

ECOLOGÍA Y SALUD

Ciclos biogeoquímicos

Ecosistema

Es una unidad de organización biológica natural constituida por todos los organismos de un área dada y el ambiente físico en el que viven.



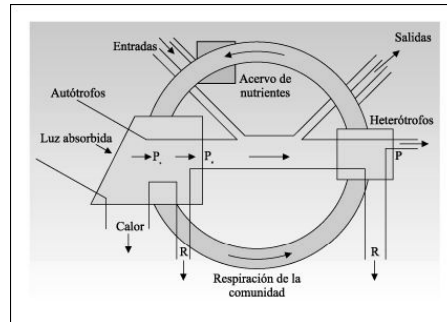
Las interacciones entre los componentes vivos (bióticos) y no vivos (abióticos) en un ecosistema ocurren a través de:

1) Un flujo unidireccional de **energía** desde el Sol a través de las cadenas tróficas.

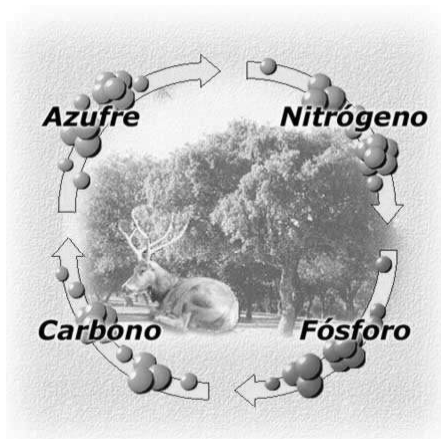
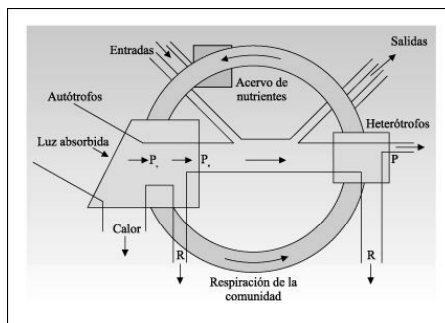
2) Un **reciclamiento continuo** de **elementos minerales y materiales inorgánicos**.



Ciclos biogeoquímicos



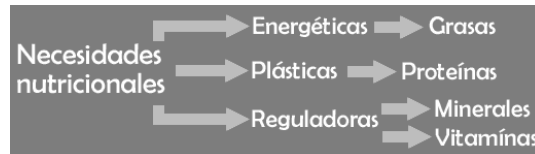
El término **Ciclo Biogeoquímico** se refiere al movimiento circular y continuo de elementos químicos y sustancias inorgánicas (N, C, P, S, O e H) a través de los niveles tróficos, desde y hacia el ambiente físico mediante una serie de procesos de producción y descomposición.



¿Por qué debemos entenderlos?

NUTRIENTES

Un elemento químico o molécula necesario para la vida de un organismo, se llama **nutriente**. Los organismos vivos necesitan de 30 a 40 elementos químicos, donde el número y tipos de estos elementos varía en cada especie.



El movimiento de los nutrientes desde la abiota (en la atmósfera, la hidrosfera y la corteza de la tierra) hasta la biota, y viceversa, tiene lugar en los ciclos biogeoquímicos (de *bio*: vida, *geo*: en la tierra).

Hay tres tipos de ciclos biogeoquímicos interconectados.

Gaseoso. Los nutrientes circulan principalmente entre la atmósfera y los organismos vivos. En la mayoría de estos ciclos los elementos son reciclados rápidamente, con frecuencia en horas o días. (carbono, oxígeno y nitrógeno).

Sedimentario. Los nutrientes circulan entre la corteza terrestre (suelo, rocas y sedimentos), la hidrósfera y los organismos vivos. Los elementos en general reciclan más lentamente porque son retenidos en las rocas. El fósforo y el azufre son dos de los 36 elementos reciclados de esta manera.

Hidrológico. En el ciclo hidrológico, el agua circula entre el océano, el aire, la tierra y la biota, este ciclo también distribuye el calor solar sobre la superficie del planeta.

PROCESOS FUNDAMENTALES EN LOS CICLOS BGQ

1. **Procesos ASIMILADORES:** Cambian los elementos a formas orgánicas.

P.e.:Fotosíntesis.

2. **Procesos DESASIMILADORES:** Cambian los elementos a formas inorgánicas.

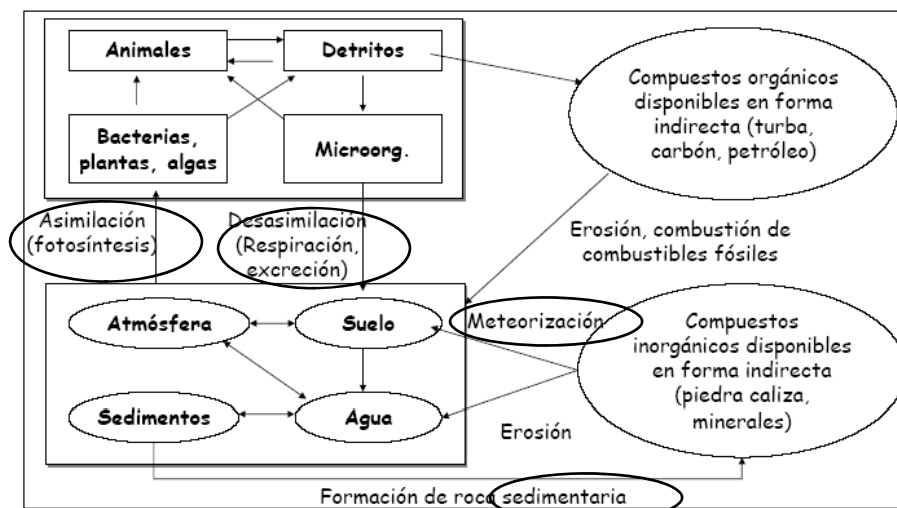
P.E.: Respiración.

3. **Procesos NO MEDIADOS:**

Meteorización (libera K, P. Si...): Desintegración y descomposición de una roca como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos (erosión);

Sedimentación: proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse o canal artificial.

PROCESOS FUNDAMENTALES EN LOS CICLOS BGQ



Detritos: residuos, generalmente sólidos, producto de la descomposición de fuentes orgánicas y minerales.

CICLO DEL CARBONO

Estrechamente vinculado con el flujo de E.

La fuente de todo el C de organismos vivos y depósitos fósiles proviene del CO₂ (atmosférico y disuelto).

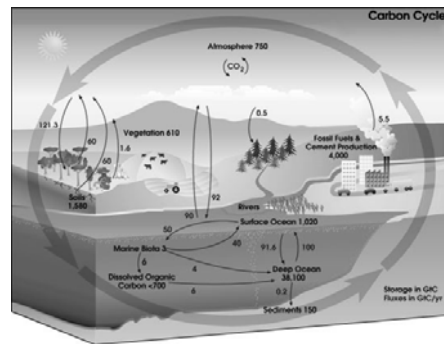
El ciclo comprende dos ciclos que se suceden a distintas velocidades.

Ciclo biológico

Intercambios de carbono (CO₂) entre los seres vivos y la atmósfera

- Fotosíntesis: proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas
- Respiración: proceso que lo devuelve a la atmósfera.

Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años.



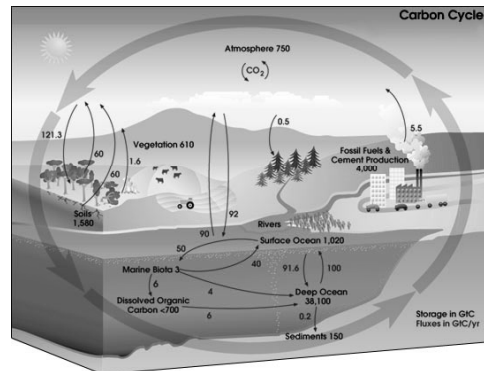
Ciclo biogeoquímico

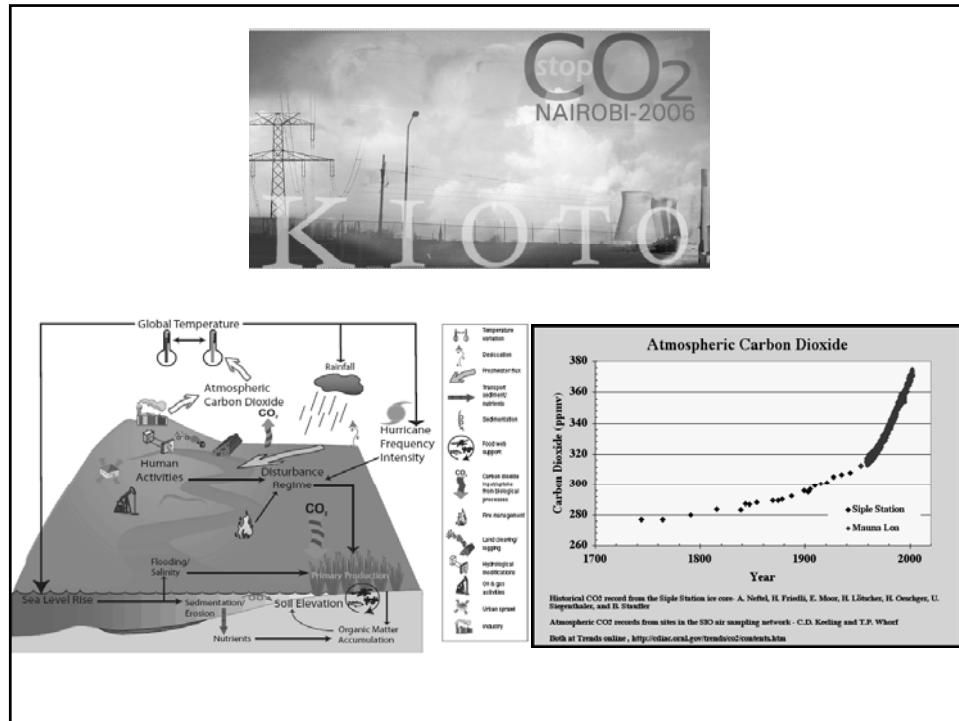
Regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo).

El CO₂ atmosférico se disuelve en agua (ácido carbónico) atacando los silicatos (constituyen las rocas), resultando iones bicarbonato. Estos iones son asimilados por los animales para formar sus tejidos, y tras su muerte se depositan en los sedimentos. El retorno a la atmósfera se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de las rocas que lo contienen.

Ciclo de larga duración. Tiene implícito mecanismos geológicos.

En ocasiones la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descomponga, produciéndose la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y gas natural.

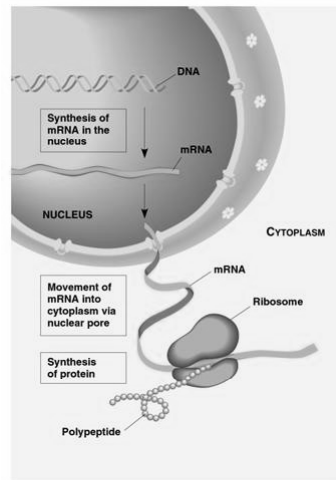




Ciclo del Nitrógeno

Importancia

- Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo.
- La mayor reserva se encuentra en la atmósfera, donde cerca del 78% del nitrógeno está en forma de gas (N₂).

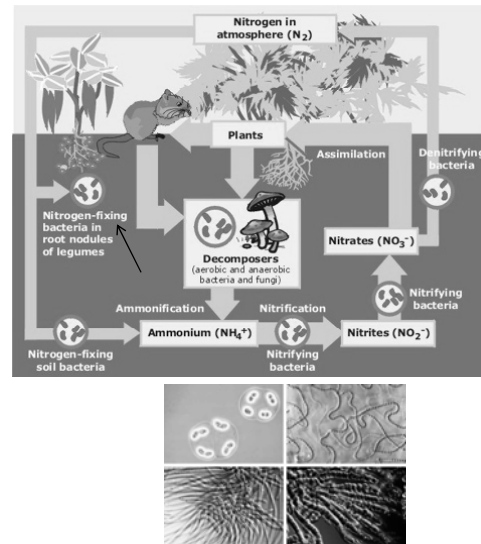


Nitrógeno molecular en la atmósfera no está disponible para su uso directo por plantas o animales, este debe ser convertido o fijado.



La fijación del Nitrógeno se centra en combinar Nitrógeno con Oxígeno, formándose así compuestos denominados nitratos (NO_3^-).

Este proceso sólo puede ser realizado por bacterias, como las cianobacterias y las azotobacteriáceas



ASIMILACION

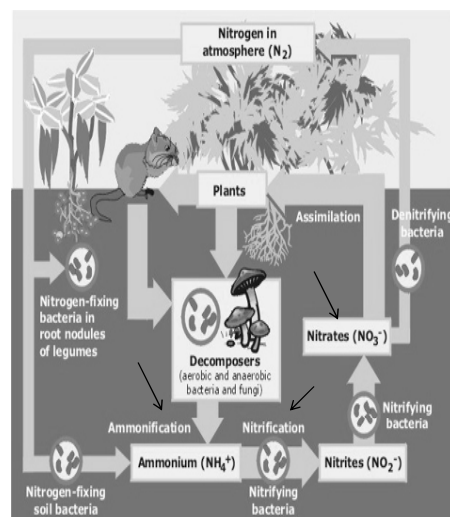
Como **nitrato**, el N es usado por plantas quedando disponible para animales. (Las plantas reducen el nitrato (NO_3^-) a grupos amino).

AMONIFICACION

Para volver a contar con **NITRATO** los **descomponedores** lo extraen desde la biomasa dejándolo en la forma reducida como ion **AMONIO** (NH_4^+)

NITRIFICACION

luego el **amonio** es oxidado (bacterias) a **NITRITO**, siendo finalmente convertido a **NITRATO** por **asimilación**



Son numerosos los compuestos que se forman en las distintas fases del ciclo del nitrógeno. Algunos de ellos en concentraciones no adecuadas o en lugares no apropiados representan importantes **fuentes de contaminación**, tales como el nitrato y el amonio.



Suelos y aguas (superficiales y subterráneas)

Uso de fertilizantes

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el subsuelo.

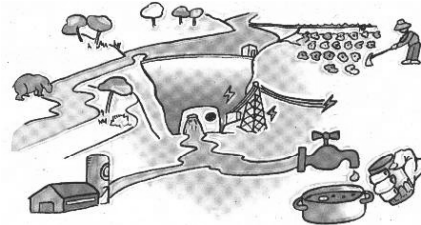
El nitrato es muy soluble, es poco retenido por los suelos, lo que permite su rápida llegada (lixiviación) a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales.



Fuentes urbanas de nitratos

Consecuencias de lixiviación nitratos

Consumir agua rica en nitratos posibilita su transformación en nitritos por bacterias internas :
Compuestos cancerígenos (Nitrosamidas) que afectan al estómago e hígado (cáncer gástrico)

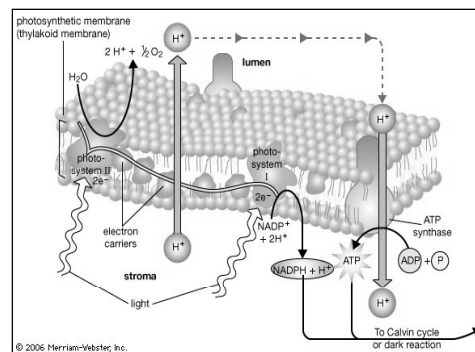


Al llegar a aguas superficiales los nitratos actúan de fertilizantes naturales de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede aumentar descontroladamente la biomasa del medio. Eutroficación.



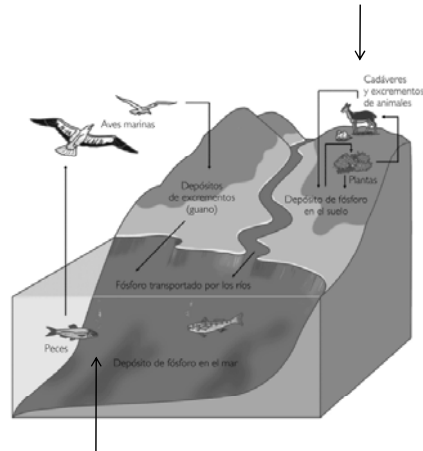
Ciclo del fósforo

El fósforo es un componente esencial de los organismos. Forma parte de los ácidos nucleídos (ADN y ARN); del ATP y de otras moléculas que tienen PO_4^{3-} y que almacenan energía química; de los fosfolípidos que forman las membranas celulares; y de los huesos y dientes de los animales.



Ciclo del fósforo

- La principal reserva es la corteza terrestre (en plantas 0,2% y animales hasta el 1% de su masa puede ser fósforo).
- Por meteorización de las rocas o sacado por las cenizas volcánicas, queda disponible para que lo puedan tomar las plantas y luego los animales.
- Absorbido por el plancton ingresa a la cadena trófica hasta regresar a través del guano de las aves a la tierra.



Es el principal **factor limitante** en los ecosistemas acuáticos

Fertilizantes

El incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos organismos usan grandes cantidades de oxígeno y previenen que los rayos de sol entren en el agua. Esto hace que el agua sea poco adecuada para la vida de otros organismos. **Eutroficación**



Otras formas ambientales del Fósforo

El **fósforo blanco (forma pura)** entra en el ambiente al ser usado en industrias como base para otros productos químicos, y/o cuando el ejército lo usa como munición.

Extremadamente venenoso y en muchos casos la exposición es fatal, causando quemaduras en la piel, daño del hígado, corazón y riñones.



El uso del fósforo blanco como instrumento de muerte está prohibido por convenciones internacionales.

A través de descargas de aguas residuales el fósforo blanco termina en las aguas superficiales cerca de las fábricas donde es usado. No obstante su rápida reacción con el oxígeno implica una baja persistencia

METALES PESADOS

Se consideran como metales pesados aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos.

Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%.

Desde el punto de vista biológico, se distinguen dos grandes grupos, aquellos que no presentan una función biológica conocida y los que tienen la consideración de oligoelementos o micronutrientes.

La presencia de los primeros en seres vivos, en cantidades mínimas, lleva aparejada graves disfunciones orgánicas. Resultan altamente tóxicos y pueden acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn, Sb, Bi.

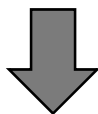
Los oligoelementos o micronutrientes se requieren en pequeñas cantidades, o cantidades traza, por las plantas y animales

Todos ellos son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pero superado un cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, entre otros

Elemento	Granito	Basalto	Esquisto	Caliza	Arenisca	Suelos
Ag	0.04	0.1	0.07	0.12	0.25	0.05
Al	77000	88000	88000	90000	43000	71000
As	1.5	1.5	13	1	1	6
Cd	0.09	0.13	0.22	0.028	0.05	0.35
Co	1	35	19	0.1	0.3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5.5	30	30
Fe	27000	56000	48000	17000	29000	40000
Hg	0.08	0.012	0.012	0.18	0.29	0.06
Mn	400	1500	850	620	460	1000
Mo	2	1	2.6	0.16	0.2	1.2
Ni	0.5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5.7	10	35
Se	0.05	0.05	0.5	0.03	0.01	0.4
Sn	3.5	1	6	0.5	0.5	4
Zn	52	100	120	20	30	90

Existe una gran variabilidad en el contenido de diversos metales en diferentes suelos.

Márgenes de variabilidad de diferentes elementos en agua y aire para diferentes organismos que no presentan problemas de toxicidad



Es necesario considerar el nivel geoquímico normal de un elemento determinado antes de hablar de contaminación antrópica del suelo.

Elemento	Plantas mg/kg	Mamíferos mg/kg	Peces mg/kg	Aire (Polo Sur) ng/kg	Agua marina mg/kg	Agua cont. mg/kg	Lluvia mg/kg
Ag	0.01-0.8	0.01-0.44	0.04-0.1	-	0.040	0.3	0.006
Al	90-530	0.7-28	20	0.67	2	300	2.1-105
As	0.2-7	<1.6	0.2-10	0.006	1.3-2.5	0.5	-
Cd	0.1-2.4	0.1-3.2	0.1-3	<0.4	<0.025	0.1	0.02-0.06
Co	<1	<1	0.02	<0.03	0.02	0.2	0.17-0.95
Cr	0.03-10	0.01-33	0.03-2	<0.03	0.09-0.55	1	-
Cu	5-15	1-26	0.7-15	0.51	0.01	3	0.01-15
Fe	70-700	3-380	1-15	<29	2	500	0.4-84
Hg	<0.02	0.02-0.7	0.4	<0.01	<0.012	0.1	-
Mn	20-700	0.2-14	0.3-4.6	1.2	0.2	8	-
Mo	0.06-3	0.02-0.7	1	<0.2	10	0.5	0.01-12
Ni	1-5	0.7-1.2	0.1-4	<2	0.02-0.7	0.5	-
Pb	1-13	0.2-30	0.01-2	3.6	<0.02	3	-
Se	0.03	0.4-9	0.2	0.005	0.06-0.12	0.2	0.01-0.77
Sn	0.02-2	0.01-2	-	-	0.004	<0.01	<0.01
Zn	20-400	75-240	10	0.027	<0.6	10	0.05-100

Elemento	Rango "normal" mg/kg	Valores anormalmente elevado mg/kg
As	<5 - 40	>2500
Cd	<1 - 2	>30
Cu	2 - 60	>2000
Mo	<1 - 5	10 - 100
Ni	2 - 100	>8000
Pb	10 - 150	≥10000
Se	<1 - 2	>500
Zn	25 - 200	≥10000

Cuando la cantidad presente en el suelo de un elemento no puede justificarse por un origen geoquímico, es necesario atribuirlo a una contaminación procedente de una fuente externa.

Principales fuentes



Origen	
Fuente	Contribución %
Cenizas de combustión	74
Desechos urbanos	9
Turba	6
Residuos metalurgia	6
Residuos materia orgánica	3
Fertilizantes	2

Al final de los 80 se estimaba que la adición de metales al suelo suponía unos 5000 millones de Mg anuales, de ellos casi tres cuartos proceden del uso de los combustibles fósiles.



El aporte de metales se puede descomponer de la siguiente manera:

Vehículos motorizados:
Cd procedente del gasoil,
Zn y el Cd del desgaste de metales
junto al Ni, Cr, V, W y Mo desprendidos
del acero.
Pb de la gasolina, suprimido en muchos
países en los últimos años



Industrias y hogares:
Combustión de carbón y petróleo en
centrales eléctricas y calefacción
doméstica en áreas urbanas emiten
cantidades importantes de Ni, Pb y V,
además de ingentes cantidades de N y
S.
Las industrias metalúrgicas son otra
importante fuente de emisión de
elementos tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb,
Zn y Hg.



Los residuos sólidos urbanos pueden llegar a contener hasta un 10 % de metales en su composición.

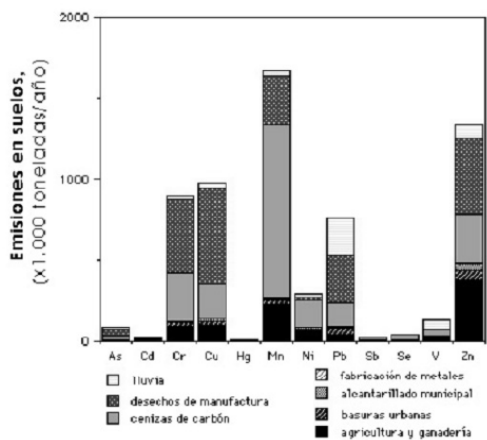


Los fertilizantes y las enmiendas en sectores rurales pueden llegar a constituir la principal fuente contaminante.

Enmiendas son fuentes de As y Cu utilizados como complementos nutritivos. Fertilizantes inorgánicos pueden aportar Cd; las rocas fosfatadas llevan diversos metales y sobre todo Cd, que junto a Pb y As son bastante frecuentes en diversos tipos de abonos.



La fuente principal de contaminación cambia con el elemento

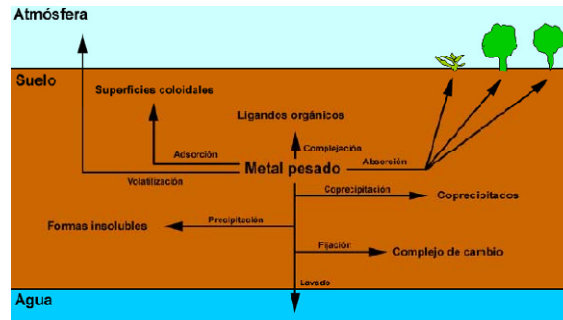


Por lo tanto para cualquier medida frente a la contaminación debe ser considerado el elemento a controlar

Ciclo metales

Una vez que el elemento ha llegado al suelo puede seguir diversas vías en el mismo.

Las principales son aquellas que afectan a su difusión a diversos medios por ser las que afectan a la salud humana.

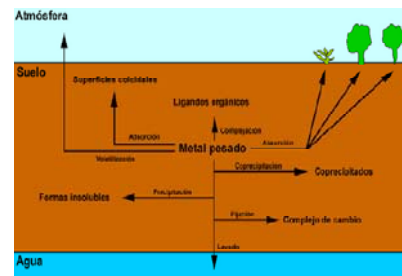


El ingreso en las cadenas tróficas puede hacerse mediante: 1) la absorción por las plantas o el lavado hacia las aguas freáticas en las que tiene mucho que ver su solubilidad. 2) la volatilización, medio por el cual vuelve al aire, del que en muchos casos procede, y puede tener influencia en la respiración.

Condición para la difusión

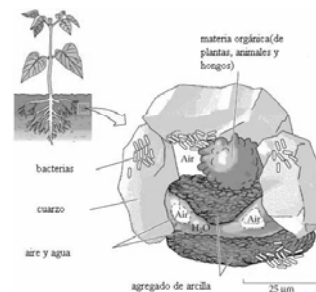
Es necesario que se encuentren en la solución del suelo, salvo en el caso de la volatilización (As y al Hg).

Su presencia en la solución puede estar impedida por la **RETENCIÓN** por el suelo.

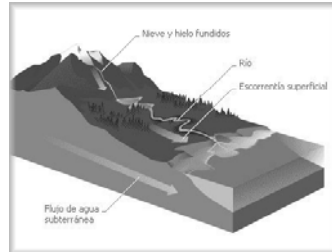


-La principal forma de retención en el suelo es su fijación en complejos adsorbentes, los que dependen del tipo de suelo.

- Una forma más activa es la precipitación del metal en forma de hidróxido o de sal poco soluble. Implica la formación de minerales secundarios de menor solubilidad (silicatos).



La eliminación de los elementos no retenidos en general ocurre por lavado, escorrentía y erosión laminar

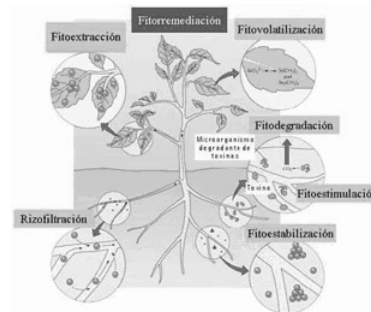


Cuando el suelo está cubierto de vegetación se atenúan las pérdidas por erosión y la acumulación de metales es mayor, pero cuando alcanza los límites de toxicidad en las plantas y estas mueren se reanuda la eliminación. Podríamos considerar este hecho como un mecanismo natural regulador de los fitotóxicos.

BIODISPONIBILIDAD

La toxicidad de los metales pesados es muy alta. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos.

Para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el metal debe estar biodisponible.



BIORREMEDIACION

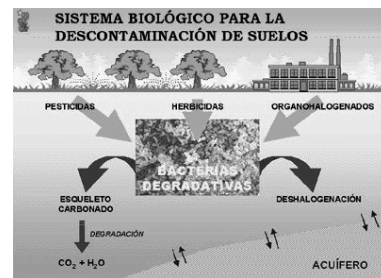
La **biorremediación** es el proceso en el que se emplean organismos biológicos para resolver problemas específicos medioambientales, como la contaminación.

Se basa en la capacidad de los microorganismos de realizar procesos degradativos.

Las técnicas de biorremediación:

1.- **Intrínseca:** El propio medio ambiente resuelve el problema si se dan las condiciones óptimas, aunque se controla el proceso por si se produjesen compuestos tóxicos secundarios.

2.- **Artificial:** La adición de nutrientes es la opción más económica y la que ofrece más posibilidades de éxito hoy día



In-situ: Se acelera el proceso en el mismo medio, modificando las condiciones ambientales (pH, nutrientes, humedad, temperatura, oxígeno, etc.), añadiendo nutrientes para multiplicar los organismos del lugar, o inoculando organismos más eficaces para el vertido concreto.

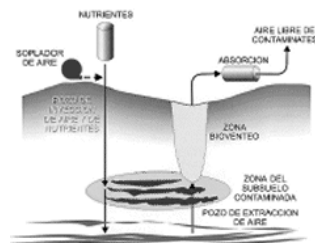


Figura 4.3.1.A Proceso de Biorremediación in situ de agua y suelo.

Ex-situ: El contaminante se extrae y se degrada en otro sitio en condiciones controladas de laboratorio. No obstante, se trata de un proceso más caro y que no puede realizarse en la mayoría de las ocasiones.

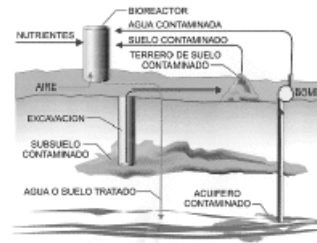


Figura 4.3.1.B Biorrestauración ex situ de agua y suelo.

Mecanismos de biorremediación

En los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de ciertos microorganismos o plantas capaces de degradar o acumular sustancias contaminantes tales como metales pesados y compuestos orgánicos derivados de petróleo o sintéticos.

Procesos de biorremediación pueden ser de tres tipos:

Degradación enzimática

Enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas

Remediación microbiana

La descontaminación se produce debido a la capacidad natural que tienen ciertos organismos de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas (metab. microbiano)

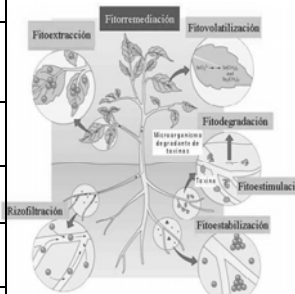
Fitorremediación

Considera la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia.

- Girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes cantidades el uranio depositado en el suelo.
- Alamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc.
- Arabidopsis thaliana* es capaz de hiperacumular cobre y zinc.

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Muníciones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzono, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.



Ventajas:

- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
 - Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
 - Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.
-

Limitaciones:

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.