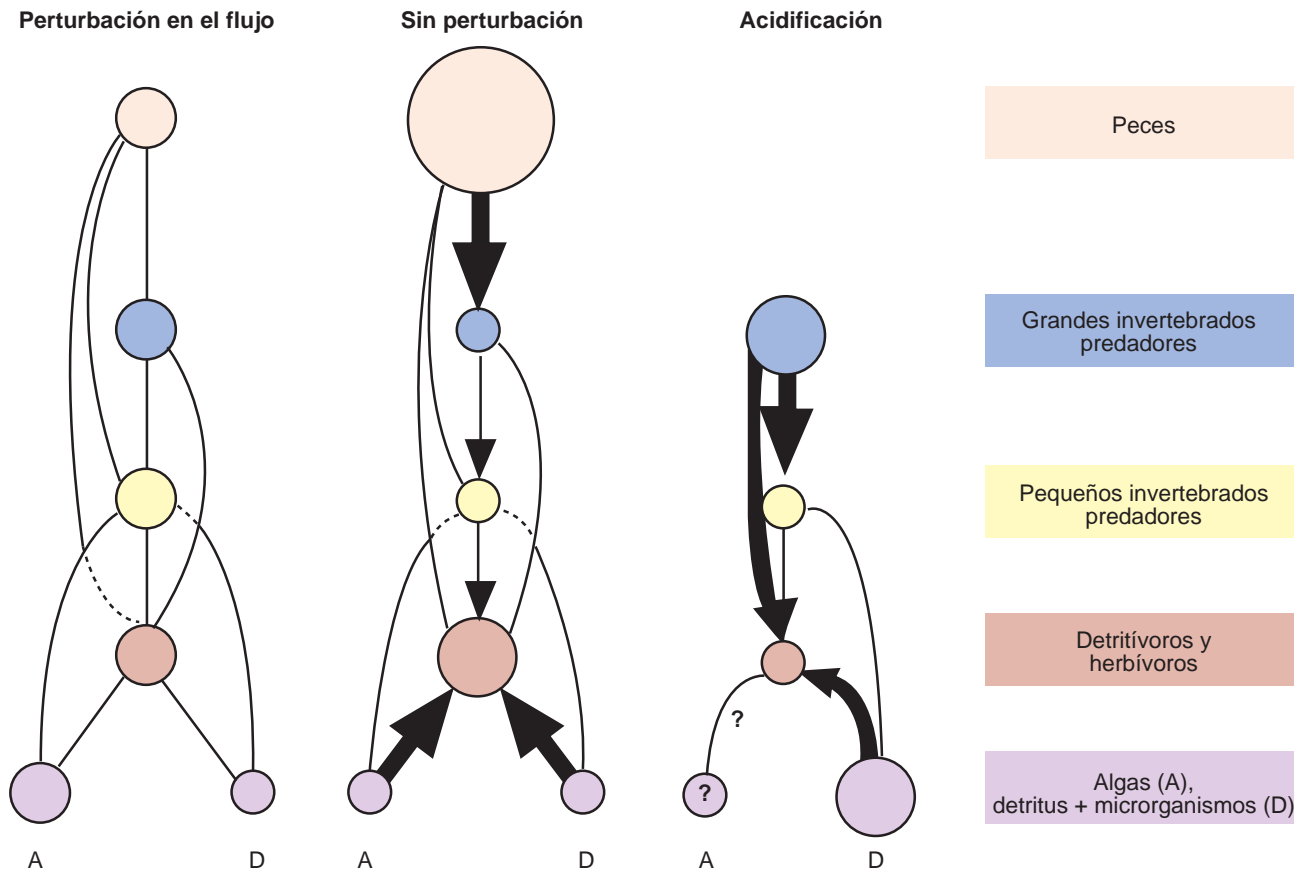
El represamiento es probablemente la perturbación que mayor efecto ecológico causa en los ríos porque modifica el régimen natural de caudal y temperatura, y también la calidad del agua. Como consecuencia, las comunidades acuáticas son afectadas. Por ejemplo aparecen floraciones extraordinarias de algas o plantas, debido al aumento de transparencia en el agua.

En los ríos con llanura de inundación, el régimen de inundación que determina la productividad del ecosistema (por ejemplo la productividad piscícola) es interrumpido. La pérdida de la estructura física del río por el represamiento ocasiona la simplificación del hábitat y hace que el flujo sea menos variable (especialmente en canalizaciones), lo cual, generalmente causa una reducción en la diversidad y abundancia de la biota.

La deforestación del bosque ribereño afecta directamente a la ictiofauna de los ríos y aumenta el riesgo erosivo de las riberas, causando también la pérdida de la estructura física del río.

Un efecto paralelo a las modificaciones del canal es la eliminación de humedales y llanuras de inundación, que forman parte del sistema fluvial, lo cual lleva a modificaciones del régimen de caudal y temperatura, que tienen profundos efectos sobre la biodiversidad.

La **construcción de caminos y carreteras** es también un factor de alto riesgo ecológico porque aumenta la erosión y la deposición de materiales finos en el cauce de los ríos, causando la disminución de la diversidad y abundancia de los organismos bentónicos e incluso su eliminación.



Cambios en la red trófica de un río cuando existen perturbaciones en el régimen hidrológico o cuando hay acidificación del agua

La **introducción de especies exóticas**, como peces, insectos, plantas acuáticas y otros, ha ido incrementándose con propósitos de acuicultura y control biológico. En general, las especies exóticas causan la declinación de especies nativas y alteran las cadenas alimenticias.

Sin embargo, no solamente el uso del agua y del ecosistema acuático mismo causa perturbaciones, también el uso del suelo en la cuenca tiene un profundo efecto sobre la integridad del ambiente acuático. De hecho, el **cambio en el uso del suelo** (por ejemplo uso de zonas forestales para agricultura) es una de las causas más importantes de perturbación acuática antrópica.

Por último, se debe considerar que el **cambio climático global** es otra causa de perturbación en los ríos, pues el aumento de temperatura en los ambientes puede afectar al crecimiento y los rasgos de vida de los organismos, además de cambiar los regímenes hidrológicos.

Perturbación ecológica en los sistemas fluviales de Bolivia

A pesar de que Bolivia es un país con una importante red fluvial, el conocimiento ecológico que se tiene de los ríos es muy incipiente. Además las perturbaciones antrópicas y sus efectos son poco estudiados.

Debido a que las perturbaciones actuales en los ríos de Bolivia aún son restringidas a ciertas zonas, debemos considerar que estamos a tiempo para entender los sistemas en su estado natural, con el fin de prevenir futuras perturbaciones y remediar las ya existentes.

Perturbaciones naturales

Las perturbaciones más comunes en los ríos de Bolivia, son las variaciones estacionales del ciclo hidrológico que resultan en fluctuaciones de caudal (aguas altas y bajas), dependiendo del régimen pluvial. Estas fluctuaciones son muy acentuadas en los climas xéricos y menos severas en climas pluviales.

En climas xéricos, con cada crecida anual, un gran porcentaje de la comunidad acuática es removida del sitio, la cual vuelve a reestablecerse durante el período de aguas bajas. Las precipitaciones, tanto en exceso como en déficit, llevan a perturbaciones catastróficas, como inundaciones extensivas o sequía completa de los ríos.

Perturbaciones antrópicas

De todas las perturbaciones antrópicas posibles, la única enfocada en Bolivia, hasta el momento, es la contaminación, sobre la cual, existe una abundante documentación acerca de la calidad físico química del agua en muchos de los ríos actualmente afectados. El tema de contaminación del agua ya ha sido tratado en la revista Bolivia Ecológica No. 32.

A pesar de la extensa literatura que determina el grado de contaminación en los principales sistemas fluviales de nuestro país, los efectos ecológicos de dicha contaminación están muy poco estudiados. Algunos antecedentes mencionamos a continuación:

La **contaminación orgánica**, causada por descarga de efluentes domésticos e industriales, es muy severa en los ríos que atraviesan las ciudades más pobladas de Bolivia

(La Paz, Cochabamba y Santa Cruz), en las cuales se estima que sólo un 60% de efluentes recibe tratamiento, mientras que el 40% restante es introducido a los ríos sin previo tratamiento. Por ejemplo, la contaminación orgánica en el Río Rocha que atraviesa la ciudad de Cochabamba, causa que la diversidad de la comunidad bentónica sea muy baja, con presencia dominante de larvas de insectos dípteros que son muy resistentes a este tipo de contaminación.

Juntamente a los residuos líquidos domésticos, generalmente se eliminan **residuos sólidos** sobre los cuales existen pocos datos acerca del efecto que causan en los ambientes fluviales.

La **actividad minera** es causa de contaminación de numerosos ríos por vertido directo de colas y desmontes, principalmente en las cuencas de los ríos Pilcomayo, Grande y Lago Poopó, donde el drenaje ácido y la deposición de sedimentos causan graves perturbaciones. Por ejemplo, en las cuencas del Río Caine y Lago Poopó (Cochabamba y Oruro), la acidificación del agua a $\text{pH} < 3$, causa la eliminación completa de organismos acuáticos, y en ríos del norte de Potosí, muchos cauces están saturados.

De forma diferente, la **explotación aurífera** en ríos de los departamentos de La Paz, Beni, Pando y Santa Cruz, producen deterioro físico del ambiente acuático, por desvíos de cauces, remoción de sedimentos, modificación de las riberas y acumulación de materiales de descarte aguas abajo. Como consecuencia, la turbidez del agua aumenta y cambia el tipo de sustrato, resultando en una disminución de la diversidad y abundancia de invertebrados bentónicos, por ejemplo en ríos del norte de La Paz.



ULRA-UMSS

Efecto de la contaminación orgánica en el Río Rocha (Cochabamba) que resulta en el aumento de turbidez biogénica por floraciones de algas.



ULRA-UMSS

Desecho de residuos sólidos en un río del Chapare (Cochabamba).

Otro efecto perturbador de la explotación minera es el vertido de metales pesados que pueden permanecer mucho tiempo en los sistemas acuáticos, resultando en una bioacumulación, que luego lleva a la biomagnificación a través de la red trófica. Algunos de estos efectos ya han sido encontrados en el Río Beni, donde se evidenció la acumulación de mercurio en peces y pobladores de la zona, así como en el Río Caine, donde se detectó acumulación de metales pesados en larvas de insectos.

La **contaminación industrial** también es una fuente importante de perturbación acuática, especialmente en La Paz, Santa Cruz, Cochabamba y Oruro, donde las industrias manufactureras, energéticas, alimenticias, etc., vierten residuos líquidos sin tratamiento adecuado a los ríos.

Los efectos de estas actividades han sido muy poco estudiados. Se conocen casos de contaminación por residuos de industrias azucareras en Santa Cruz, que produjeron la mortandad de los peces del Río Pyraicito, y de una fábrica de estuco en la ciudad de La Paz que causó la reducción de diversidad y abundancia en macroinvertebrados bentónicos.

La **contaminación con hidrocarburos** ha sido bien documentada en Bolivia, pero al igual que en los otros casos, sus efectos han sido muy poco estudiados. Sin embargo, se conocen algunos estudios sobre la zona hidrocarburífera del Chapare, donde se evidenciaron efectos sobre la diversidad, abundancia y estructura trófica de la comunidad bentónica fluvial.

La **contaminación por plaguicidas** aún no es muy extensiva y se concentra principalmente en el Altiplano y los valles interandinos, aunque está incrementándose rápidamente en Santa Cruz y el Chapare (Cochabamba). Sus efectos son poco conocidos y la única iniciativa para comenzar a entenderlos fue iniciada en el Chapare, donde si bien no se detectan concentraciones elevadas en el agua, se ha establecido que causan estrés en los organismos, provocando cambios morfológicos y fisiológicos en insectos acuáticos.

La **contaminación por fertilizantes** es importante solamente en el área agrícola de Santa Cruz y causa eutrofización (enriquecimiento del ambiente acuático por el aumento de nutrientes) los efectos que causan en los ríos de esta zona, aún no han sido estudiados.

La **construcción de caminos y carreteras** afecta especialmente a los ríos andinos en Bolivia, pues son las zonas de mayor crecimiento poblacional. En ríos de los Yungas del Departamento de La Paz, este tipo de perturbación provoca efectos notables por la disminución de la diversidad y la densidad de macroinvertebrados acuáticos.

Sobre el resto de perturbaciones mencionadas anteriormente (**modificaciones físicas**, etc.), en Bolivia no se conocen todavía estudios ecológicos, probablemente debido a que son pocos los casos de canalización, represamiento y otros que se han realizado en nuestro país.

El transporte ya sea fluvial o terrestre, es una actividad antrópica que debe ser considerada como fuente de perturbación en Bolivia. La **navegación** que es muy importante en tierras bajas de la Cuenca Amazónica, puede producir contaminación por derrames de combustibles o por el mismo tráfico que produce turbulencia y ruido. La construcción de carreteras, que se ha incrementado notablemente en los últimos años, es un factor de alto riesgo en la actualidad.

La **introducción de especies exóticas** en Bolivia, (trucha, pejerrey, carpa, gambusia y paiche), en los últimos años han ido adquiriendo mayor importancia en pesquerías y acuicultura. La trucha se encuentra extendida en casi todos los ríos y lagunas altoandinas accesibles, el pejerrey y la carpa han incrementando su importancia en lagunas de valles interandinos y el paiche ha ingresado en varios ríos grandes del norte del país. Si bien, las especies exóticas rápidamente se han convertido en una importante fuente alternativa para pobladores locales, los impactos ecológicos deberían ser monitoreados estrechamente.

Por último, se debe enfatizar que el **cambio en el uso del suelo** de las cuencas, es una fuente actual y un riesgo potencial para la perturbación en ríos de Bolivia. Hasta hoy, un 30% del territorio ha sido afectado por cambios de uso del suelo debido a deforestación, sequías y sobrepastoreo, que aumentan la erosión en las cuencas de drenaje y con ella la cantidad de sedimentos suspendidos en las aguas de los ríos. Efecto de este proceso es la colmatación del curso inferior de los ríos, como la que se está evidenciando en los ríos Pilcomayo y Desaguadero.



ULRA-UMSS

Cauce de río colmatado en el norte de Potosí por residuos mineros.

Muchos de los factores de perturbación mencionados anteriormente conllevan a la deforestación en las zonas ribereñas de los ríos. Actualmente, la deforestación es uno de los factores a los que debería prestarse mayor atención, pues está muy extendido en casi todos los sistemas fluviales de nuestro país. Un estudio realizado en el Chapare (Cochabamba), evidenció que la deforestación ribereña afectó la composición y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos.

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica es el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema perturbado o destruido. Las razones para su restauración pueden ser:

- Fortalecer la conservación en áreas o paisajes protegidos y en áreas o paisajes productivos
- Mejorar la capacidad productiva en áreas productivas degradadas
- Recuperar sitios altamente degradados

La restauración requiere de una clara descripción de los atributos del ecosistema como ser: **composición y abundancia relativa** de las especies, estructura (ensamblaje de la comunidad), **patrones espaciales y temporales** de los componentes, **heterogeneidad, función** (procesos ecosistémicos básicos respecto a la energía, agua, nutrientes, etc.), **dinámica y resiliencia** (procesos de sucesión y recuperación frente a disturbios, etc.).

Para diseñar un esquema de restauración, existen tres tipos simples de objetivos:

- Las **especies**: se puede enfocar la restauración en especies claves (relacionadas a funciones particulares), amenazadas o ensamblajes de especies.
- Las **funciones** del ecosistema: flujos de materia y energía, componentes bióticos (rendimientos,



Navegación en la Amazonía boliviana.

ULRA-UMSS



Ribera deforestada en un río amazónico boliviano.

ULRA-UMSS

inventarios de especies, conexiones tróficas, etc.), componentes abióticos (ciclo de nutrientes) y arquitectura del ecosistema (estructura física y arreglos del sistema).

- Los **servicios** del ecosistema: productivos, ambientales, sociales, etc.

También se necesita una justificación social para la restauración, y esta depende de la valoración del mismo, para la cual se reconocen cuatro tipos de valor:

- Valor directo de uso (agua para beber y recursos pesqueros)
- Valor indirecto (autodepuración de la contaminación, fijación de CO₂)
- Valor opcional (área de recreación)
- Valor de no uso: valor intrínseco por su mera existencia, por ejemplo para la sobrevivencia de especies

Un concepto relacionado emergido durante las últimas décadas es el de la “salud” del ecosistema, definida por los siguientes indicadores:

- Vigor: actividad, metabolismo o productividad primaria

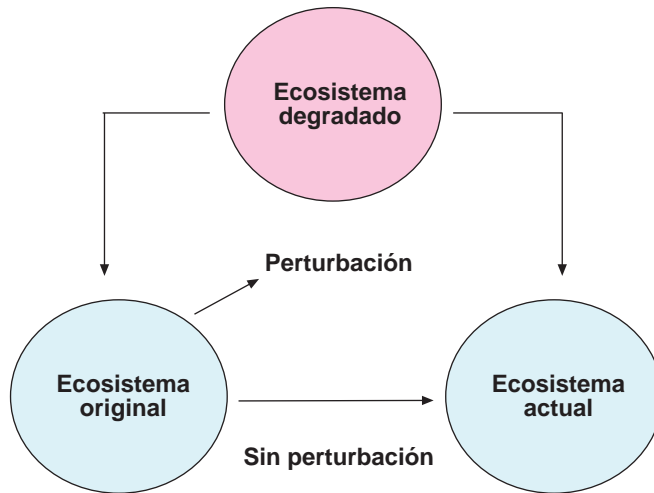
- Organización: diversidad y número de interacciones entre los componentes del ecosistema
- Resiliencia: capacidad de mantener su estructura y función frente a la perturbación

Para la restauración se necesita un ecosistema de referencia. Generalmente es atractiva la idea de orientarse en un ecosistema anterior a la perturbación, sin embargo es muy difícil tener información suficiente para una reconstrucción histórica.

Los objetivos de la restauración serán, entonces, una aproximación al ecosistema anterior a la perturbación o a un ecosistema deseado en un contexto social.

Desde el punto de vista de la salud del ecosistema, la restauración comienza con un buen diagnóstico del problema, seguido de una trayectoria posible para reparar el daño y eliminar las causas.

Sin embargo, muchas veces la eliminación de la causa no resulta en la recuperación del ecosistema, pues el daño causado es irreversible. Existen aspectos que pueden influir para que la restauración no alcance la meta requerida, sino un estado alternativo.



Extraído de Van Andel & Aronson, 2006

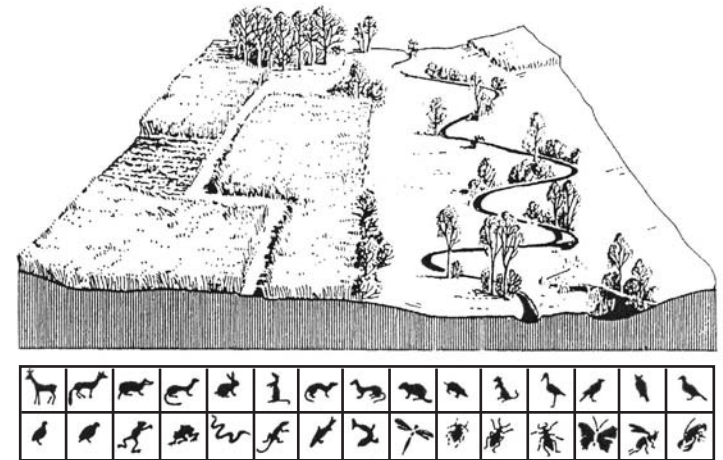
Alternativas para definir los objetivos de la restauración

Restauración de sistemas fluviales

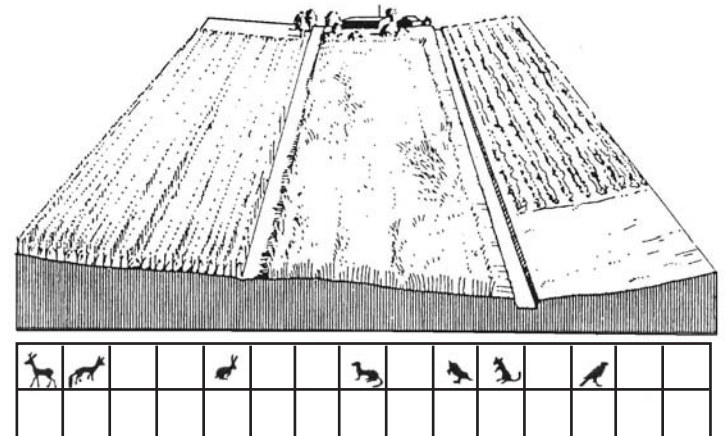
Cuando se trata de ambientes fluviales, la restauración generalmente se enfoca en la **estructura** o en las **funciones ecológicas** del río.

En el caso de la estructura, se trata de:

- La **morfología** (perfil longitudinal, perfil transversal, forma del cauce)
- El **tipo de sustrato** (granulometría, formas del lecho, estabilidad del lecho y orillas)



Uso agrícola parcial río natural



Uso agrícola total río canalizado

Relación entre el uso de suelo de la llanura de inundación y la diversidad de hábitats especies

Extraído de González del Tánago y García de Jalón, 2001

- **Condiciones hidráulicas** de la corriente (velocidad, rugosidad del sustrato, etc.)
- **Comunidades biológicas** (algas, macrófitas, macroinvertebrados, peces, aves, etc.)
- **Llanura de inundación** (vegetación ribereña, meandros cortados, fauna asociada, etc.)

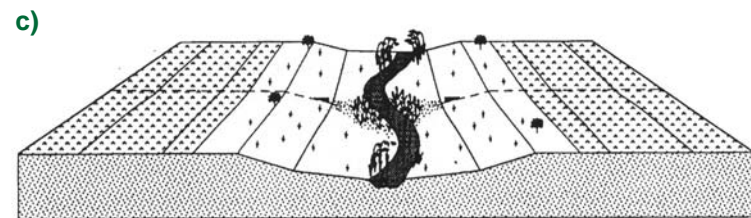
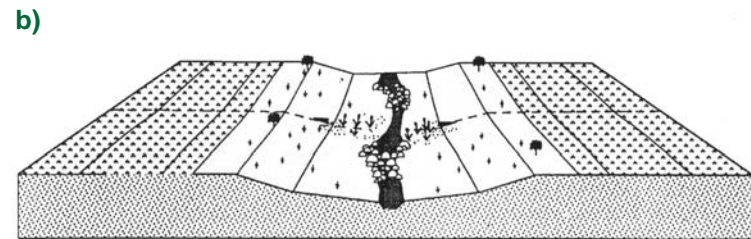
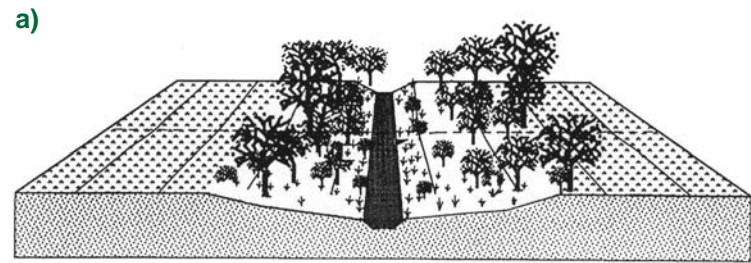
En el caso de las funciones, se trata de reestablecer las **interrelaciones** entre los componentes de la estructura del río mismo y de su llanura de inundación.

En cualquier caso de restauración, el principio básico es contar con el elemento agua en la cantidad necesaria, para mantener el régimen de caudales y con calidad suficiente para asegurar el establecimiento de los organismos.

El régimen de caudales y de transporte de sedimentos, que depende del estado de la cuenca, es un elemento clave y debe contarse siempre con el “caudal mínimo ecológico”.

Dado que la forma del cauce es el resultado del comportamiento hidrológico del río, su restauración debe tender a lograr una condición estable, favoreciendo los procesos naturales que en él operan.

Así mismo, la restauración debe favorecer a la heterogeneidad de hábitats y a las condiciones hidráulicas, pues de ella depende la biodiversidad acuática. Las modificaciones de estructura del río y la deforestación ribereña (por ejemplo por canalizaciones) disminuyen la diversidad del hábitat y pueden llegar a desconectar al río de su llanura de inundación.



Ejemplos de acciones de restauración en ríos a través de:

- a) revegetación de las riberas
- b) alternancia de rápidos y pozas
- c) recuperación de la sinuosidad

En los últimos años, los métodos y procedimientos para restaurar ríos han sido desarrollados rápidamente. Sin embargo, en Bolivia, no existe aún ninguna iniciativa para restaurar los ríos perturbados. Dada la magnitud y velocidad con que están ocurriendo los procesos de perturbación antrópica, es imperativo incluir acciones de restauración desde los planes de manejo de cuencas.

La práctica de la restauración ecológica, y la ciencia de la ecología de la restauración se convertirán en herramientas importantes en este siglo, para que la humanidad pueda mitigar, prevenir y revertir los efectos adversos de las perturbaciones que nuestras actividades están causando en el planeta.

BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J.D. 1995. Stream ecology. Chapman & Hall, London. 388 p.
- Franken, M. y R. Marín. 1992. Influencia de una fábrica de estuco sobre un ecosistema acuático en la ciudad de La Paz. *Ecología en Bolivia* 19: 73-96.
- Bourgoin, L.M., I. Quiroga, O. Malm y J. Chincheros. 1999. Contaminación por mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la minería aurífera en la cuenca amazónica boliviana. *Rev. Ecol. y Cons. Amb.* 6: 239-246.
- Charriere, M., L. Bourrel, E. Goutier y M. Pouilly. 2004. División geomorfológica del Río Mamoré. En: Pouilly, M., S. Beck, M. Moraes y C. Ibañez (Eds.). *Diversidad biológica en la llanura de inundación del Río Mamoré*. Centro de Ecología Simón I. Patiño, Santa Cruz, Bolivia. 383 p.
- Fawthrop, N.P. 1996. Modelling Hydrological Processes for River Management. In: Petts & Calow (Eds.). *River flows and Channel Forms*. Blackwell Science, Oxford. 262 p.
- Giller, P. & B. Malmqvist. 1998. *The Biology of streams and rivers*. Oxford University Press, Oxford. 294 p.
- Goitia, E., R. Ayala, M. Rossberg y A.M. Romero. 2001. Comunidad bentónica del Río Rocha en relación a la entrada de poluentes (Cochabamba, Bolivia). *Rev Ecol. y Conserv. Amb.* 10: 3 - 6.
- González del Tánago, M. y D. García de Jalón. 2001. Restauración de ríos y riberas. Fundación Conde del Valle-Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 319 p.
- Hamel, C. y P. van Damme. 1999. Acidificación de ríos por contaminación con metales pesados en la zona altoandina boliviana: indicadores bentónicos. *Rev. Ecol. y Cons. Amb.* 6: 191-201.
- Horne, A. & Ch. Goldman. 1994. *Limnology*. 2nd ed. Mac Graw-Hill Eds., Boston.
- Krebs, Ch. 2001. *Ecology*. 5th Ed. Benjamin Cummings, San Francisco, USA. 994 p.
- Maldonado, F., P. van Damme, J. Rojas, R. Sanabria, C. Creemers y C. Vandecasteele. 2000. El impacto de la contaminación por hidrocarburos sobre la

calidad de aguas y sobre macroinvertebrados bentónicos del Río Hondo (Carrasco, Cochabamba, Bolivia). *Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb.* 7: 115-118.

Molles, M. 1999. *Ecology*. Mac Grill-Hill Eds., Boston.

Moya, N. y T. Oberdorff. 2006. Índice multimétrico de integridad biótica béntica para la cuenca del Río Chipiriri, Cochabamba, Bolivia. *Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb.* 19: 01-11.

Moya, N., J. Zubieta, A. Céspedes, R. Bigorne y T. Oberdorff. 2007. Efecto de la cobertura vegetal sobre la estructura de la fauna bentónica, cuenca del río Chipiriri (Cochabamba, Bolivia). *Memorias del Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Cochabamba, Bolivia.* p: 1158-1165.

Oberdorff, T. 2004. Concept and measurement of perturbations: an application to freshwater fish communities. *Memorias del Taller "Evaluación de la perturbación ecológica en ambientes acuáticos"*. Cochabamba, Bolivia.

Rivero, M., M. Campero, M. Alvarez, N. Medrano, T. Pérez y A. Céspedes. 2007. Evaluación de la sensibilidad

de biomarcadores para la detección de contaminación por pesticidas en organismos acuáticos, Chapare, Cochabamba. *Memorias del Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Cochabamba, Bolivia.* p. 1257-1263.

Salinas, G., R. Marín, C. Hery, O. Fossati y J.G. Wasson. 1999. Efecto de la materia en suspensión sobre los invertebrados bénticos de los ríos de aguas claras en los Yungas de Bolivia. *Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb.* 6: 183-189.

Smith, R. & T. Smith. 2001. *Ecología*. 4ª ed. Pearson Educación, Madrid. 664 p.

Taucer, E. 1996. Impacto de la perturbación mecánica por efecto de las actividades mineras en ríos del norte del Departamento de La Paz. *Tesis de Maestría, UMSA, La Paz.* 150 p.

Van Damme, P. 2002. Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia. *CONIAG-CGIAB.* 90 p.

Van Andel, J. y J. Aronson (Eds.). 2006. *Restoration Ecology*. Blackwell Science Ltd., Australia. 319 p.

Vannote, R. L, G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. SEDELI,
& C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept.
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37:130-137.

Velasco, M., A. Justiniano, M. Zalles, M. Flores, O. Pedraza
y M. de Becerra. 1994. Determinación de causas
y efectos del desastre ecológico del Piraicito:
comentarios preliminares. Memorias de la Segunda
Reunión Boliviana de Limnología, La Paz, Bolivia.
p. 61-65.

