



## Facultad de Ingeniería, Comisión Académica de Posgrado

### CURSO: Estructura y funcionamiento de ecosistemas

#### Responsables

Dra. Lorena Rodríguez - CURE-UDELAR

Dra. Irene Machado - CURE-UDELAR

Dra. Valentina Amaral – CURE-UDELAR

#### Invitados

Dr. Rafael Bernardi - CURE-UDELAR

Dr. Guillermo Chalar – F. de Ciencias-UDELAR

Dr. Gastón Martínez - CURE-UDELAR

Dra. Grisel Longo – CURE-UDELAR

|





Facultad de Ingeniería, Comisión Académica de Posgrado

**CURSO:** Estructura y funcionamiento de ecosistemas

**Objetivo:** introducir a los estudiantes en los conceptos básicos de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y en el pensamiento ecológico como base para su consideración en los proyectos de ingeniería sustentable.

# CURSO: Estructura y funcionamiento de ecosistemas

## Programa

**Clase 1.** Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat. Ma 9/5 – L. Rodríguez

**Clase 2.** Estructura de ecosistemas, factores abióticos y bióticos. Teoría de sistemas aplicada a ecosistemas. Estabilidad y resiliencia y su relación con la biodiversidad y calidad ambiental. J 11/5 – L. Rodríguez

**Clase 3.** Funcionamiento de ecosistemas, flujo de energía y materia. Ciclos biogeoquímicos. Producción primaria y secundaria, tramas tróficas, controles ascendentes y descendentes. Ma 16/5 – I. Machado y V. Amaral

**Clase 4.** Ecosistemas de Uruguay, distribución. Estado de conservación y causas de la degradación. Vulnerabilidad al Cambio Climático. Concepto de Servicios Ecosistémicos y sustentabilidad. J 18/5 – L. Rodríguez

**Clase 5.** Ecosistemas acuáticos continentales. Tipos, grupos biológicos principales y funcionamiento. Ecología fluvial. Ecología de lagos, lagunas y embalses. Ma 23/5 – I. Machado y G. Chalar

**Clase 6.** Ecosistema marinos. Tipos, grupos biológicos principales y funcionamiento. Tipos de ambientes marinos, estructura y funcionamiento. J 25/5 – I. Machado y V. Amaral

**Clase 7.** Ecosistemas terrestres. Tipos, grupos biológicos principales, suelo y funcionamiento. Ecología de bosques. Ecología de pastizales. Agroecosistemas: forestación, agricultura y ganadería. Conceptos de agroecología y producción sustentable. Ma 30/5 – R. Bernardi

**Clase 8.** Ecosistemas de transición. Ecología de humedales. Ecología de playas. J 1/6 – L. Rodríguez y G. Martínez

**Clase 9.** Sistemas socioecológicos, participación social y conocimiento ecológico local. Ma 6/6 – L. Rodríguez

**Clase 10.** Medidas basadas en naturaleza. Restauración. Impactos ambientales, impacto neto cero y contribuciones ambientales positivas. Hacia una ingeniería de la sustentabilidad. J 8/6 – L. Rodríguez

# **Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat.**

## **Ecología como disciplina científica**

El concepto se origina del Griego oikos que significa casa y representa nuestro entorno o ambiente.

Zoólogo alemán Ernst Haeckel en 1870: la ciencia que estudia cómo los organismos interactúan entre sí y con el entorno natural.

A fines del 1800 algunos investigadores europeos y norteamericanos se comenzaron a definir como ecólogos.

Las primeras revistas científicas comenzaron a inicios del siglo 20 y ha crecido y se ha diversificado enormemente y ahora hay decenas de miles de ecólogos.

Ciencia en crecimiento debido a las dramáticas consecuencias del crecimiento poblacional y tecnológico que nos obliga a entender el funcionamiento de los sistemas ecológicos, para tener prácticas sustentables y así preservar los sistemas de soporte de la vida en el planeta, de los que depende la humanidad.

## **Bibliografía de base**

Ricklef & Relyea 2008. La economía de la naturaleza. Freeman and Co.USA.

Feijoó Ed. 2022. Conservación, manejo y restauración de sistemas fluviales. Libros del INEDES, Argentina.

Jaksik & Marone.2006. Ecología de comunidades.

## Ecología como disciplina científica

**El pensamiento ecológico:** los organismos, sus poblaciones y las asociaciones de organismos en conjunto con su ambiente no vivo están unidos para formar **sistemas ecológicos** mayores, por la interacción e interdependencia regular de sus partes.

Los organismos obedecen principios generales y los ecosistemas también.

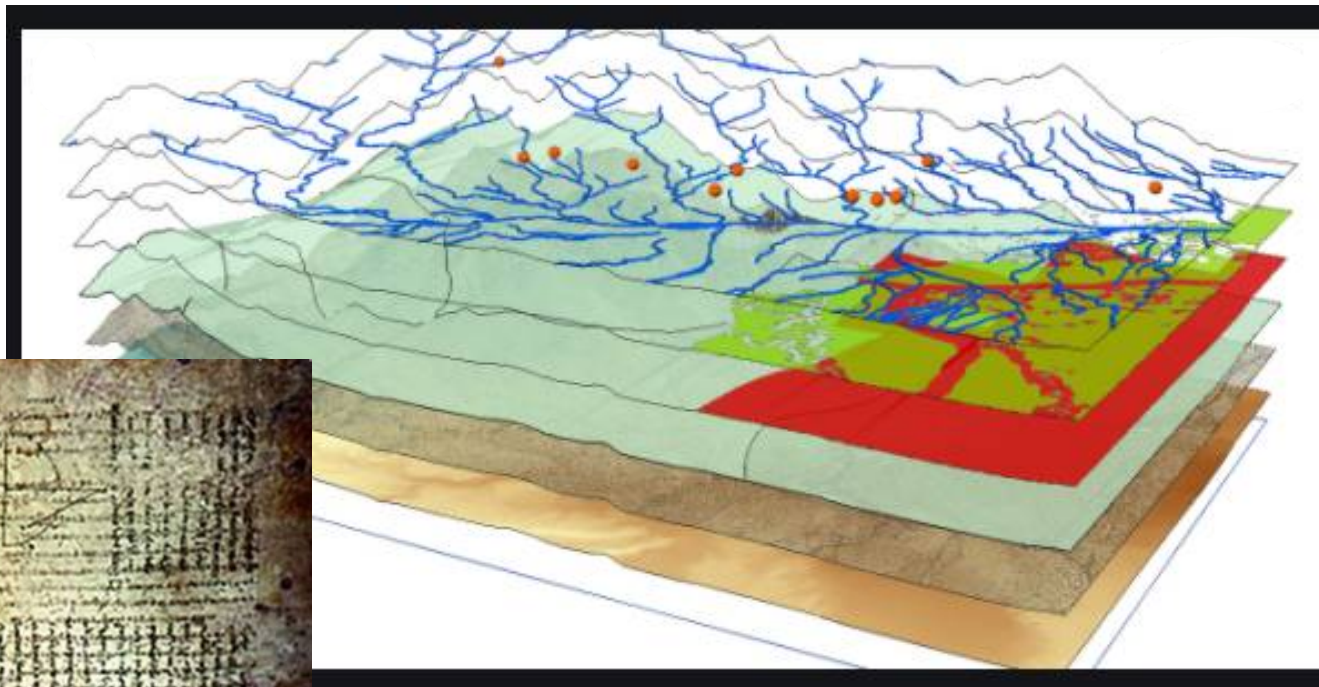
El conocimiento ecológico se basa en un gran registro de observaciones, experimentos y modelaciones, pero tiene mucho trabajo aún para explicar mejor muchos fenómenos y procesos globales, como la riqueza de especies y su distribución, los ciclos biogeoquímicos, la dinámica de las poblaciones naturales, etc.

Manejar los recursos biológicos para sostener una calidad de vida razonable para las personas dependen de la aplicación sabia de los principios ecológicos para resolver y prevenir problemas ambientales y para informar a nuestro pensamiento y prácticas económicas, políticas y sociales.

Ricklef

Los conceptos más subyacentes de la ecología están en su propia definición

La ecología es una multicapa (un palimpsesto) de conceptos propios y tomados de otras ciencias: genética, etología, sociología (redes), economía, paleontología, evolución, física y química (por sobre todo) y cada vez más nutre a otras ciencias

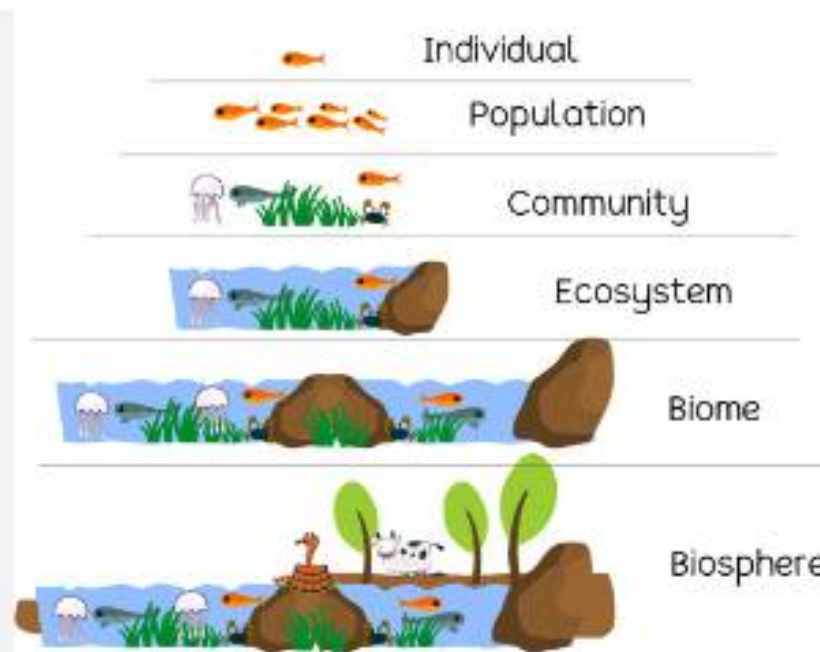


**Sistema ecológico:** puede ser un organismo, una población de organismos, un ensamble (o comunidad) de poblaciones, un ecosistema o la biosfera entera.

Cada sistema ecológico menor es un subconjunto de uno mayor, formando una jerarquía.

Una población tiene muchos individuos, una comunidad muchas poblaciones de varias especies, un ecosistema integra varias comunidades que interactúan entre sí por el uso de energía y materia y la biosfera es el límite final.

**El organismo es la unidad fundamental en el sistema ecológico.** Ninguna otra unidad en biología tiene una vida separada en el ambiente (molécula, célula, órgano). Para esto procesan energía y materia que obtienen del entorno, con lo cual crecen y se reproducen y se deshacen de sus desechos. En este proceso modifican el entorno a la vez que se adaptan a un entorno cambiante, modifican los flujos de energía y materia y afectan su disponibilidad para ellos y para otros organismos.



Aumenta el nivel de organización, la riqueza de especies, la complejidad e incertidumbre del funcionamiento

**Concepto de especie:** conjunto de organismos o poblaciones naturales capaces de entrecruzarse y producir descendencia fértil.

# Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat.

## Concepto de Ecosistema

Ensamblajes de organismos en interacción entre sí y con los ambientes y factores físicos y químicos.

**Son sistemas ecológicos grandes y complejos, que incluyen miles de organismos de especies diferentes** viviendo en entornos muy diferentes.

Unidades complejas que intercambian más materia, energía y organismos entre sí que con otros ecosistemas adyacentes: bosque, campo natural, humedal. Se los asemeja a un macroorganismo.

La biosfera es el sistema ecológico mayor y último.



### The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms

A. G. Tansley

*Ecology*, Vol. 16, No. 3. (Jul., 1935), pp. 284-307.

"Aunque los organismos llaman nuestra atención primaria, no es posible separarlos de su ambiente particular, con el que forman un sistema físico único.

Son unidades básicas de la naturaleza.

Nuestros prejuicios humanos nos llevan a considerar a los organismos biológicos como la parte más importante de estos sistemas, pero ciertamente los factores inorgánicos también son parte (no habría sistemas sin ellos) y existe un constante intercambio de diversa índole dentro de cada sistema no solo entre los organismos sino también entre lo orgánico y lo inorgánico.

Estos **ecosistemas** (como los llamaremos) son de tamaño y tipos diversos." ...



**Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat.**

Cada nivel del sistema ecológico tiene estructuras propias y procesos y mecanismos que predominan en comparación con los otros niveles.

En un individuo predomina el crecimiento, reproducción, metabolismo. En una población los procesos poblacionales de nacimiento, muerte y migración, en comunidades las interacciones entre especies, en ecosistemas los ciclos biogeoquímicos.

Cada nivel tiene diferentes aproximaciones de estudio y marcos conceptuales.

**Autoecología:** estudia cómo una única especie interactúa con el ambiente

**Población:** conjunto de organismos de la misma especie que tienen interacciones entre sí. – **Ecología de poblaciones.**

**Comunidad:** muchas poblaciones de muchas especies que viven en un mismo lugar. No tiene límites claros. – **Ecología de comunidades.**

**Ecosistema:** Conjunto de poblaciones y comunidades que interactúan entre sí en un mismo espacio. – **Ecología de ecosistemas.**



## Ecología de organismos

Estudia cómo la forma, fisiología y comportamiento ayudan a sobrevivir a los organismos en su ambiente y cómo los diferentes factores bióticos y abióticos afectan su desarrollo y producción.

Cada tipo de organismo está adaptado a su ambiente. Las adaptaciones son características de su estructura y función que hacen que los organismos sean más aptos para un tipo de ambiente. Esto se logra a partir del proceso de selección natural.



## Ecología de poblaciones

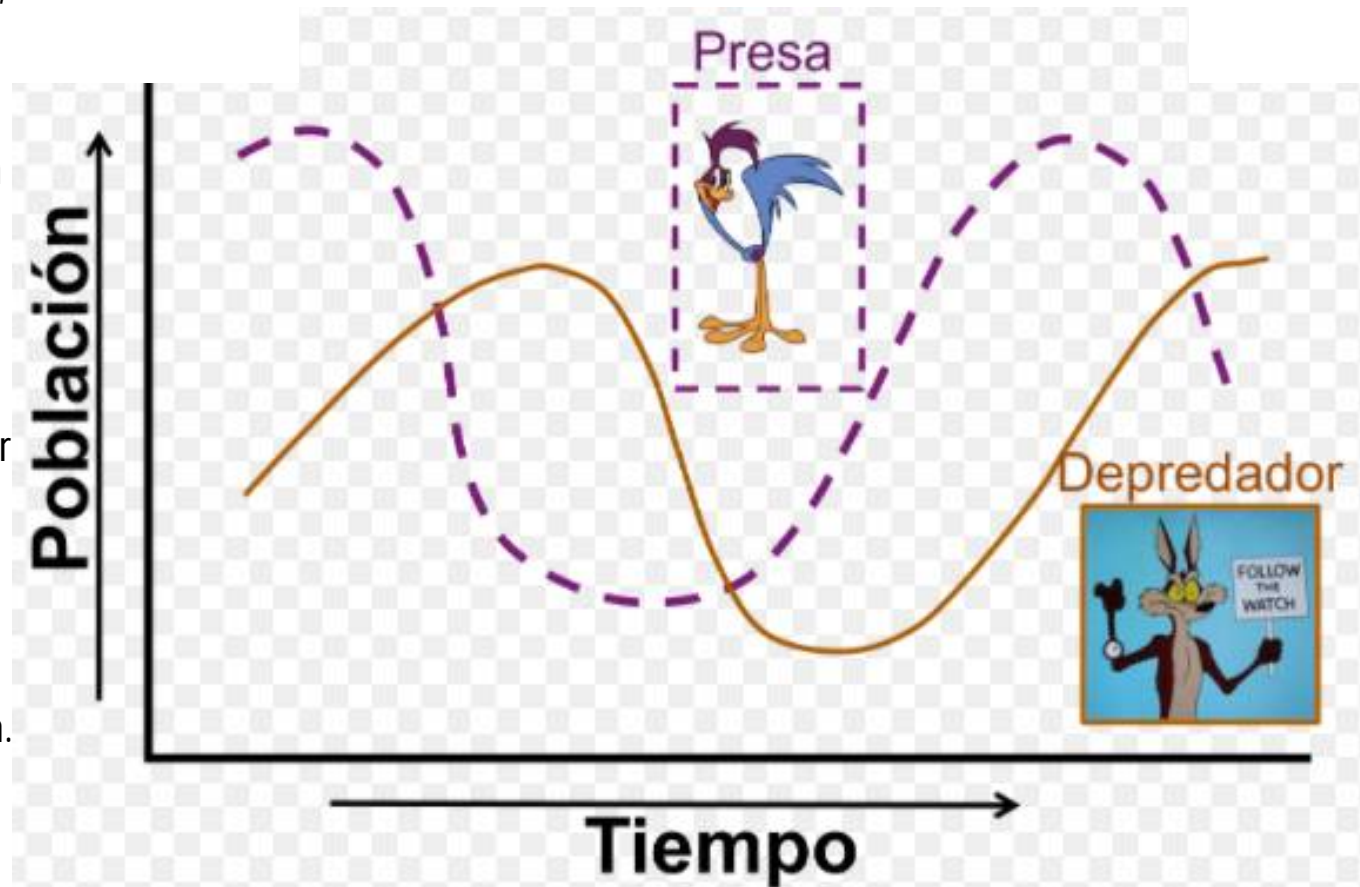
Estudia la dinámica de las poblaciones a través de entender la variación del número de individuos, los procesos de muerte-nacimiento-migración, la relación entre sexos, la distribución de tamaños y de edades, la variación genética, etc. de las poblaciones.

Los procesos de muerte y nacimiento reflejan factores físicos y bióticos como la temperatura, disponibilidad de agua, presencia de predadores o parásitos.

Las poblaciones son potencialmente inmortales a diferencia de los organismos: por el nacimiento de nuevos individuos

Las poblaciones tienen propiedades que no tienen sus individuos: rango de distribución geográfica, densidad (nº ind./ sup.), tamaño, diversidad de genética, fluctuaciones del número de indiv. Etc.

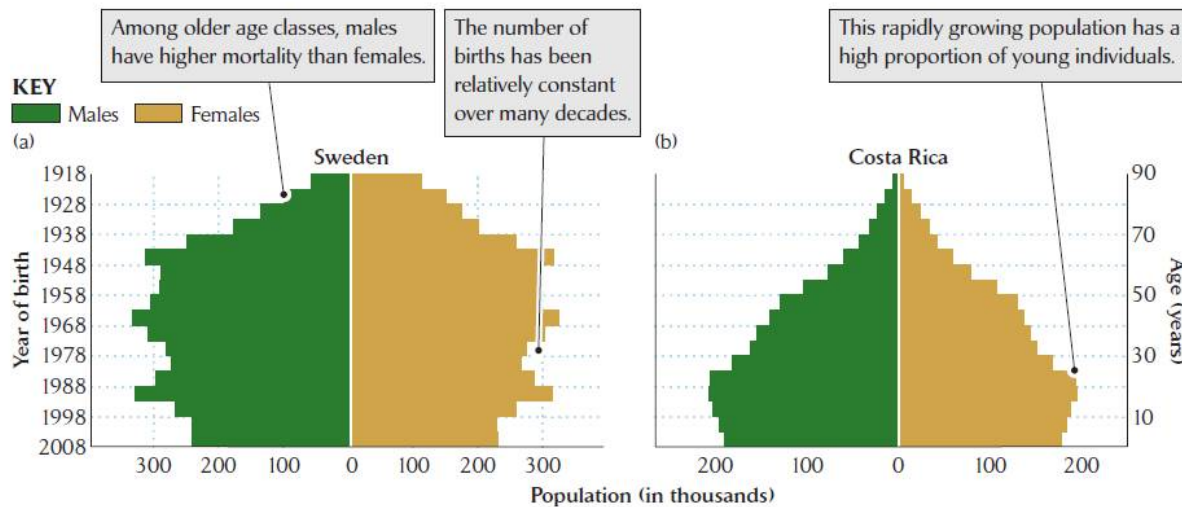
Tienen límites relativamente claros.



## Regulación de las poblaciones

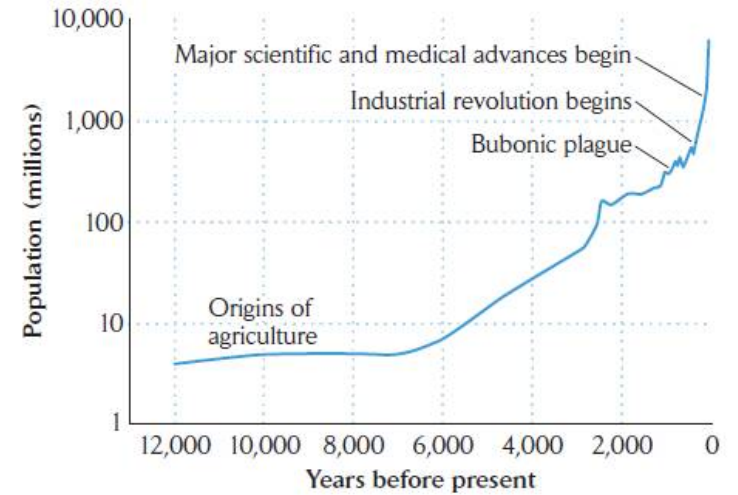
Uno de los objetivos de estudio más relevantes es entender cómo se regulan las poblaciones naturales, incluidos los humanos.

El crecimiento de la población humana en los últimos 10.000 años es uno de los cambios ecológicos más determinantes de la vida en el planeta.



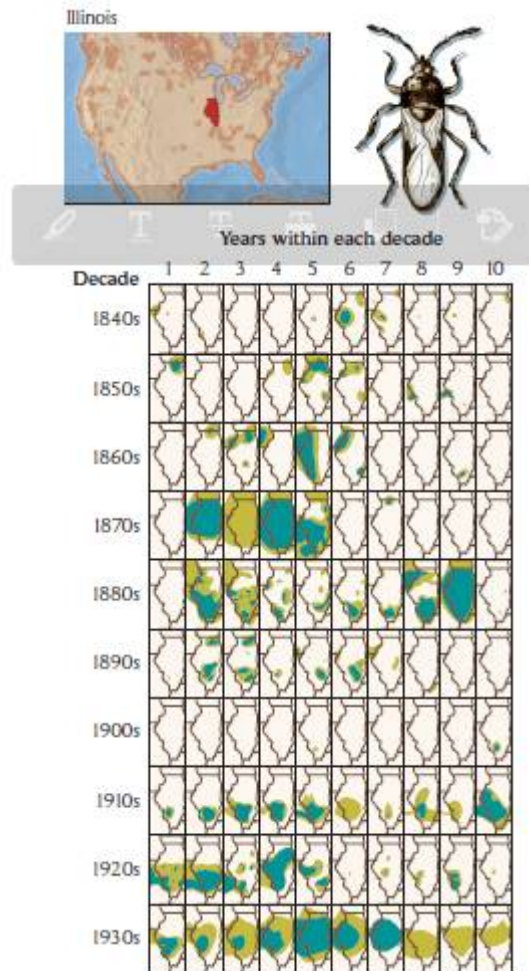
**FIGURE 11.6** The age structures of human populations reflect their history of birth and survival rates. (a) Sweden, 2008. Because this population has grown slowly, it is weighted toward older age classes. (b) Costa Rica, 2008. Rapid

population growth, caused by a high birth rate, has resulted in a bottom-heavy age structure, but birth rates have decreased since the 1990s. After U.S. Census Bureau, International Data Base.



## Regulación de las poblaciones

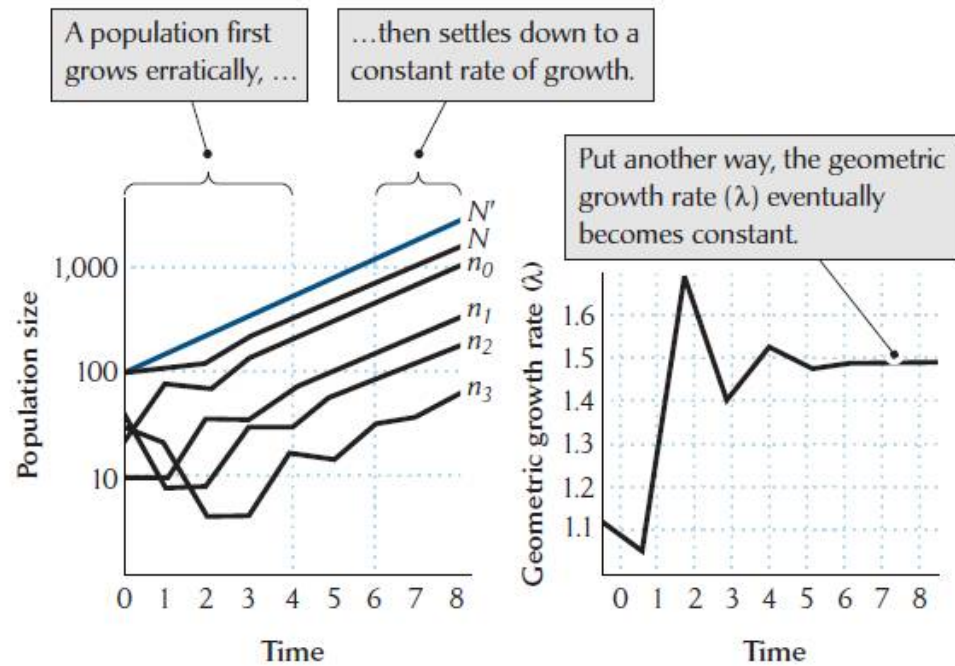
Uno de los objetivos de estudio más relevantes es entender cómo se regulan las poblaciones naturales, incluidos los humanos.



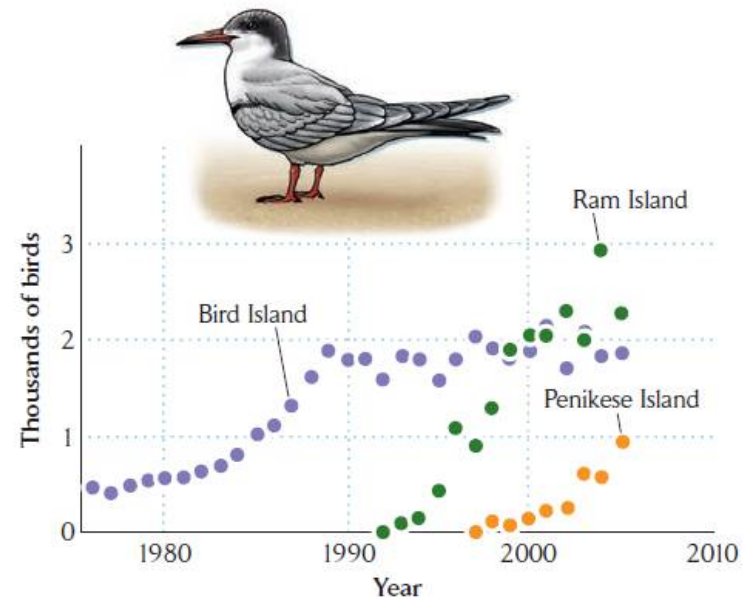
**FIGURE 10.27** Population density changes over time and space. The distribution of crop damage caused by chinch bugs (*Blissus leucopterus*) in Illinois varied dramatically over the period between 1840 and 1939. Yellow indicates low densities of chinch bugs and blue, high densities. From V. E. Shelford and W. P. Flint. *Ecology* 24:435–455 (1943).

## Regulación de las poblaciones

Uno de los objetivos de estudio más relevantes es entender cómo se regulan las poblaciones naturales, incluidos los humanos.



**FIGURE 11.5** In a stable age distribution, each age class grows at the same rate. Notice that the growth rate of the population as a whole also stabilizes eventually. The data used to create this

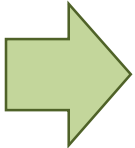


**FIGURE 11.18** Populations of common terns are limited by nesting space. Populations of common terns (*Sterna hirundo*) on several islands in Buzzards Bay, Massachusetts, have grown rapidly, then leveled off as suitable nesting sites were occupied. Data courtesy of Ian C. T. Nisbet.

La estabilidad de la tasa de crecimiento se denomina capacidad de carga y se logra por factores denso-dependientes.

- ✓ Las fluctuaciones son causadas por 2 tipos de factores: - mortalidad y natalidad que responden a condiciones ambientales (condiciones adversas aumenta mortalidad y vice versa)
- ✓ Características intrínsecas que las hacen oscilar (fragmentación de hábitat, respuesta a depredación, etc.).

Por esto son tan sensibles a las actividades humanas.

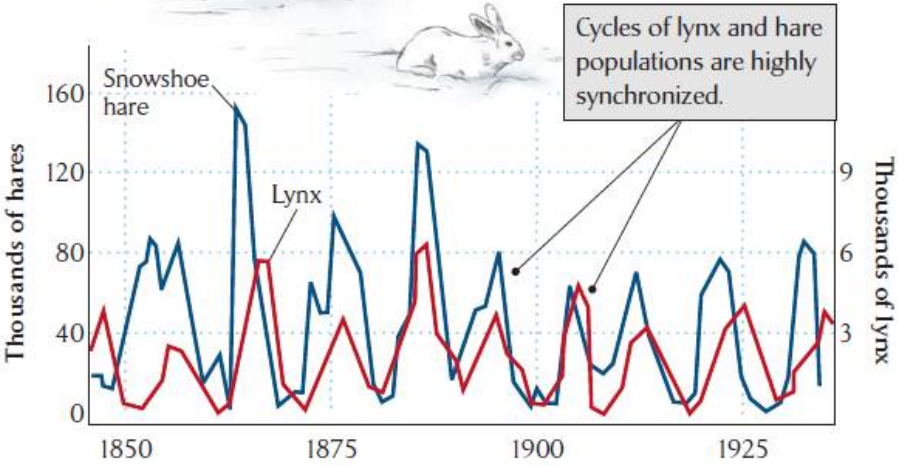


La teoría de la denso-dependencia indica que las poblaciones están auto-reguladas por recursos. En la medida que aumenta la población los recursos escasean y aumentan las tasas de mortalidad. Cuando baja la densidad poblacional aumentan los recursos y aumenta la natalidad.

Esto implica que las poblaciones a través de la depredación también regulan las poblaciones de los organismos que consumen.



**FIGURE 15.2** Population cycles of predators and their prey may be highly synchronized.



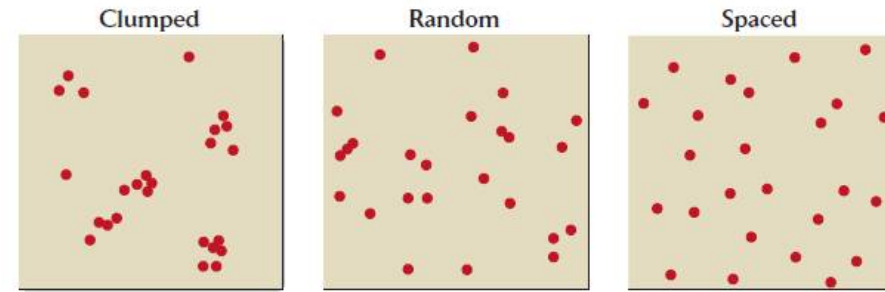
**Una población es más que el conjunto de individuos en un sitio.** Tiene una integridad organizacional, donde los individuos de esa población tienden a reproducirse entre sí, por lo tanto tienen un pool genético común que les asegura la continuidad y la identidad particular.

Cada población habita zonas aptas para su establecimiento, que debido a la heterogeneidad ambiental, lleva a tener una distribución en parches u organizadas en subpoblaciones o **poblaciones locales**, que tienden a cruzarse más entre sí que con las vecinas.

En general cuanto mejores son las condiciones para una especie más densas son sus poblaciones y más productivas.

### Algunos parámetros relevantes:

- Distribución geográfica
- Tamaño poblacional
- Patrón de dispersión
- La estructura de la población: rango de edades, de sexos, densidad
- Nicho fundamental: rango de condiciones físicas que permiten la existencia de la especie
- Nicho realizado: rango de condiciones donde efectivamente está la especie.
- Patrón de migración
- Tazas de mortalidad, de natalidad y de sobrevivencia



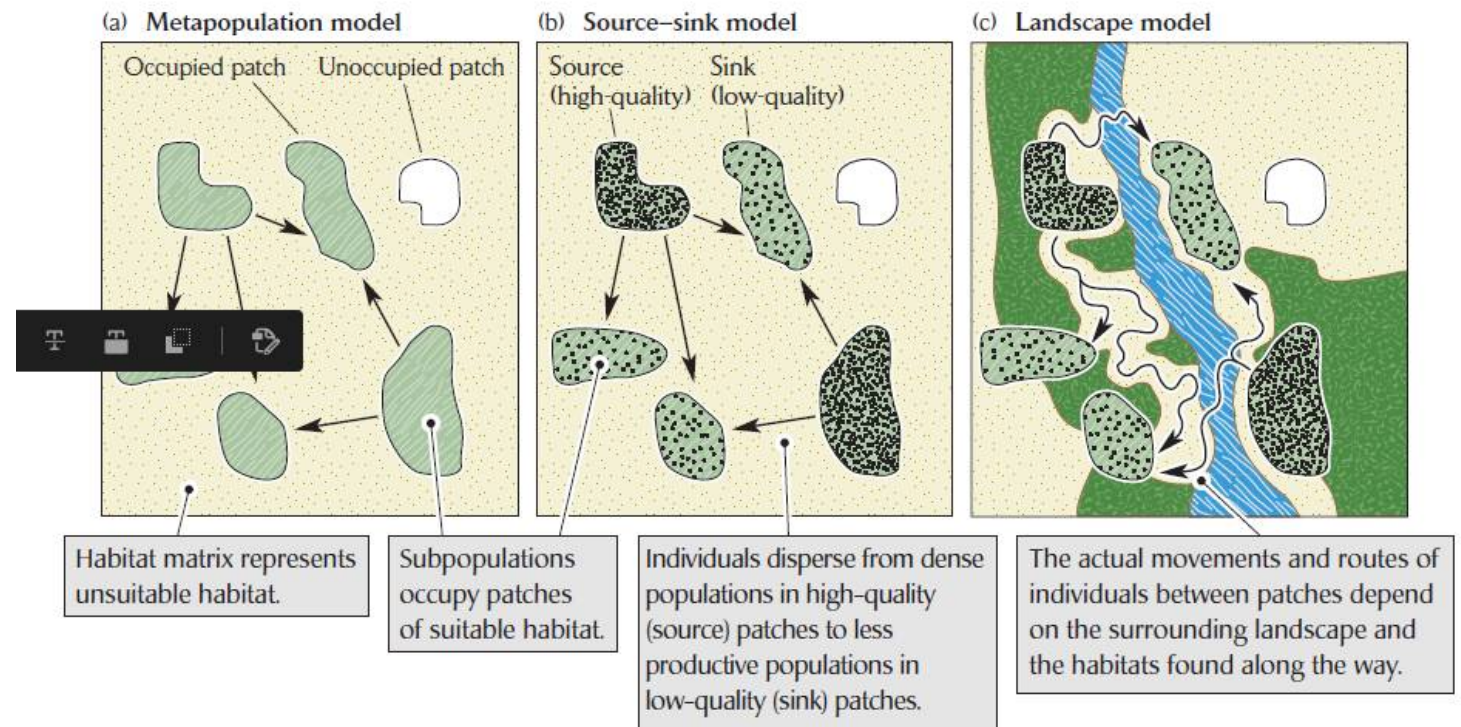


## Metapoblaciones

La distribución en parches de las poblaciones locales, adaptadas a las condiciones locales de los ambientes heterogéneos hace que las poblaciones estén estructuradas en subpoblaciones de diferentes tamaños conectadas entre sí por patrones de migración o movimiento entre parches

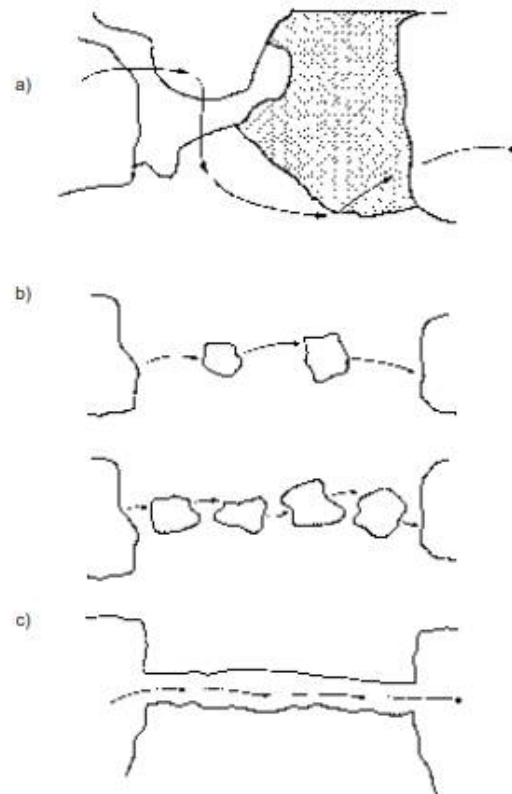
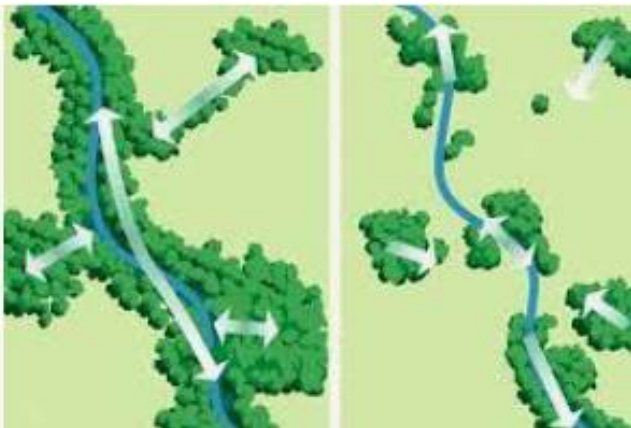
Tienen una dinámica muy compleja.

- Los individuos se mueven con diferente facilidad entre ambientes (barreras y corredores, en una matriz)
- Sitios que son fuente de individuos y otros que son un sumidero (por tasas de mortalidad)

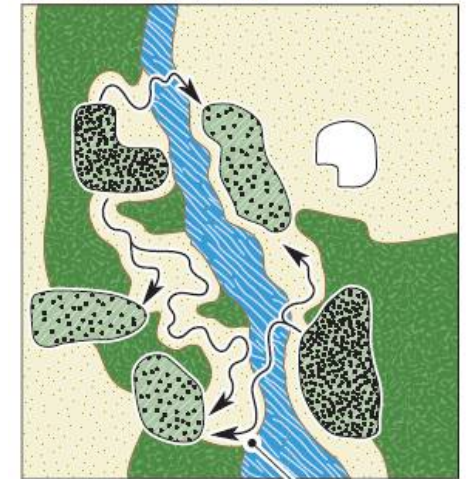


## Corredores biológicos

Los corredores son áreas, generalmente alargadas, que conectan dos o más regiones. Pueden ser franjas estrechas de vegetación, bosques ribereños, túneles por debajo de carreteras, plantaciones, vegetación remanente o grandes extensiones de bosques naturales. El requisito indispensable es que mantengan la conectividad entre los extremos para evitar el aislamiento de las poblaciones.



(c) Landscape model



The actual movements and routes of individuals between patches depend on the surrounding landscape and the habitats found along the way.

La conectividad del paisaje puede lograrse de dos maneras principales; (a) con el manejo de todo el mosaico del paisaje para facilitar el desplazamiento; o (b) y (c) manteniendo hábitats concretos que ayuden al desplazamiento a través de un ambiente inhóspito. Estos patrones de hábitat pueden tener la forma de (b) trampolines de varios tamaños y espaciamiento, o (c) corredores de hábitats que proveen una conexión continua de hábitats preferidos.

## Corredores biológicos

Los corredores son áreas, generalmente alargadas, que conectan dos o más regiones. Pueden ser franjas estrechas de vegetación, bosques ribereños, túneles por debajo de carreteras, plantaciones, vegetación remanente o grandes extensiones de bosques naturales. El requisito indispensable es que mantengan la conectividad entre los extremos para evitar el aislamiento de las poblaciones.



## Algunos conceptos relevantes

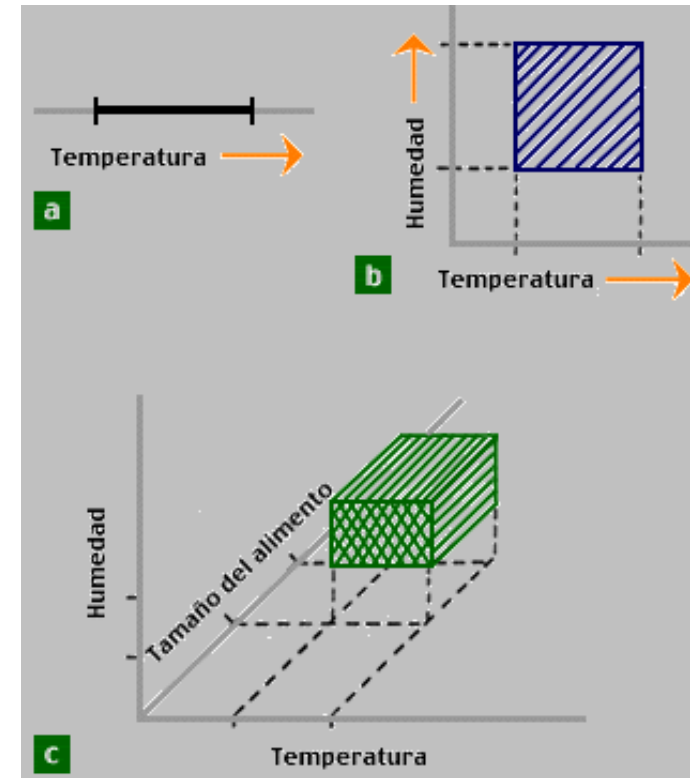
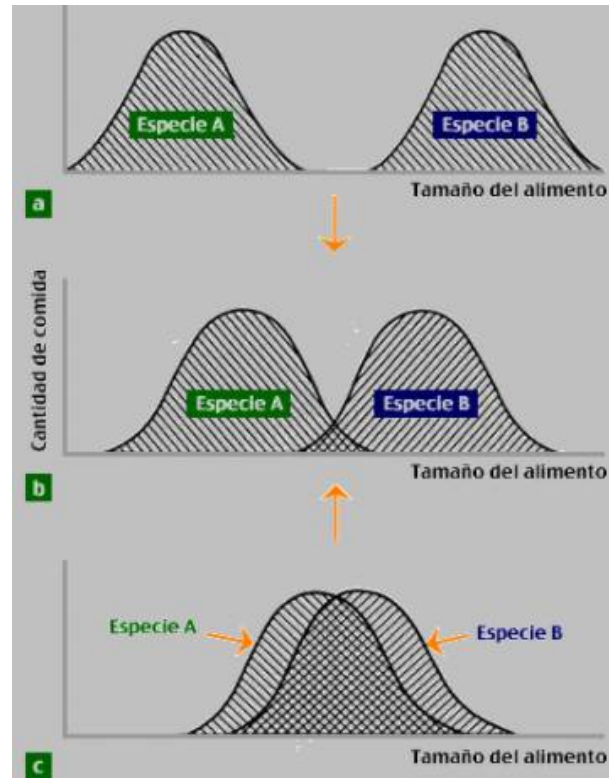
### Hábitat y nicho

La diferencia entre dónde vive un organismo y lo que hace en ese lugar.

**Hábitat:** el lugar físico donde vive, se lo describe por sus características estructurales como suelo, vegetación, altura/profundidad (vive en el dosel de los árboles del bosque de quebrada)

**Nicho:** es el rango de condiciones que tolera y la forma de vida que tiene, es su rol en el ecosistema (como se alimenta, como reacciona a los predadores).

Cada especie tiene un nicho específico, es como una huella digital de la especie. Depende mucho de la diversidad de los hábitat. Si son muy homogéneos o no, pueden albergar más o menos especies.



## Interacciones entre organismos

**Mutualismo:** cuando una de las especies se beneficia y la otra no tiene una afectación sustancial. está siendo reconocido como una interacción fundamental también. De hecho los cloroplastos y mitocondrias generaron las mayores innovaciones en la historia de la vida y surgieron como mutualismo. Ocurren en todos los ambientes y pueden ser muy sutiles o muy fuertes – simbiosis.

**Simbiosis:** relación directa y necesaria entre dos especies, donde ambos se benefician.

**Parasitismo:** especies que para su supervivencia dependen de otra especie y la afectan negativamente.

Hasta las bacterias tienen parásitos.

Tienen similitudes con el mutualismo y con los predadores, ya que dependen de la supervivencia de su huésped. En general no matan a su huésped, pero lo consumen lentamente o facilitan enfermedades.

**Depredación:** cuando un organismo consume parcial o totalmente a otro organismo.

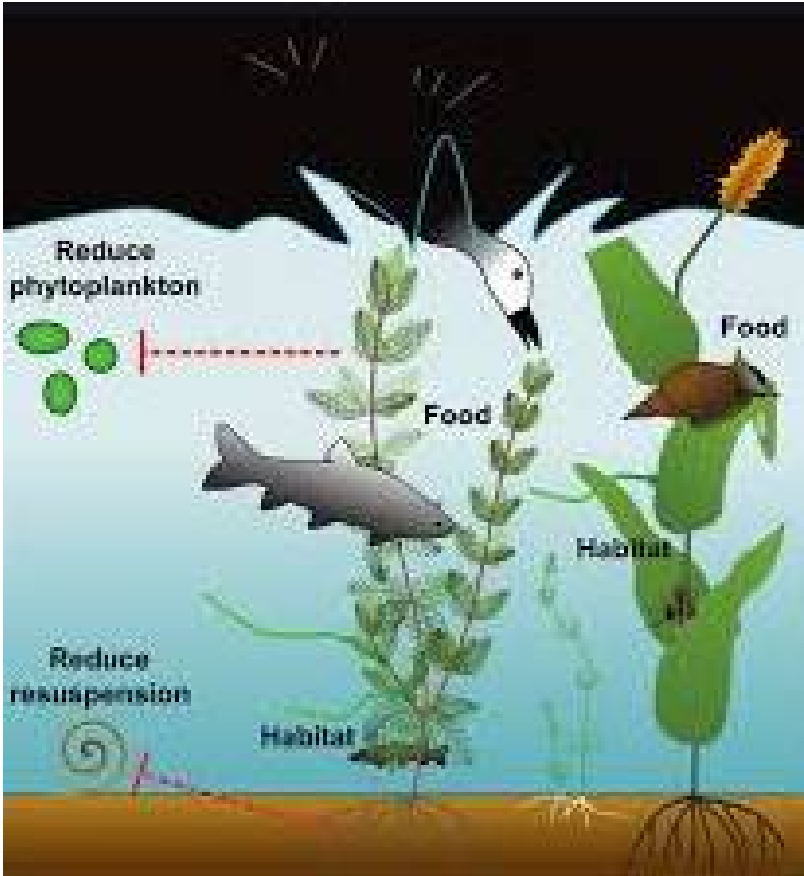
**Competencia:** cuando 2 consumidores utilizan el mismo recursos y ambos reducen su abundancia.

Para evitar las interacciones negativas y aprovechar las positivas los organismos desarrollan innovaciones increíbles, y los consumidores también, en una permanente carrera de adaptaciones que va determinando la evolución de los organismos y la formación de nuevas especies.

Interacciones entre organismos

Otras interacciones:

- Refugio
- Descanso
- Sitio de desove
- Favorece las condiciones del hábitat (resuspensión)



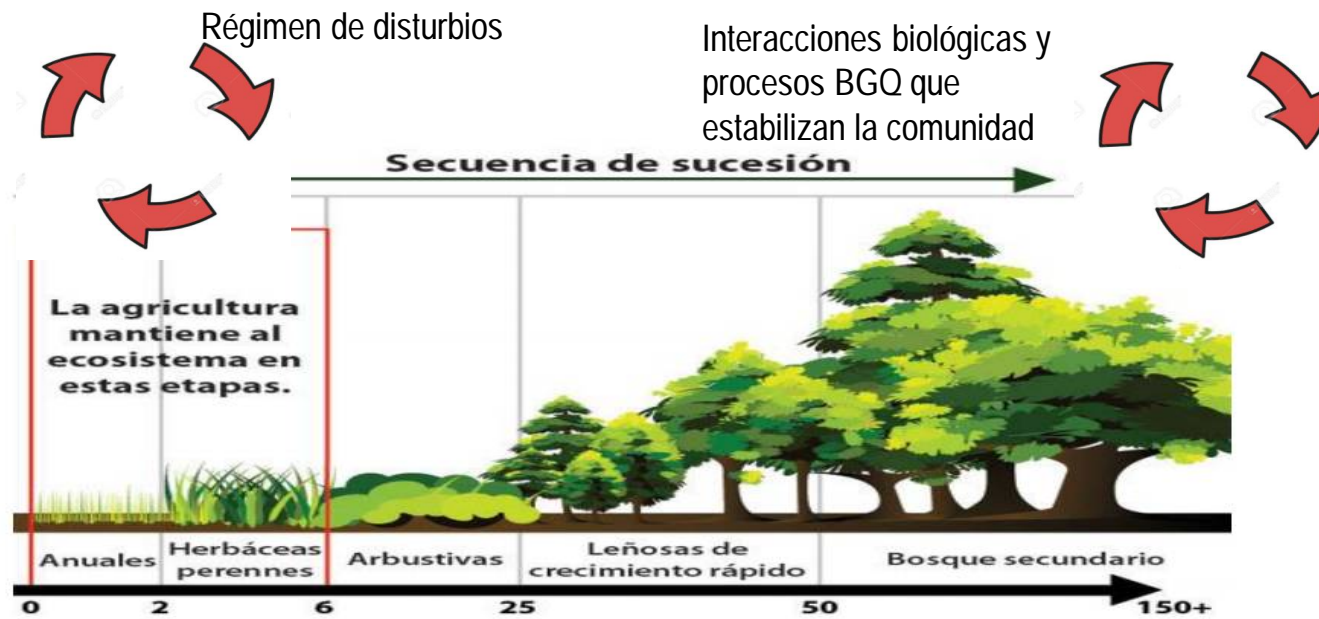
## Ecología de comunidades

Estudia los patrones y procesos existentes en la interacción de las especies entre sí y con su ambiente y los mecanismos que determinan su estructura y organización.

Estudia la diversidad y abundancia relativa de las especies y su distribución en una determinada zona.

Analiza los factores ambientales que afectan a la distribución y abundancia de dichas especies.

Analiza el movimiento de materia y energía entre los organismos entre sí y con el ambiente.



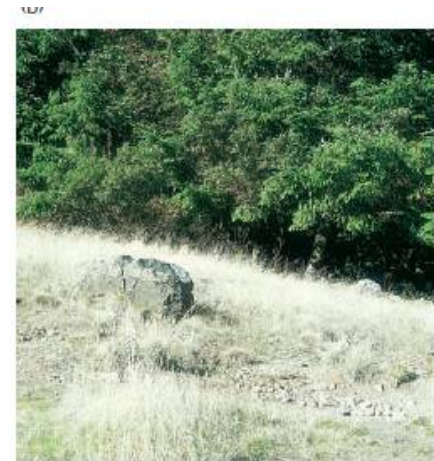
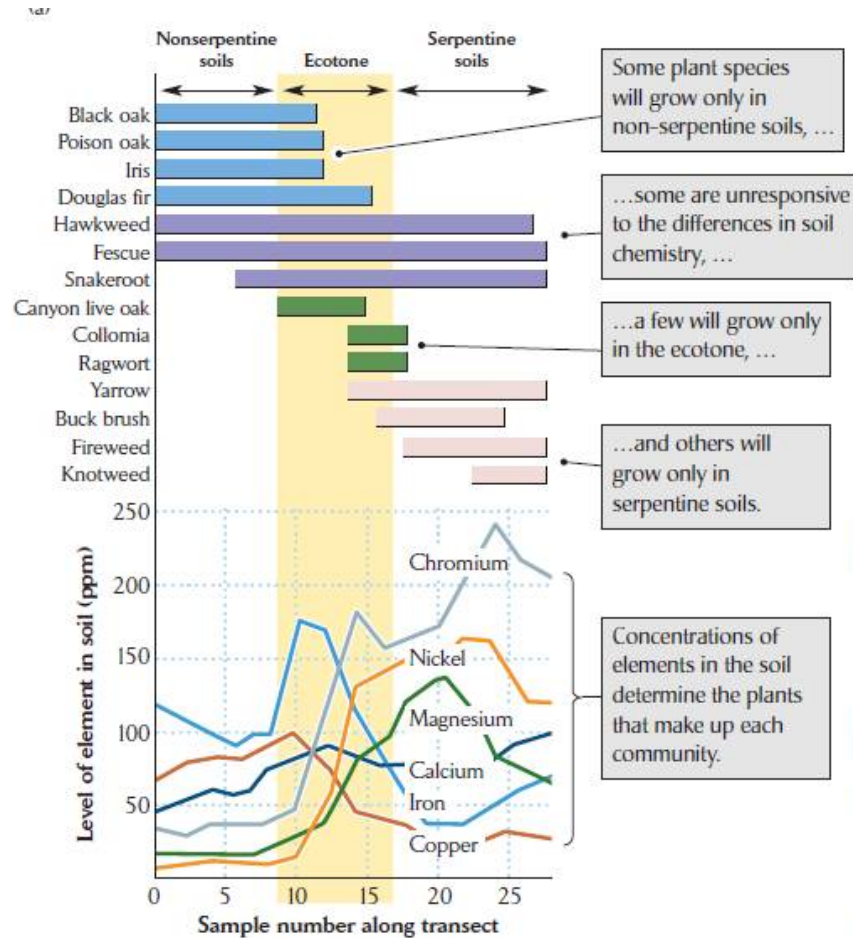
## Ecología de comunidades

**Comunidades:** ensamble de especies que cohabitan en un mismo lugar.

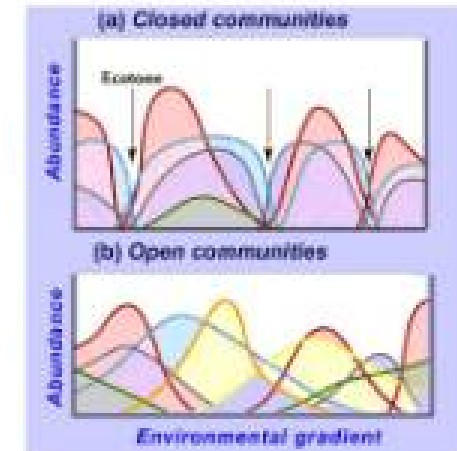
Para algunos las comunidades son unidades de organización ecológica con límites reconocibles cuyo funcionamiento está mediado por las interacciones entre especies – plantas.

Para otros son ensambles difusos que comparten una misma tolerancia por condiciones ambientales y por eso es que conviven. – fauna.

Los límites entre dos comunidades se denominan **ecotonos**, son regiones de rápido reemplazo de especies en una distancia corta y son muy claros cuando los gradientes ambientales son fuertes (gradiente de inundación)



**FIGURE 18.5** Differences in soil conditions may result in ecotones. (a) Replacement of





La **interacción entre las especies** y con los factores abióticos determina la distribución y abundancia de las especies en un ambiente y por tanto el funcionamiento y la estabilidad de los sistemas ecológicos.

No todas las especies tienen efectos equivalentes en las comunidades.

Contra-intuitivamente, la remoción de depredadores reduce la riqueza de las comunidades y determinan la estructura de las comunidades. El ganado (en cargas intermedias) aumenta la riqueza de herbáceas en el campo natural.

**Especies clave:** especies que determinan la estructura de las comunidades. Son vitales para la estabilidad de los ecosistemas.

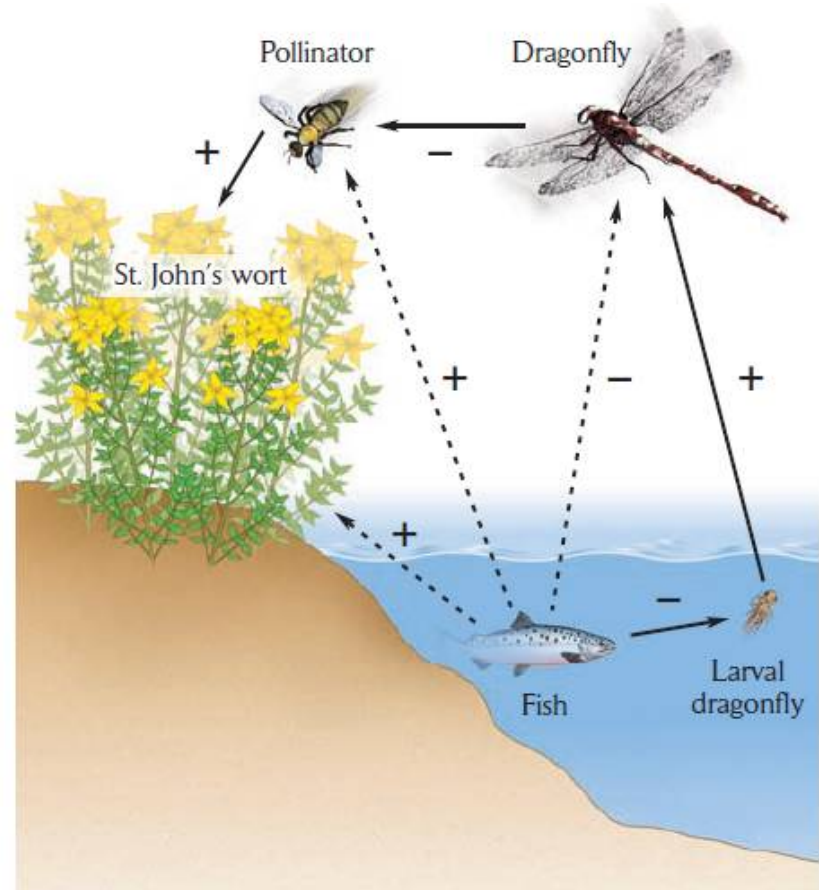


**FIGURE 18.13** Experimental elimination of keystone consumers shows their controlling influence on species diversity. The experimental plot on the right side of the photograph was sprayed with insecticide for 8 years; the plot on the left is an unsprayed control plot. The insecticide kept populations of the chrysomelid beetle *Microthopapla vittata* from reaching outbreak levels and defoliating the goldenrod *Solidago altissima*, its preferred food plant. Consequently, goldenrod

### Especies clave

Todos los tipos de interacciones inciden en la regulación de las poblaciones, pero las relaciones que implican el consumo de la biomasa de otra especie (predador-presa, herbivoría, parasitismo) organizan fuertemente a las comunidades.

En este intercambio la energía y materia se mueve en la trama trófica y en la comunidad toda a través de la propagación del efecto de múltiples interacciones.

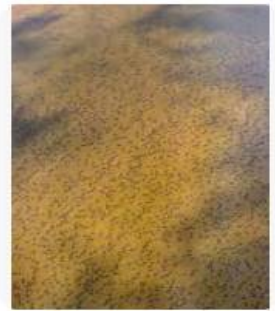


**FIGURE 18.25** Fish have indirect effects on the populations of several species in and around ponds. The solid arrows represent direct effects, and the dashed arrows indirect effects:

### Especies ingenieras

Organismos que directa o indirectamente modulan la disponibilidad de recursos para otras especies a través de modificaciones estructurales del ambiente. Los ingenieros de ecosistemas pueden modificar el entorno abiótico a través de sus propias estructuras físicas (autogénicos) o transformando materiales de un estado a otro (alógenicos), con impactos en otras especies que suelen ser diferentes.

En general, destruyen o crean hábitats y/o afectan la disponibilidad de recursos como refugio, luz, agua, etc.



*Ficophomatus enigmatus*, Mar Chiquita Argentina



Mejillón dorado

Convierte fondos blandos en rígidos y reemplaza a las superficies naturales por mejillones

## **Especies exóticas invasoras**

**Invasiones biológicas:** proceso por el cual una especie expande su rango de distribución hacia regiones donde antes no se encontraba.

**Especie exótica:** especie que originalmente no se encontraba en la región. No autóctona.

**Especie exótica invasora:** que además tiene tasas de crecimiento y dispersión muy elevadas y afecta a las especies locales.

**Malezas:** especies que tienen altas tasas de dispersión en ciertas condiciones y no son necesariamente exóticas.

La invasión puede ocurrir por avances progresivos en el territorio o por tras locaciones a gran distancia, siempre superando barreras geográficas naturales. Fue exponencialmente favorecido por la facilitación humana.

Se lo considera uno de los motores del cambio global, debido a que acelera la degradación de los ecosistemas.

**Etapas de la invasión:** llegada de propágulos (muy pocos sobreviven), algunos logran establecerse y pueden estar presentes sin aumento relevante de su abundancia, hasta que entran en fase de dispersión y crecimiento poblacional. Es difícil de predecir cuándo va a ocurrir, se da por disturbios o por una degradación creciente del estado del ecosistema que releja las interacciones y libera recursos para estas especies, o se da cuando el ecosistema receptor no tiene especies funcionalmente equivalentes – mejillón dorado.

Hay especies que tienen rasgos que las hacen más riesgosas: si producen muchas semillas o se propagan vegetativamente.

## Especies exóticas invasoras

**Resistencia a la invasión:** hay evidencia de que ecosistemas más biodiversos y saludables tienen mayor resistencia a la invasión. Pero una vez que se establece una invasora no se revierte el proceso. Esta resistencia disminuye con la existencia de perturbaciones, especialmente de perturbaciones antrópicas para las cuales la comunidad no estaba adaptada.

**Causas de las invasiones:** naturales, antrópicas: directas (introducción para fines productivos, ornamentales, mascotismo, control biológico) incidentales (navegación marina y agua de lastre, mezcla de semillas productivas, transporte carretero, degradación generalizada de hábitats)

**Consecuencias:** homogeneización biótica global (las floras y las faunas son cada vez más parecidas entre regiones), extinciones de las especies locales (peces, invertebrados acuáticos)



Rana toro



Castores en Patagonia

### Sucesión ecológica

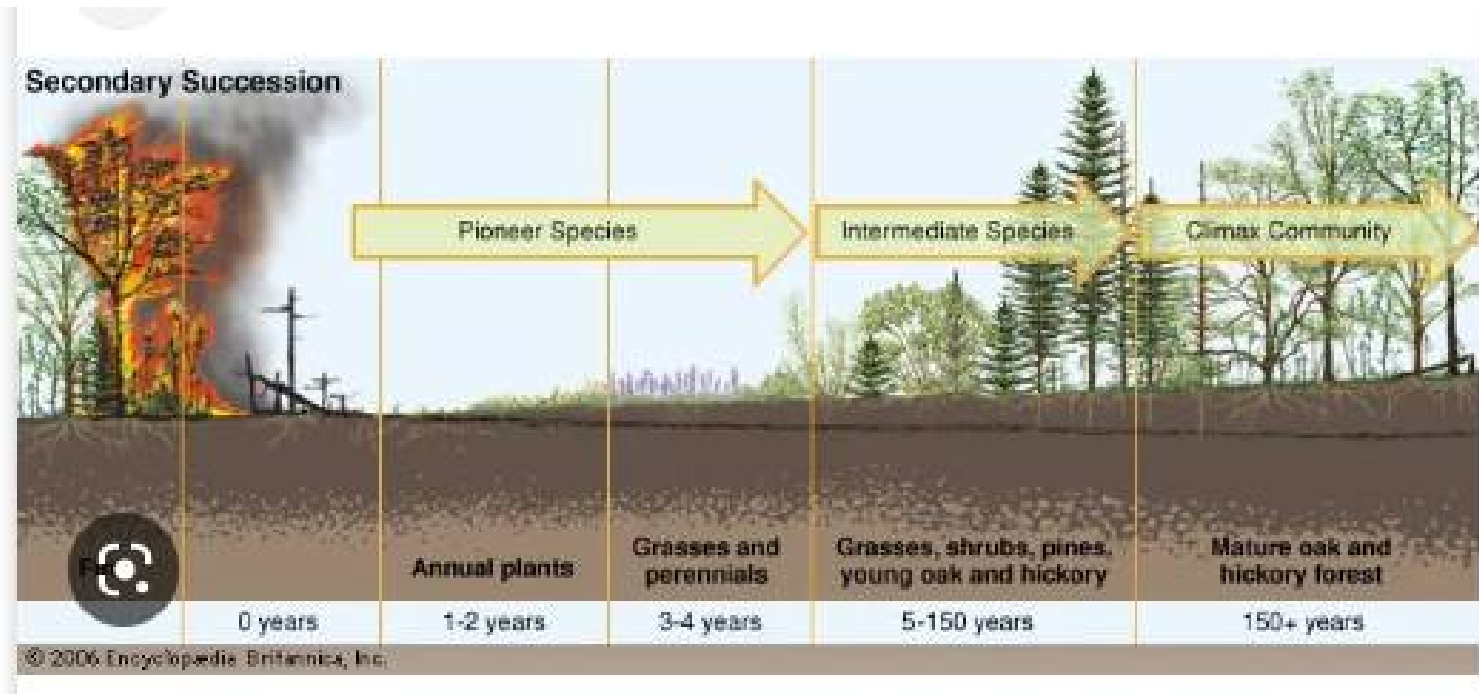
Cuando ocurren disturbios (quemar con glifosato el suelo o se corta el monte o el pastizal en la banquina de los caminos) la comunidad se reconstruye lentamente.

La secuencia de cambios en la comunidad luego de un disturbio es la sucesión y la comunidad última (estable) alcanzada se llama la comunidad climax.

Las primeras especies en aparecer son las pioneras. Estas crecen rápido y van cambiando el ambiente y generan las condiciones para las especies que aparecen luego, de crecimiento más lento y que requieren otras condiciones (más sombra, más fertilidad).

El curso de la sucesión depende del tipo e intensidad del disturbio. Si es suave la sucesión va más rápido y el climax se alcanza antes.

La tala del bosque deja el suelo intacto, pero si es un incendio fuerte y se quema el suelo la sucesión es más lenta, porque mueren las semillas y los microorganismos del suelo.



## Sucesión ecológica

Los procesos que ocurren durante la sucesión pueden ser tres:

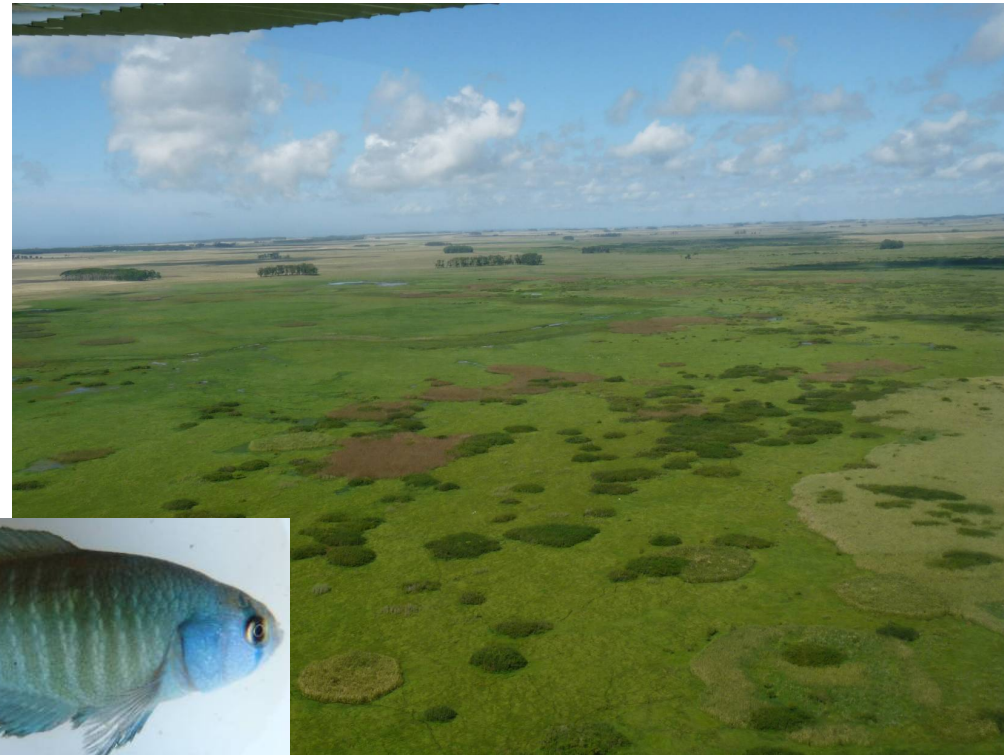
- **Facilitación:** especies que generan condiciones para la colonización de otras (nodrisas o fijadoras de nitrógeno)
- **Inhibición:** no permiten que crezcan otras (ej. especies exóticas invasoras)
- **Tolerancia:** conviven

El climax es dinámico, porque las comunidades están sujetas a disturbios permanentemente. El régimen de disturbios determina la estabilidad del climax o la oscilación entre climax alternativos.

Los charcos (o banquinas) pueden tener una comunidad muy típica en verano sin agua y otra muy diferente en invierno con agua y pueden sostener especies muy especializadas.

Hoy hablamos de que las comunidades tienen estados estables muy dinámicos, que pueden oscilar entre estados alternativos o formar mosaicos de parches con diferentes estados en la sucesión.

Estos estados se auto perpetúan, y para esto puede que requieran un régimen de disturbios.



**Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat.**

### **Porqué son tan biodiversos algunos lugares?**

Esta es una pregunta que desvela a los ecólogos.

Una parcela en la selva (y en el campo natural) tiene mas especies de árboles (herbáceas) que Canadá.

**Biodiversidad:** variación de los organismos en los sistemas ecológicos en todos los niveles: genéticos entre organismos, entre poblaciones, funcionales, entre ecosistemas y biomas y en los procesos dentro de los ecosistemas

El número de especies es el índice de biodiversidad por excelencia.

La abundancia y biomasa también importa. Índices de biodiversidad incluyen riqueza y abundancia (núm. De indiv. o biomasa) de cada especie en una superficie.

**Equitatividad:** cuan parecida es la abundancia de las especies en una comunidad

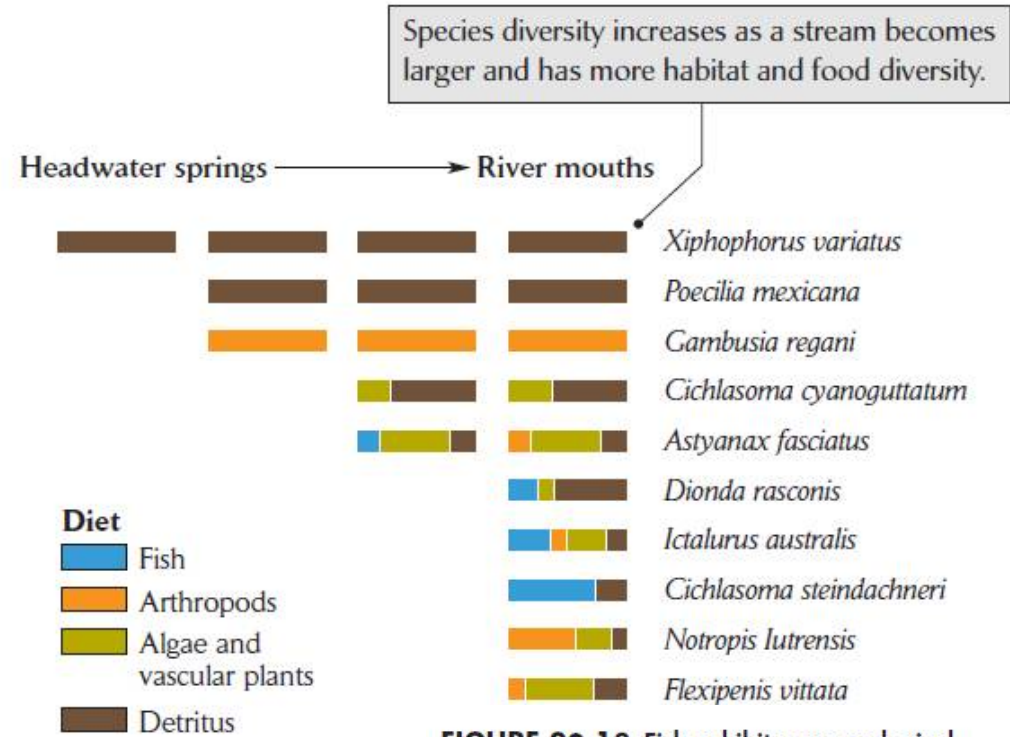




Como la biodiversidad es tan grande, se generan subgrupos para simplificar el estudio de los sistemas ecológicos.

**Gremios:** especies que se alimentan de recursos similares, que tienen formas de vida similares y no tienen que estar relacionados evolutivamente y habitan una misma región.  
 Herbívoros: comedores de hojas, taladradores de tallos, comedores de raíces, succionadores de néctar, comedores de semillas, etc.

Una hormiga y una ardilla son del gremio comedores de semillas.



**FIGURE 20.18** Fish exhibit more ecological roles in more diverse communities. Fish were sampled at four locations in the Rio Tamesi drainage of east central Mexico, from a headwater spring to a downstream community at the river mouth. After R. M. Darnell, *Am. Zool.* 10:9-15 (1970).

Como la biodiversidad es tan grande, se generan subgrupos para simplificar el estudio de los sistemas ecológicos.

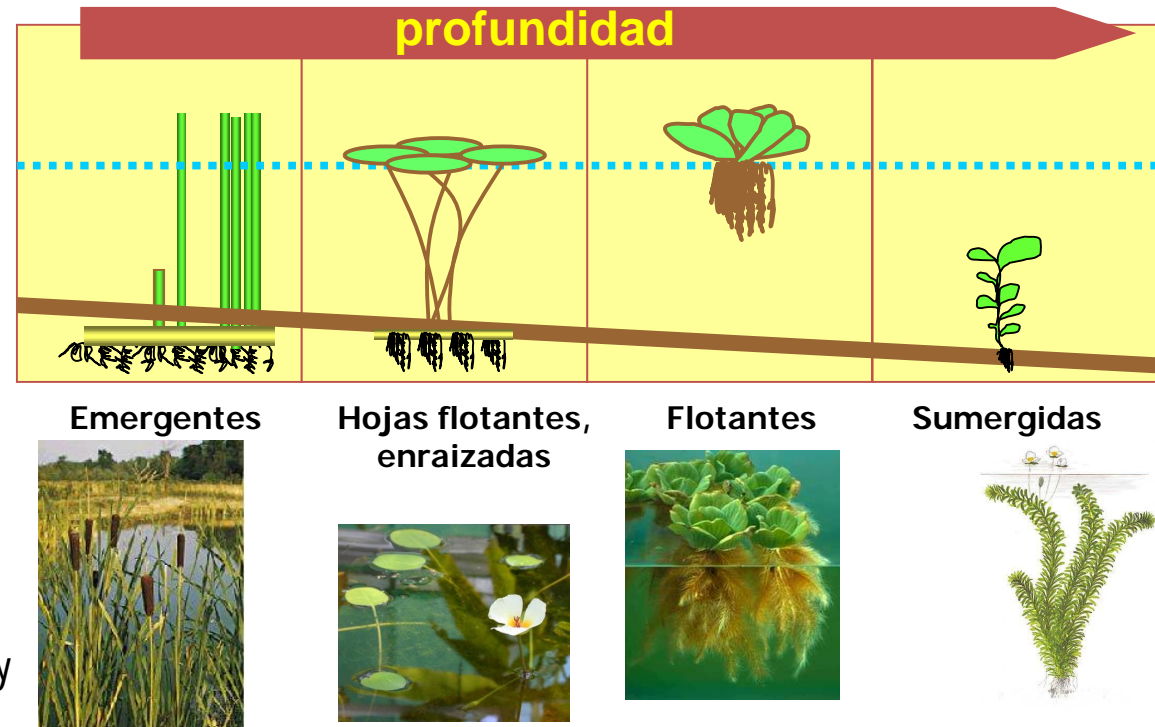
## Grupos funcionales

Tipos de funciones que pueden cumplir las especies. (diversidad de nicho). Se describen por la morfología o forma de vida y no por la taxonomía.

Cuanto más diversas las comunidades tienen una mayor variedad de recursos y mayor capacidad de utilizarlos

Se utilizan como indicadores ambientales, simplifican el análisis, es más probable encontrarlos que a las especies individuales, te permiten predecir cambios en el sistema, etc.

Cuanto mayor es la superficie de un ecosistema mayor heterogeneidad de habitat, mayor abundancia de alimento y recursos y por tanto más especies pueden coexistir, que a su vez generan las condiciones para otras especies, y en suma son sistemas más diversos y por tanto estables



Diversidad filogenética

Diversidad funcional

Especies raras o abundantes



Cómo definimos prioridades para la conservación de la biodiversidad ?



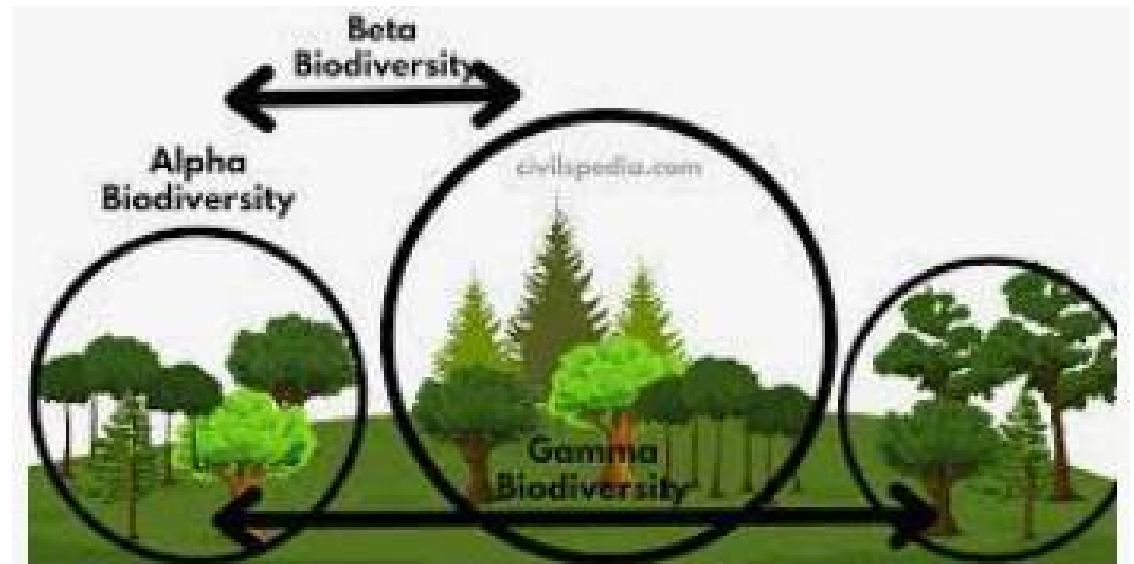
## Cómo se distribuye la biodiversidad en el espacio

**Diversidad local:** alfa – es el número de especies en una pequeña superficie, parcela o ambiente homogéneo.

**Diversidad regional:** gama- es el número de especies observadas en todos los hábitat de una región que no tengan barreras geográfica (la suma de las alfas)

Si las especies habitan todos los hábitats alfa y gama son iguales. Pero si cada hábitat tiene una biota única entonces la div. Gama es muy alta.

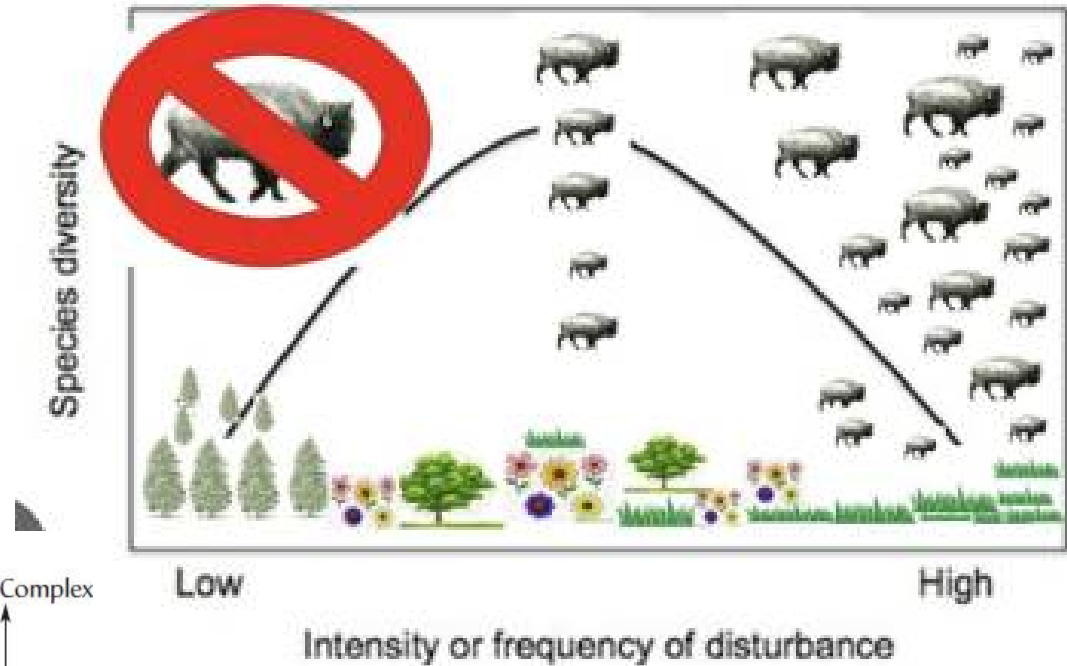
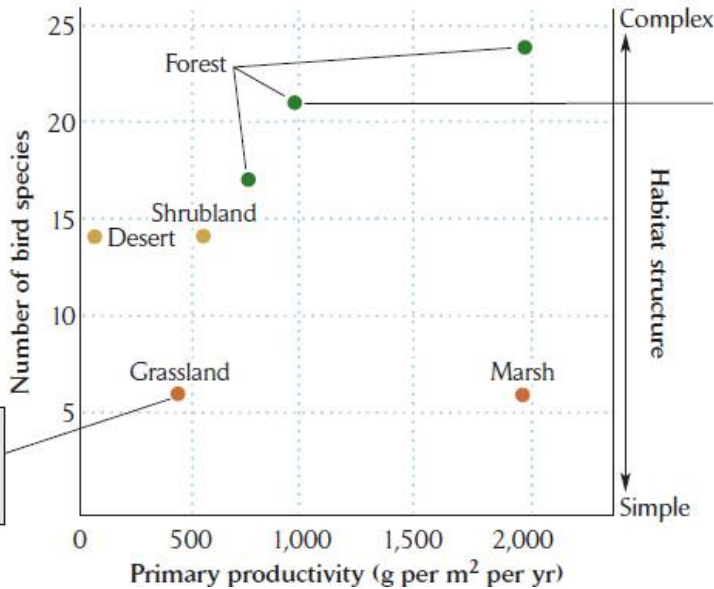
**Diversidad beta** – es el recambio de especies entre hábitats. Es la diferencia entre la divers. alfa entre sitios. Depende de las adaptaciones de las especies a las condiciones locales.



## Algunos patrones de biodiversidad

En general la biodiversidad aumenta con:

- ✓ la temperatura
- ✓ la superficie del sistema
- ✓ hacia el Ecuador
- ✓ la heterogeneidad de ambientes
- ✓ la productividad
- ✓ regímenes de disturbios intermedios
- ✓ la historia evolutiva de las regiones



**FIGURE 20.7** Diversity is higher in structurally complex habitats. Among seven habitat types in temperate regions, the

## La paradoja del plancton o de los árboles de la selva

Porque hay tantas especies?

- La heterogeneidad del ambiente permite la convivencia de muchas especies que se especializan en pequeños aspectos del nicho
- Pequeños disturbios permanentes mantienen espacios para nuevas especies como la caída de un árbol o la mezcla del agua
- Depredadores y parásitos afectan a las especies dominantes y permiten que las más raras persistan

4. Alta especialización de las especies en pequeños rangos del ambiente. Cuando la riqueza es muy alta en general son especies muy similares y emparentadas

**La biodiversidad se autoacelera**  
(no a los ritmos de degradación de hábitats humanos)

**Clase 1. Ecología como disciplina científica. Concepto de ecosistema y evolución del concepto. Concepto de especie, organización biológica, grupos funcionales. Conceptos generales de ecología de los organismos, ecología de poblaciones y ecología de comunidades. Concepto de biodiversidad. Ecología de paisaje. Conectividad, fragmentación de hábitat.**

## **Ecología del paisaje**

Estudio de la composición de los paisajes y la disposición espacial de los hábitats dentro de ellos, y de cómo esos patrones influyen en los individuos, las poblaciones, las comunidades, y ecosistemas a diferentes escalas espaciales.

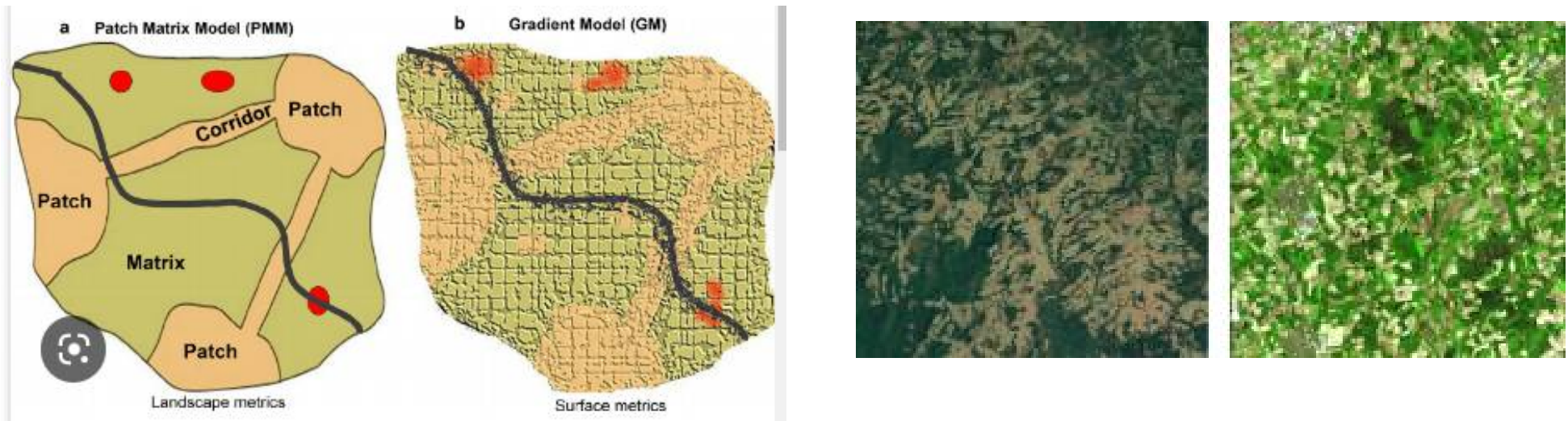
El mosaico de hábitats en un paisaje puede reflejar influencias que son tanto históricas como modernas, tanto naturales como antropogénicas.



### **Dos corrientes:**

Una más norteamericana que se centra en los atributos naturales, físicos y biológicos del paisaje y estudia la heterogeneidad del paisaje, las relaciones entre ecosistemas y como esto influencia a las poblaciones y a los organismos. Considera aspectos históricos. Muy influenciado por el desarrollo del sensoramiento remoto y la ecología vegetal. En general se enfoca en ecosistemas con poca intervención humana.

Otra más europea, que considera al paisaje como un constructo social, donde el paisajes es generado por la intervención humana sobre una matriz física y biológica. Donde además ese paisaje y su dinámica va a depender de cómo es percibido por la sociedad. Se enfoca en paisajes muy intervenidos y alimenta a la planificación del territorio.

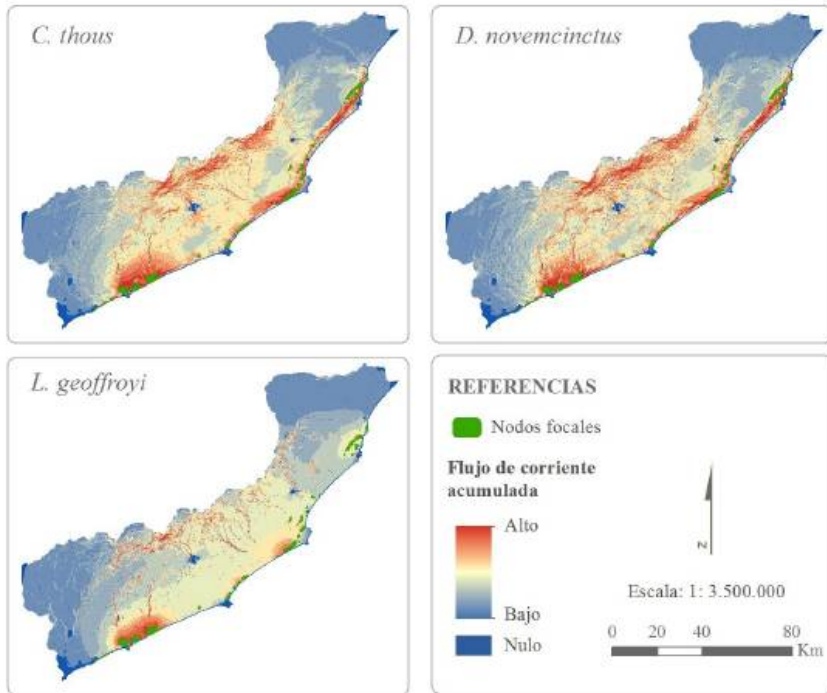


Analiza la estructura espacial de los parches, la matriz y los corredores, pueden calcular diferentes índices de forma, de relación perímetro/superficie y cómo estos influyen al movimiento de la biodiversidad o a los servicios ecosistémicos

La destrucción de hábitat resulta en su fragmentación, disminuye el tamaño de los parches y la distancia entre ellos, generando aislamiento de las poblaciones. Esto disminuye la conectividad en el paisaje y afecta la viabilidad de las poblaciones, resultando en extinciones locales. A su vez la calidad de los parches puede ser mala por actividades humanas o especies invasoras.

La conectividad refiere al grado en que los elementos del paisaje son contiguos físicamente y a cómo las diferentes especies pueden moverse entre estos parches.

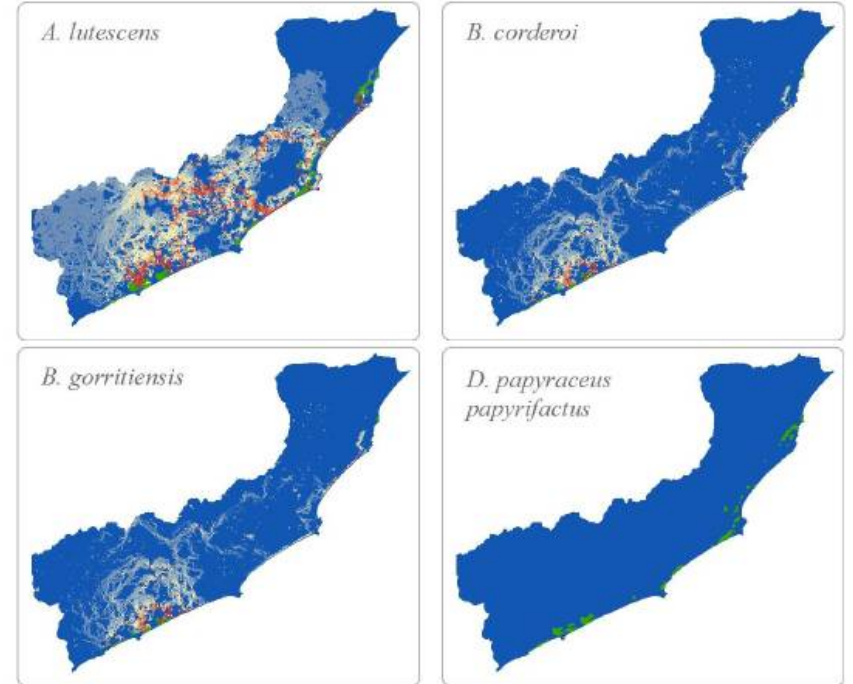




**Figura 9.** Mapas de corriente acumulada de las especies de mamíferos.

Para analizar la conectividad funcional (movimiento de los organismos entre los elementos del paisaje) se utiliza por ejemplo teoría de circuitos, donde los individuos se mueven entre sitios donde hay menor resistencia para su movimiento, de acuerdo a su biología y a los tipos de cobertura del suelo.

Esto permite identificar prioridades para la conservación de la biodiversidad y planificar el territorio.



**Figura 10.** Mapas de corriente acumulada de las especies de molusco

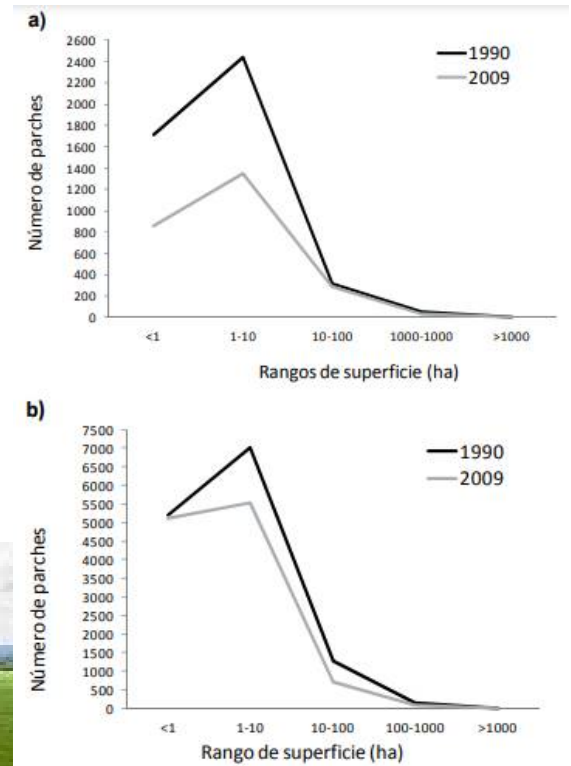
Barthesaghi 2017.



**Figura 3.** Superficie del Departamento de Soriano (Uruguay) ocupada por bosque nativo (BN) en negro y campo natural (CN) en gris, según clasificación de uso del suelo realizada en 1990 y 2009.



Tiscornia y Brazeiro 2014



**Figura 4.** Tamaños de fragmentos de: a) bosque nativo (BN) y b) campo natural (CN) en 1990 y 2009 en el departamento de Soriano (Uruguay).

## **Los humanos somos una parte importante de la biosfera**

Why do ecologists do all this? The wonders of the natural world summon our natural curiosity about life and our surroundings. For many of us, our curiosity about nature and the challenges of its study are reason enough.

In addition, however, our need to understand nature is becoming more and more urgent as the growing human population stresses the capacity of natural systems to maintain their structure and functioning.

Environments that human activities either dominate or have produced—including our urban and suburban living places, our agricultural breadbaskets, and our recreational areas, tree farms, and fisheries—are also ecological systems.

The welfare of humanity depends on maintaining the functioning of these systems, whether they are natural or artificial. Virtually all of the earth's surface is, or soon will be, strongly influenced by people, if not fully under their control. Already, humans usurp nearly half of the biological production of the biosphere. We cannot take this responsibility lightly.

Ricklef



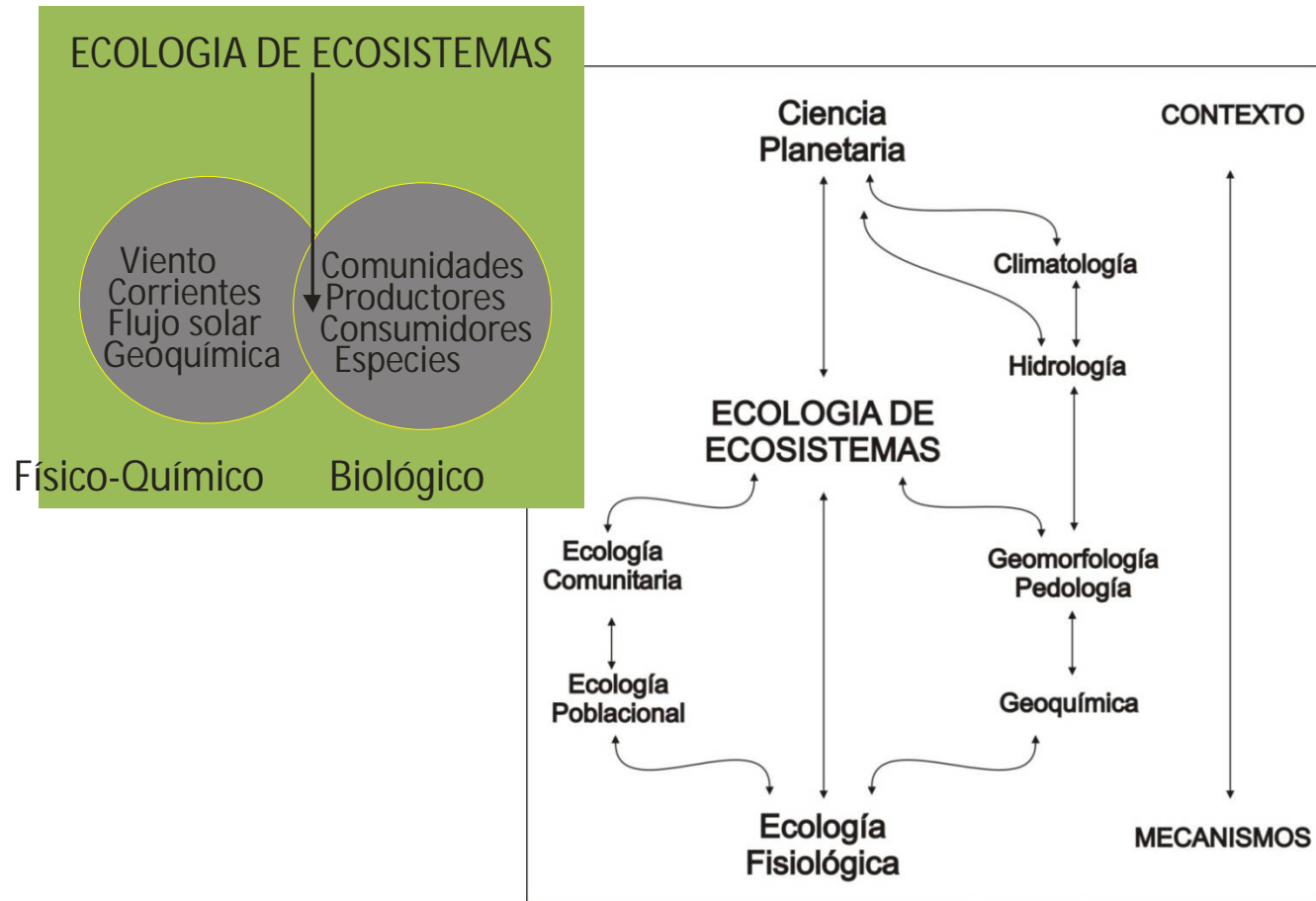
**Clase 2. Ecología de ecosistemas.** Estructura de ecosistemas, factores abióticos y bióticos. Teoría de sistemas aplicada a ecosistemas. Estabilidad y resiliencia y su relación con la biodiversidad y calidad ambiental. J 11/5 – L. Rodríguez

**Ecología de ecosistemas**

Estudia los movimientos de energía y materia entre organismos y compartimentos físicos y cómo esto es influenciado por el clima y otros factores físicos.  
El funcionamiento de los ecosistemas refleja la actividad de los organismos y la transformación física y química de los materiales

**Ciencias planetarias**

Estudia el movimiento los elementos y de las masas de aire y el agua, así como la energía en la tierra.



## ECOSISTEMAS

Conjunto de elementos vivos y no vivos del ambiente, incluye a las especies, sus poblaciones, su diversidad genética y a los ambientes donde estos se desarrollan. Abarca las interacciones entre dichos elementos y el flujo de energía y materia. Incluye a los seres humanos y su dependencia de los ecosistemas y sus elementos.

Los ecosistemas son más que la suma de las partes. En éstos ocurren procesos que no se deben a una o dos partes sino a la interacción de muchos de sus elementos y a la forma en que interactúan: por ejemplo la calidad del agua o la producción pesquera



## Los sistemas ecológicos son gobernados por principios físicos y biológicos básicos

Los sistemas ecológicos son muy dinámicos, aunque a nivel de paisaje parezcan estáticos y estables.

**Obedecen las leyes de la física y la química** La vida se construye sobre las propiedades físicas y químicas de la materia. La difusión, las tasas de las reacciones químicas, la resistencia al movimiento, la transmisión eléctrica, todas cumplen con las leyes de la termodinámica. La vida se abrió caminos muy inventivos para lidiar con estas leyes y generó sistemas ecológicos hiperdiversos .

**Existen en estados estacionarios dinámicos** Todos los niveles de organización son abiertos, intercambian materia y energía. Para sobrevivir deben al menos compensar las pérdidas con las ganancias.

Un organismos pierde calor, que lo compensa con la energía del alimento. Una población pierde individuos, que lo compensa con nacimientos e inmigración. Un ecosistema pierde materia que lo compensa con otras entradas como la producción de materia orgánica.

Una de las preguntas más fascinantes de los ecólogos es cómo los sistemas ecológicos mantienen y regulan el estado estacionario, respuesta de la que hoy depende la humanidad.

Todos los sistemas vivos están en permanente cambio pero todos tienen mecanismos para mantener su integridad en el tiempo (como las sociedades).

**Deben gastar energía para mantenerse** La vida es muy especial, las molécula de la vida no existen en el mundo físico, los organismos viven fuera del equilibrio con el mundo físico. Para esto deben invertir energía (solar) para compensar las pérdidas.

**Evolucionan en el tiempo** Los atributos de los organismos han cambiado y se han diversificado dramáticamente en el tiempo: evolución. Pese a que las propiedades de la materia y energía no cambiaron. Esto es producto del azar que genera cambios y de la selección natural en los ambientes. Los organismos se adaptan a las condiciones ambientales cambiantes, por selección de aquellos con las mejores condiciones/atributos para sobrevivir y dejar mayor descendencia, que hereda esos atributos. Este es un proceso único de la biosfera que ocurre para los sistemas vivos.

- Los ecosistemas son inaccesibles (complejidad).
- Los ecosistemas son sistemas abiertos.
- Los ecosistemas crecen y se desarrollan.
- Los ecosistemas exhiben conectividad.
- Los ecosistemas se organizan jerárquicamente.
- Los ecosistemas tienen respuestas complejas ante disturbios.

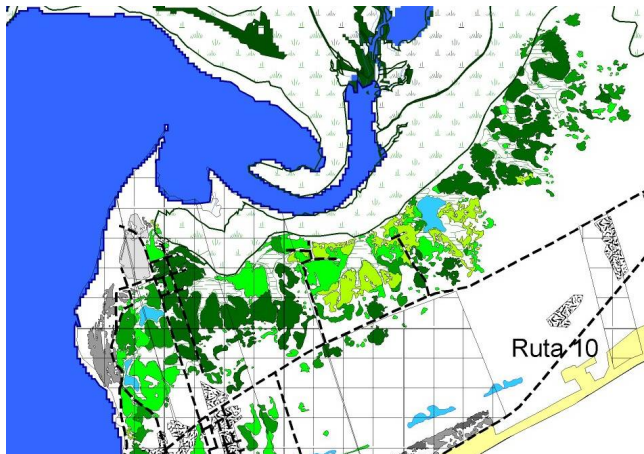
La enorme dinámica ecosistémica  
 Sistemas de "números inmensos" (infinitas posibilidades)  
 Irrepetibilidad de eventos (eventos únicos)  
 Impredictabilidad de comportamiento (aleatoriedad)  
 Imposibilidad de medir todo, limitaciones técnicas e imprecisiones  
 Subjetividad del observador

"Heterogeneidad ordenada"

Procesos "guiados" ("agenciados")

"Memoria sistémica" (ADN, banco de semilla, materia orgánica en el suelo, como transportadores de "memoria")

**Podemos encontrar "tendencias"**



Jorgensen et al. (2007) A New Ecology: Systems Perspective



## Cuán grande es un ecosistema ?

### Cuál es el período de tiempo a considerar para su definición ?

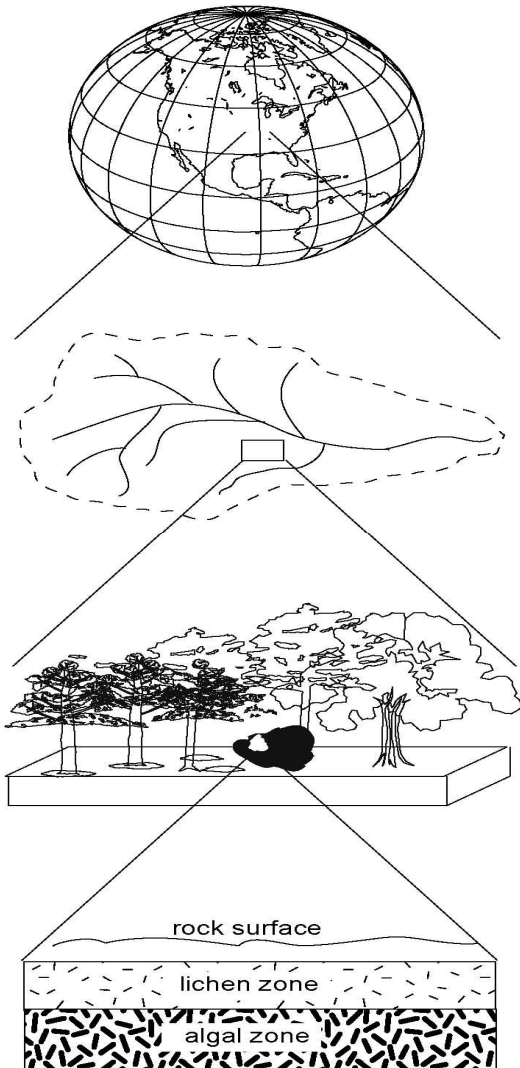
La extensión y resolución temporal de un estudio pueden afectar los fenómenos que son estudiados y las conclusiones que se extraen de ellos.

La mayoría de los estudios se hacen en parcelas de 1 m y se extrapolan sin considerar la escala.

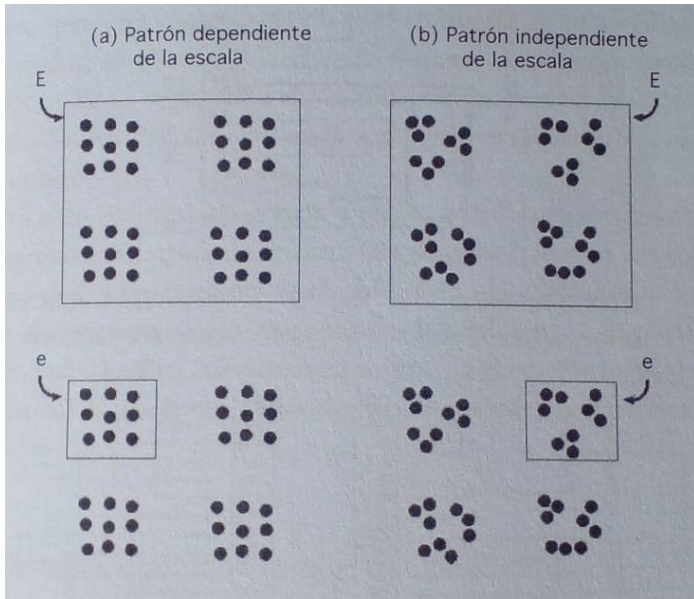
Ningún fenómeno más pequeño o más duradero que el grano del estudio puede ser detectado y su extrapolación más allá de la extensión o duración del estudio debe ser cuidadosa

Aumentar la extensión del estudio aumenta la variabilidad, porque nuevos procesos o especies o ambientes aparecen (ej. estudio alimentación de aves o distribución espacial de la vegetación)

No es que los procesos dejen de actuar a una escala, sino que la importancia relativa es más evidente a una escala. La prevalencia de cada proceso puede ser diferente a escalas diferentes. Ej: Competencia.



No es que los procesos dejen de actuar a una escala, sino que la importancia relativa es más evidente a una escala. La prevalencia de cada proceso puede ser diferente a escalas diferentes. Ej: Competencia.



A una escala se ve distribución regular de plantas y a otra se ve en parches.

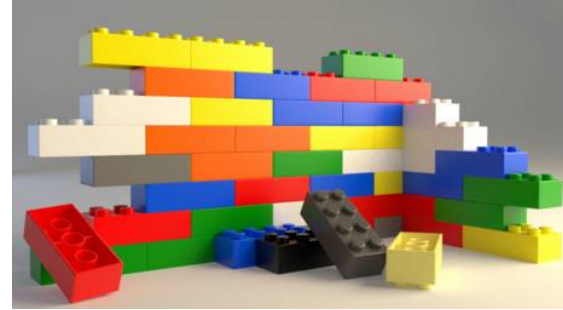
La presencia de las plantas depende del tipo de suelo, sólo pueden estar donde el suelo les permite crecer. Pero la forma de crecer depende de la competencia entre plantas. A una escala se ve el efecto del tipo de suelo como predominante, a la otra se ve como la competencia afecta la distribución de las plantas. Ambos factores operan todo el tiempo.

No existe una escala única o correcta de estudio, sino que dependerá de la pregunta y del proceso a estudiar y de la historia natural de los organismos involucrados.

Cada vez más se plantean enfoques multiescala, te permite ver todos los procesos y elementos estructurales en conjunto. Ej, de la pared.

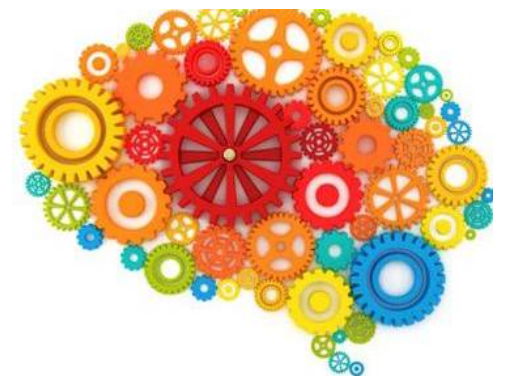
**Clase 2.** Ecología de ecosistemas. Estructura de ecosistemas, factores abióticos y bióticos. Teoría de sistemas aplicada a ecosistemas. Estabilidad y resiliencia y su relación con la biodiversidad y calidad ambiental.

**Estructura:** superficie de un ambiente, composición de especies de peces, cantidad de cisnes



**Funcionamiento:** relaciones entre los elementos del ecosistema, quién se come a quién, hacia donde se mueve el agua, movimiento de los contaminantes

El funcionamiento es menos visibles y más difícil de medir

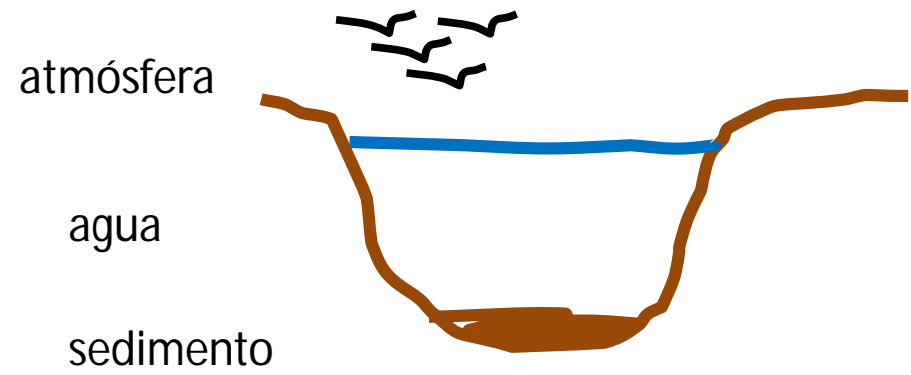


# Estructura



# Estructura de los ecosistemas acuáticos

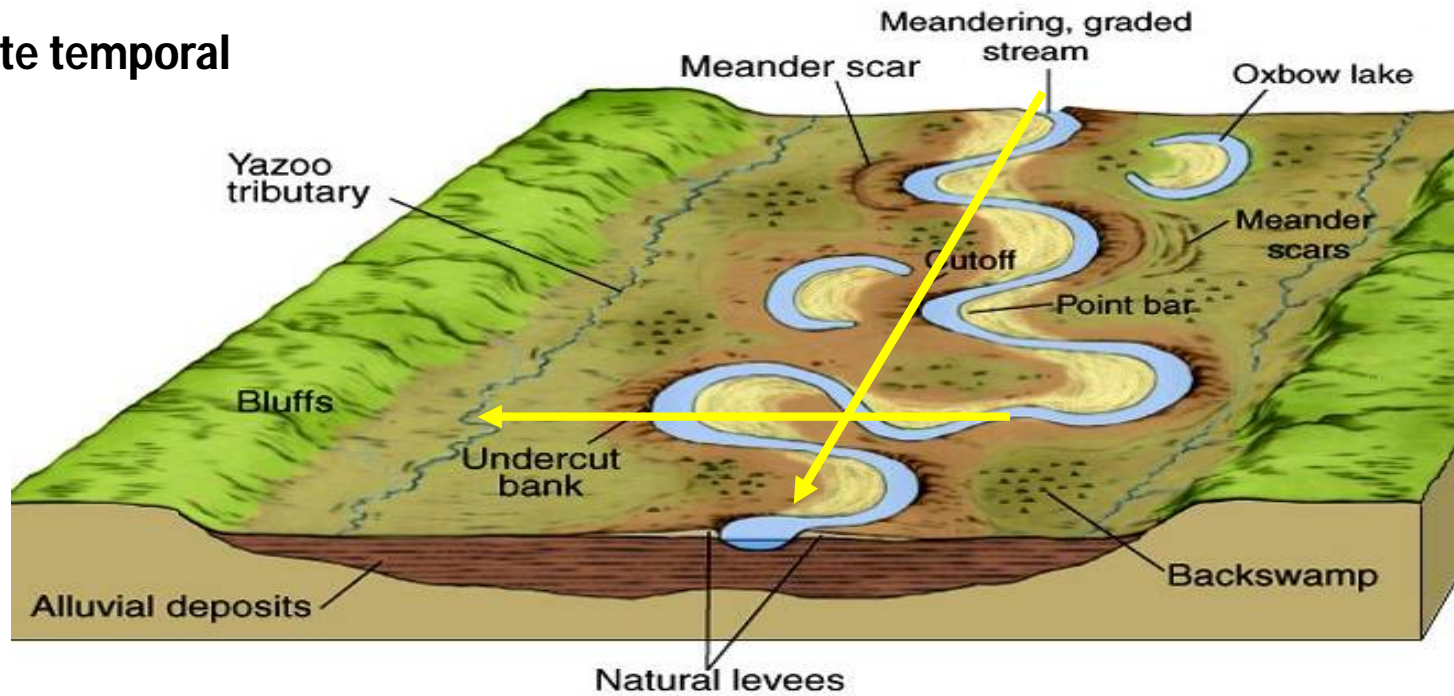
## Columna de agua y sedimento



# Estructura de los ecosistemas acuáticos

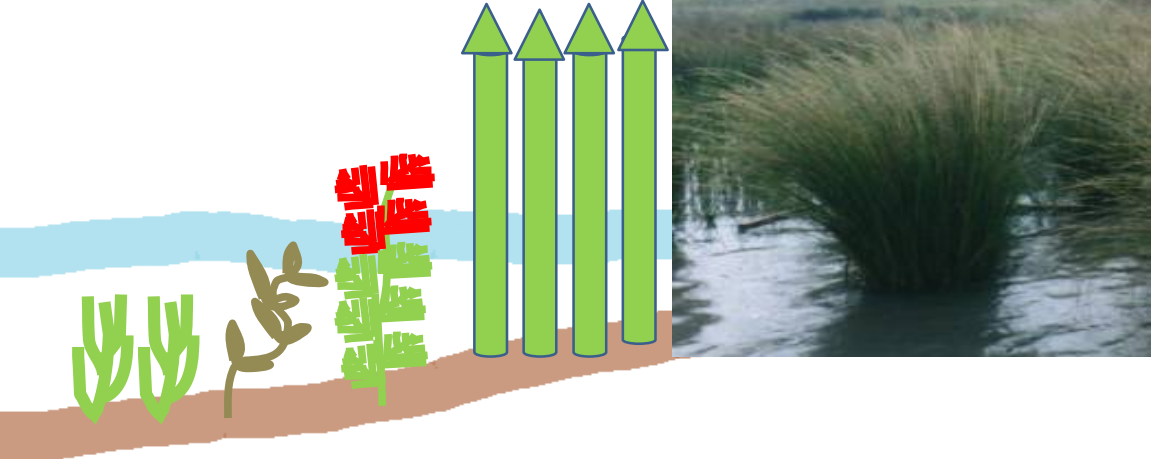
Componente espacial o zonación

Componente temporal



# Estructura de los ecosistemas acuáticos

Componente espacial o zonación



Plantas sumergidas

Humedal de plantas emergentes



Campo inundable  
Pradera uiliginosa y  
pastizal costero

Campo **no**  
inundable



**Gradiente de inundación**  
Agua dulce o salobre

# Estructura de los ecosistemas acuáticos

## Componentes físicos

**Agua:** volumen de agua  
batimetría  
morfometría





# Estructura de los ecosistemas acuáticos

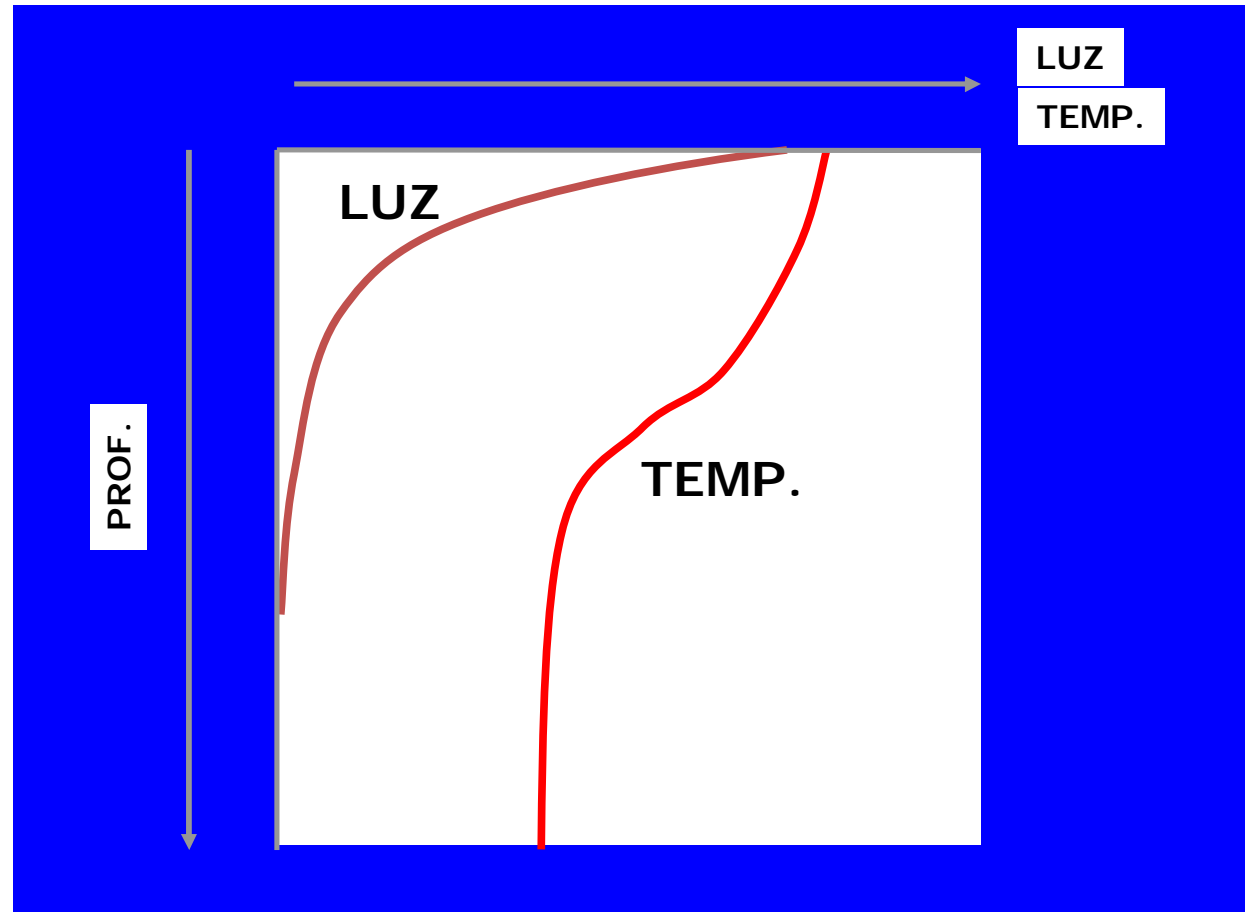
## Componentes físicos

### Sedimento



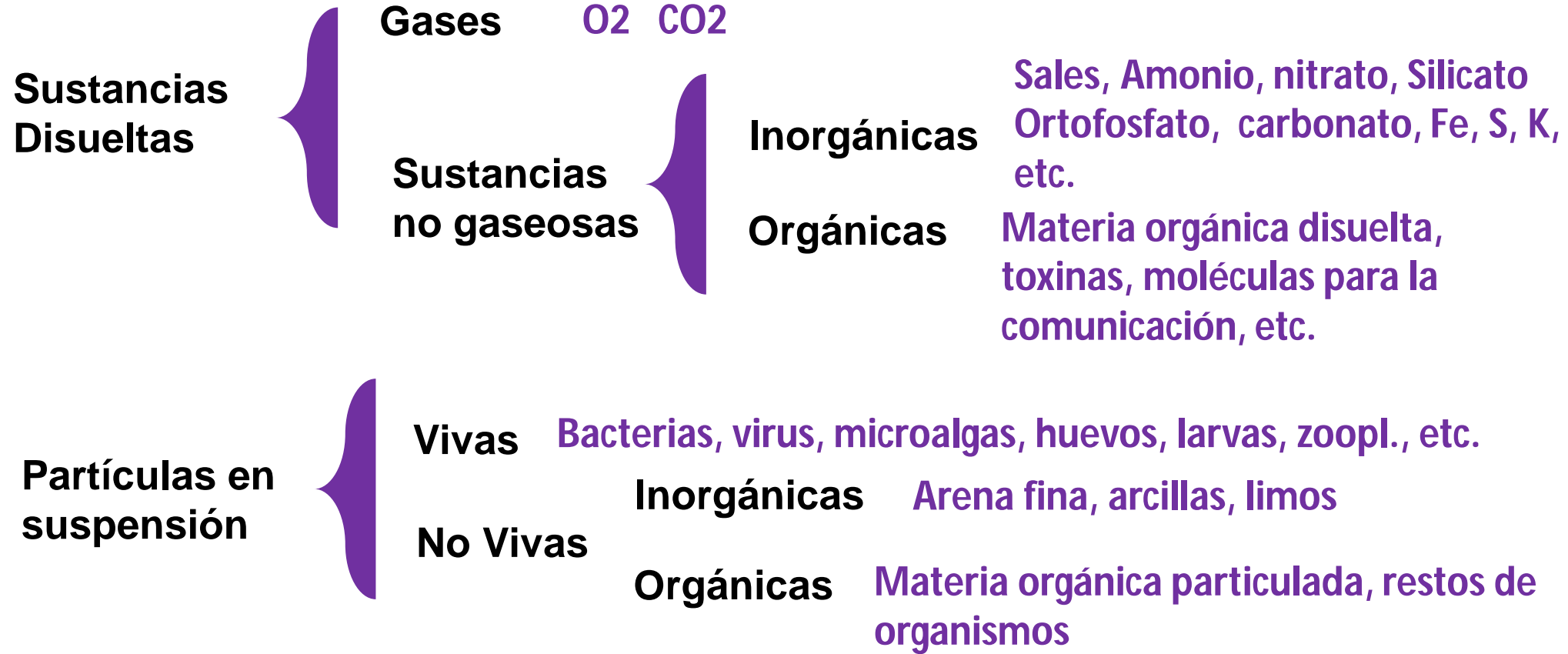
# Estructura de los ecosistemas acuáticos

## Componentes físicos



# Estructura de los ecosistemas acuáticos

## Componentes químicos y físicos



**SUSTANCIAS PRINCIPALES** (Concentración > 10 mg/L)

Sodio (Na)	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Oxígeno (O <sub>2</sub> )
Potasio (K)	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Nitrógeno (N <sub>2</sub> )
Magnesio (Mg)	Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Anhidrido Carbónico (CO <sub>2</sub> )
Calcio (Ca)	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	

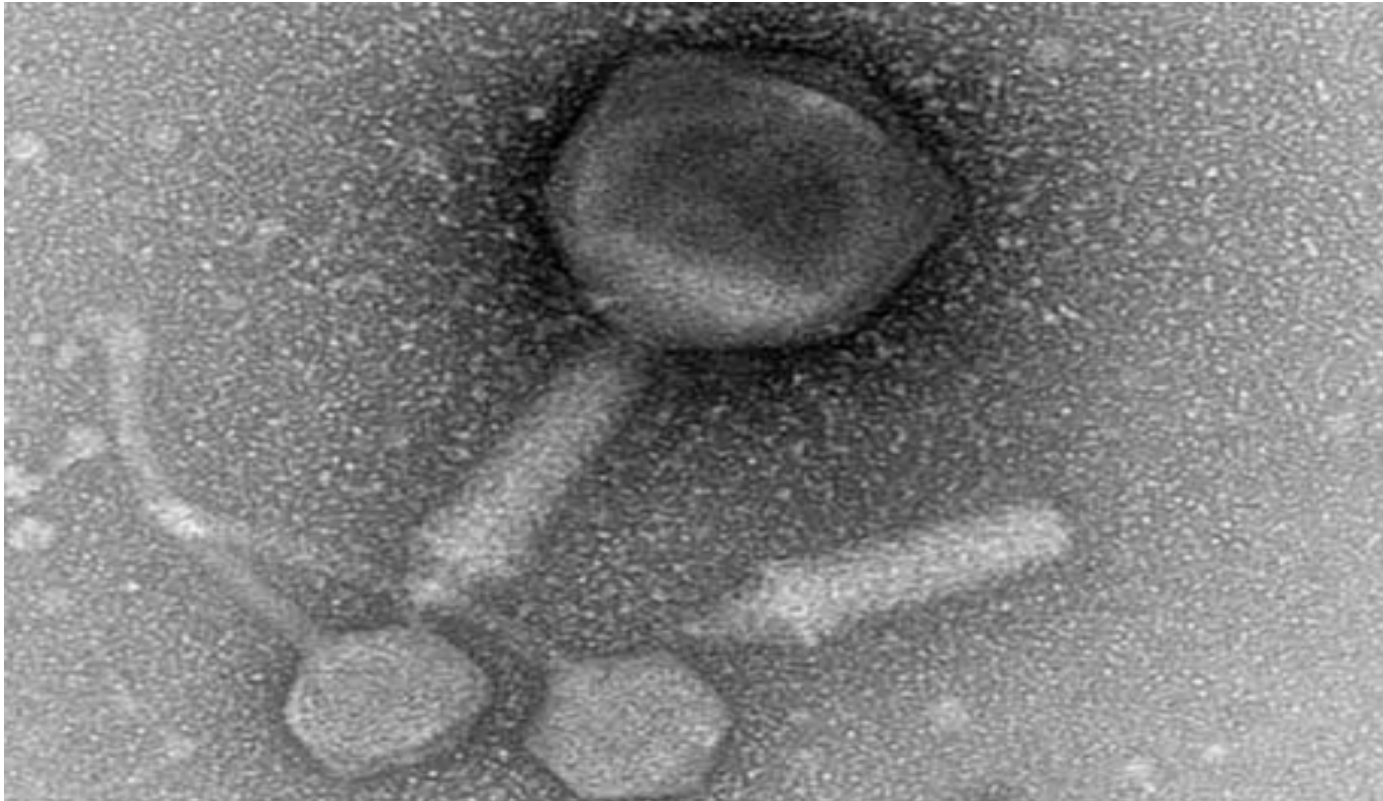
**SUSTANCIAS SECUNDARIAS** (Conc. < 10 mg/L y > 0,1 mg/L)

Fe, Mn, NH<sub>4</sub>, Al, F, Br, I, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, gases (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, Comp. Orgánicos)

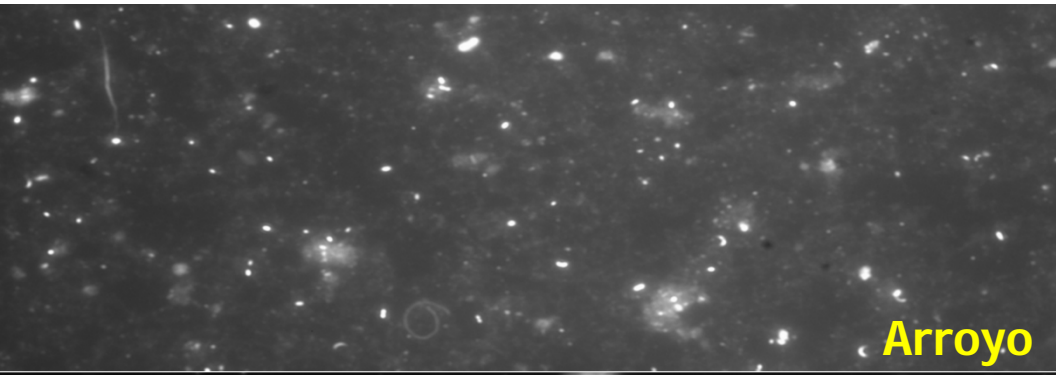
**TRAZAS** (Conc. < 0,1 mg/L)

Li, Rb, Ba, As, Cu, Zn, Pb, Hg,

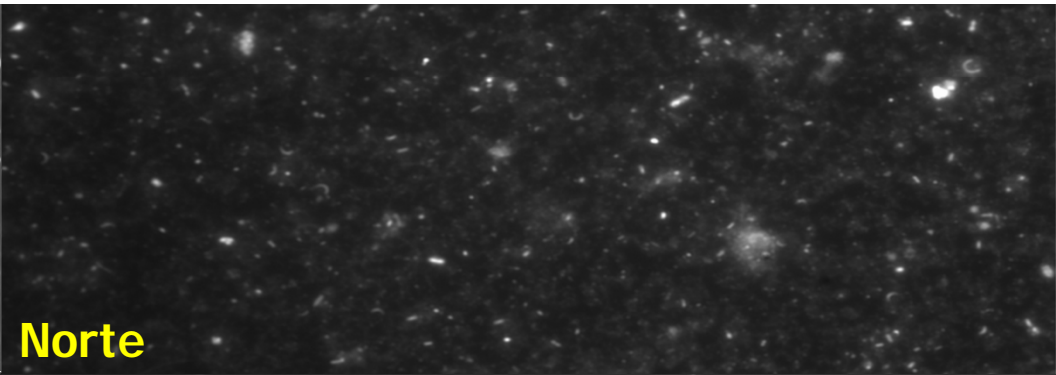
**Virus:** son los organismos más abundantes del agua, cumplen funciones muy relevantes como ser el principal agente de control de las poblaciones de bacterias



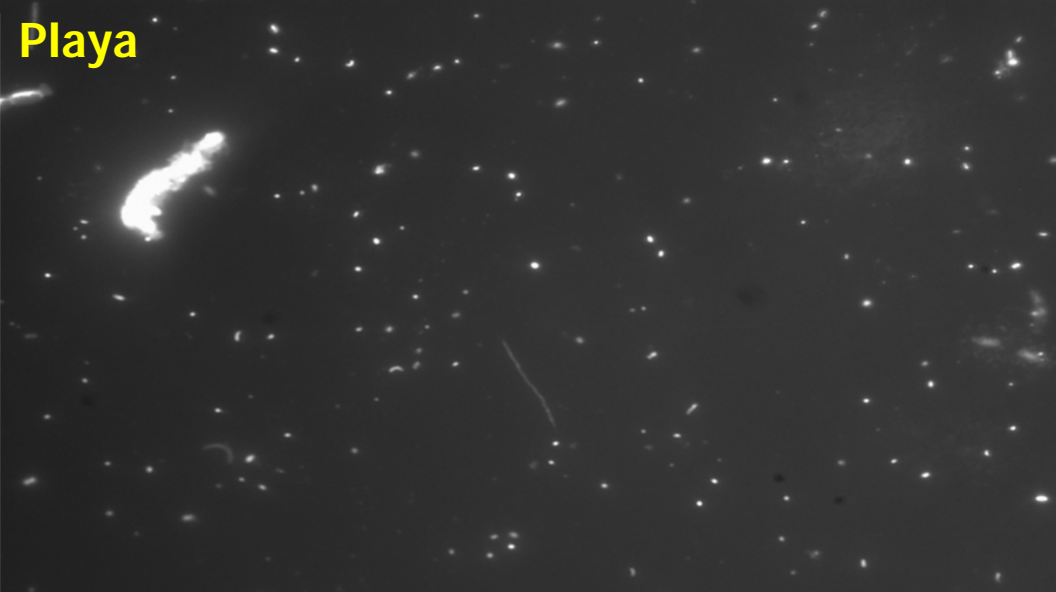
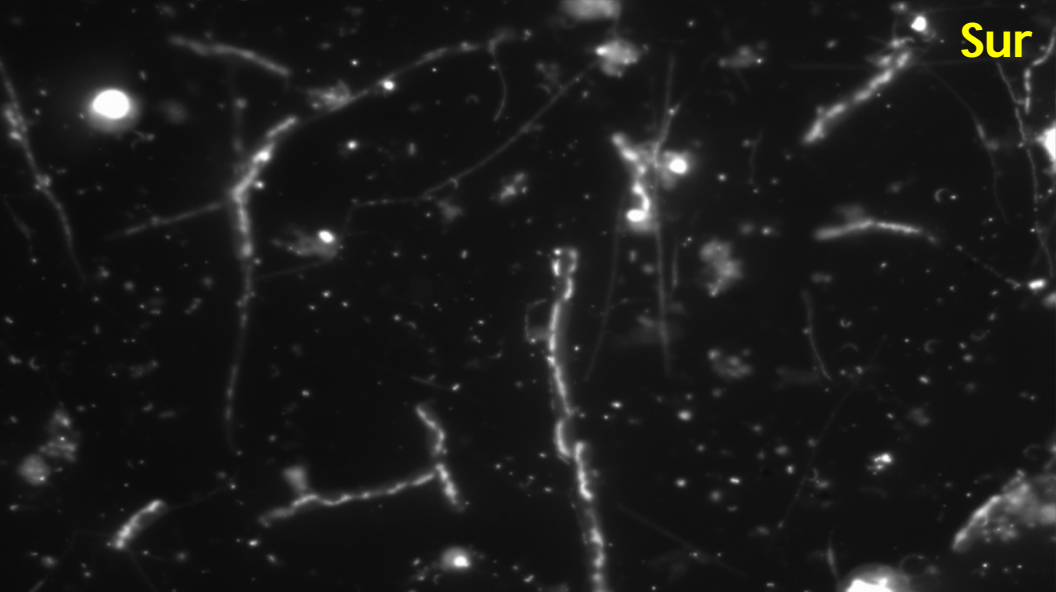
Bacterias: microorganismos procariotas, de pocas micras, que viven suspendidas en el agua o adheridas a la superficie de partículas vivas e inertes  
Cumplen funciones muy relevantes como la degradación de la materia orgánica



Arroyo  
Sur

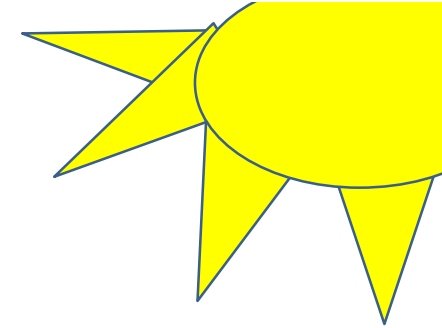


Norte  
Playa

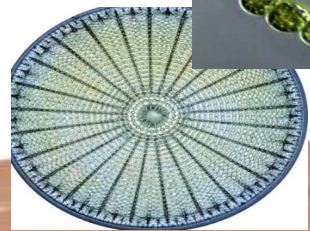
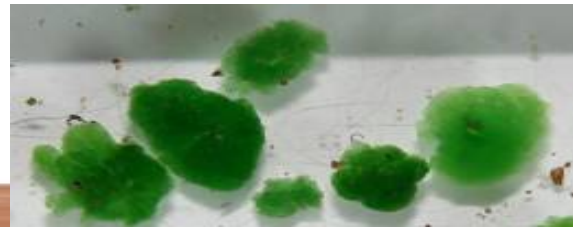
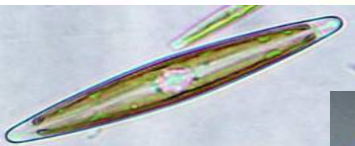


Productores primarios: son los organismos fotosintetizadores que producen materia orgánica a partir de la energía solar y del  $\text{CO}_2$

**Columna de agua y sedimento**



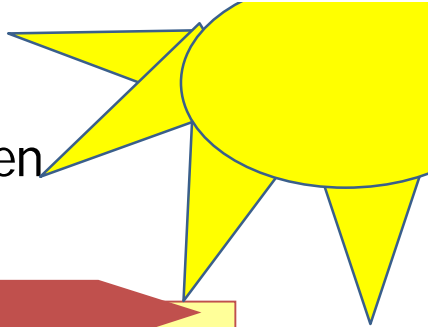
Agua



Sedimento

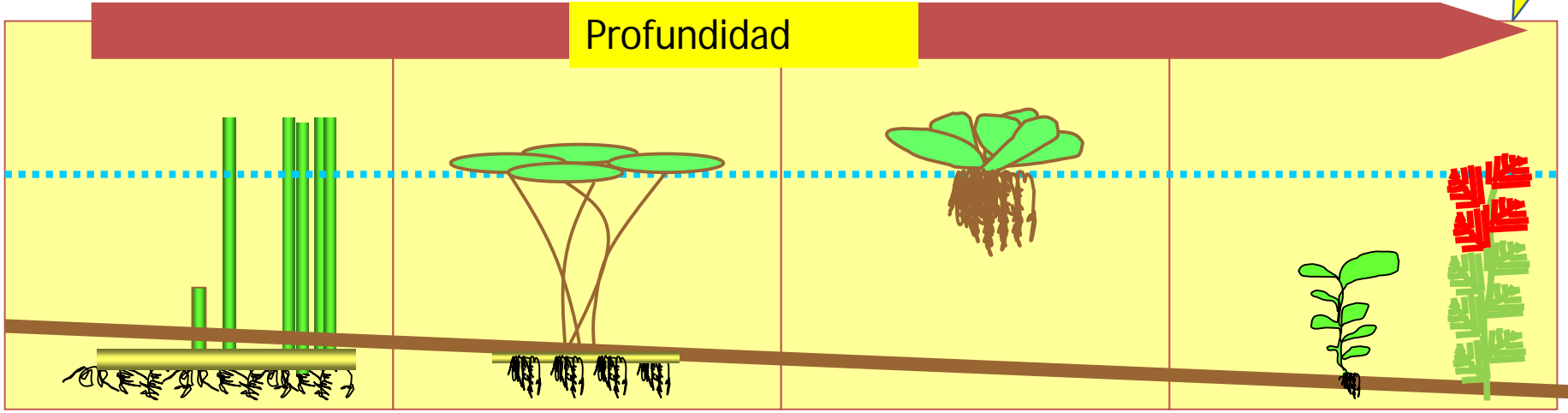
**microalgas**

**macroalgas**

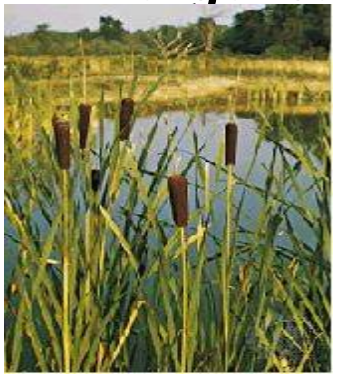


# Productores primarios

**Hidrófitas:** plantas superiores que cumplen su ciclo o parte de su ciclo vital en sustratos inundados o saturados temporal o permanentemente.



**Emergentes**



**Hojas flotantes, enraizadas**



**Flotantes**



**Sumerqidas**

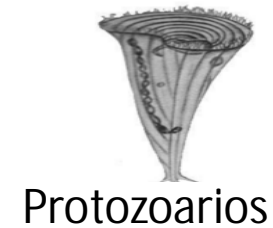
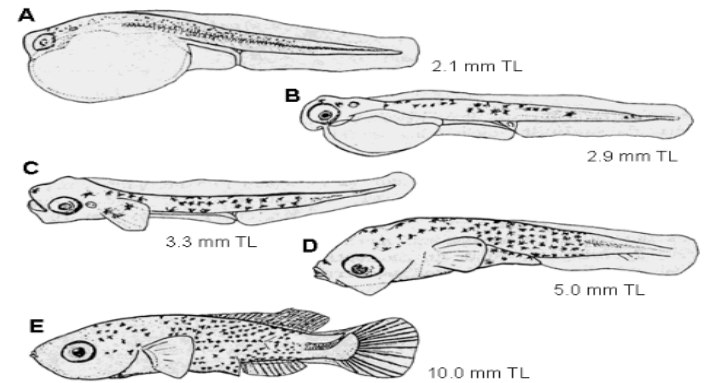
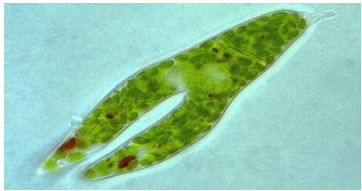




Productores secundarios: organismos que sintetizan materia orgánica a partir de materia orgánica preexistente

Herbívoros o carnívoros (consumidores secundarios) en la columna de agua

**Zooplankton:** organismos heterótrofos (uni o pluricelulares) adaptados a vivir en suspensión en la columna de agua



Cnidarios



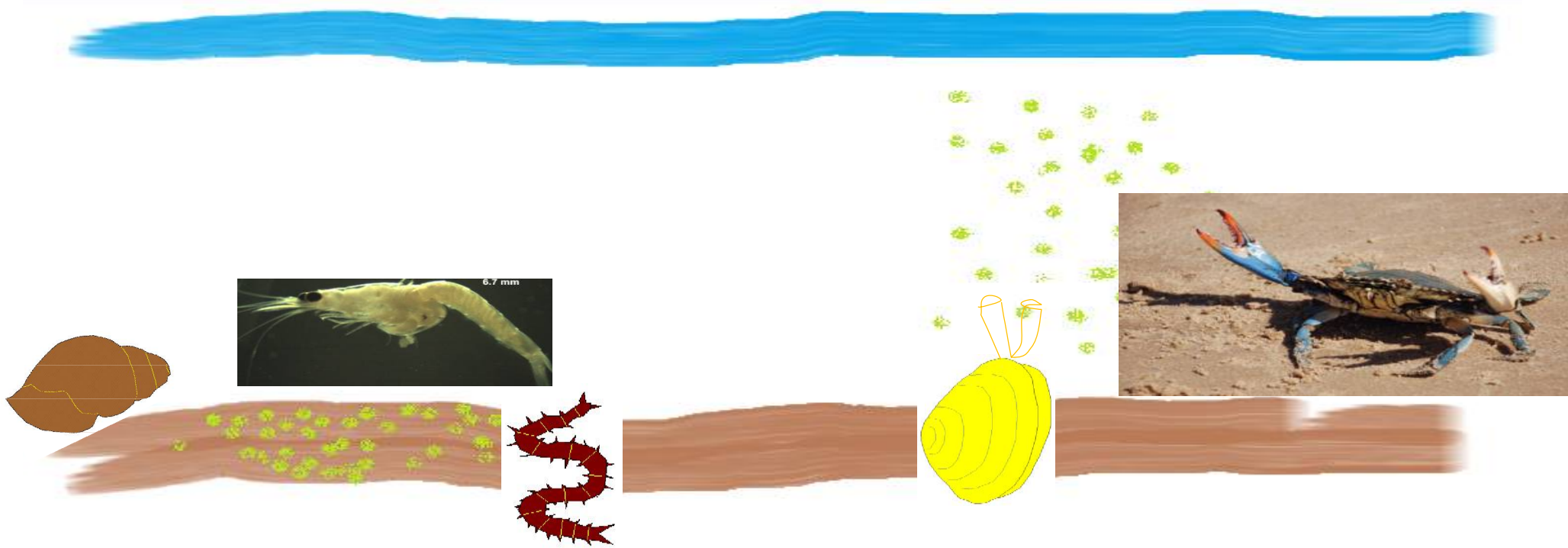
microcrustáceos

larvas de peces

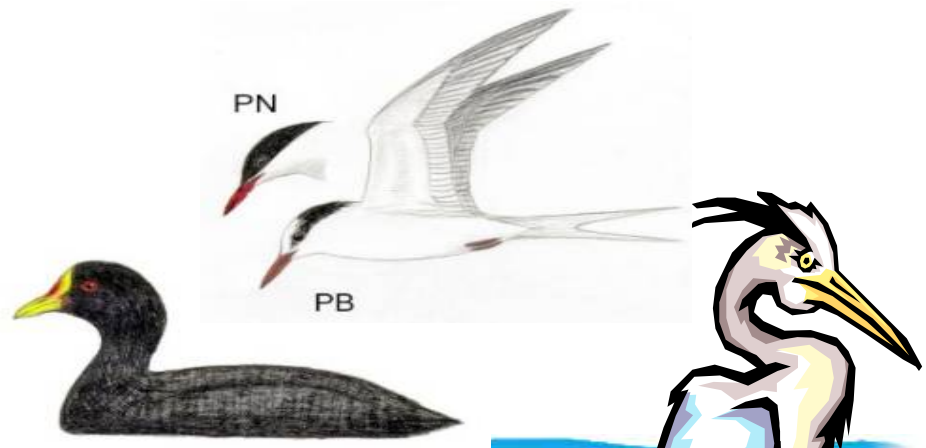
rotíferos

Protozoarios

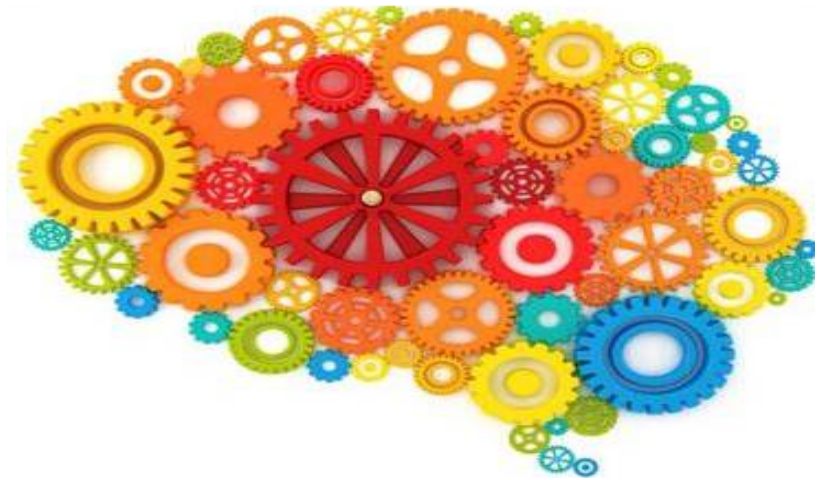
# Productores secundarios en el sedimento: **Bentos**



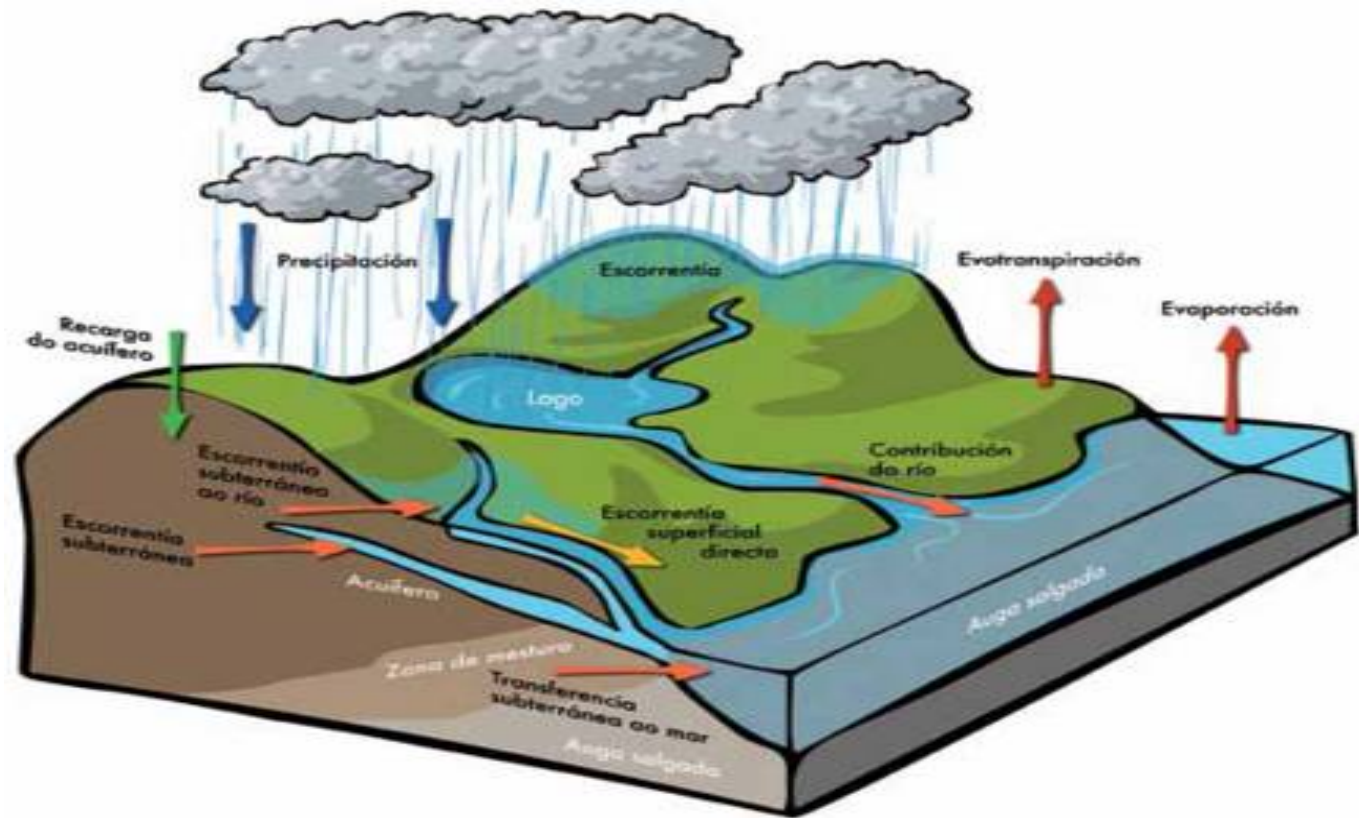
# Grandes herbívoros y depredadores



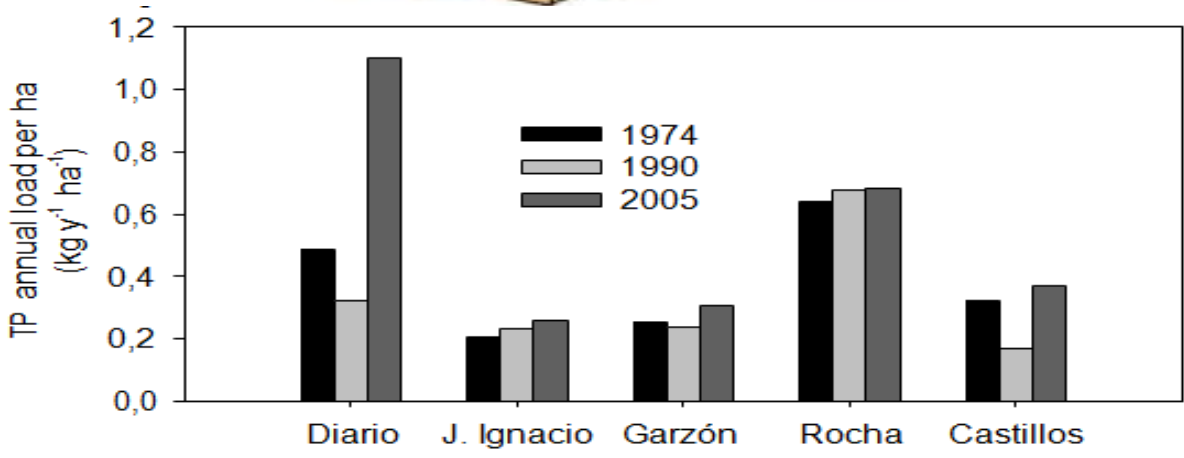
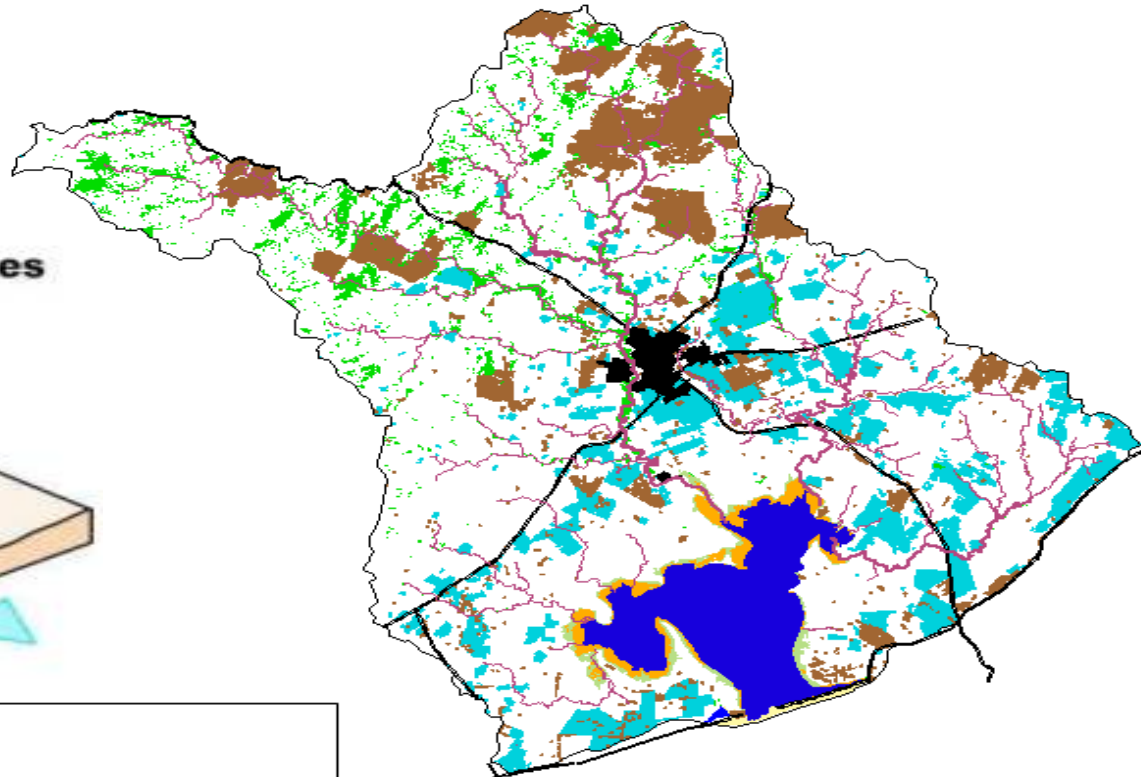
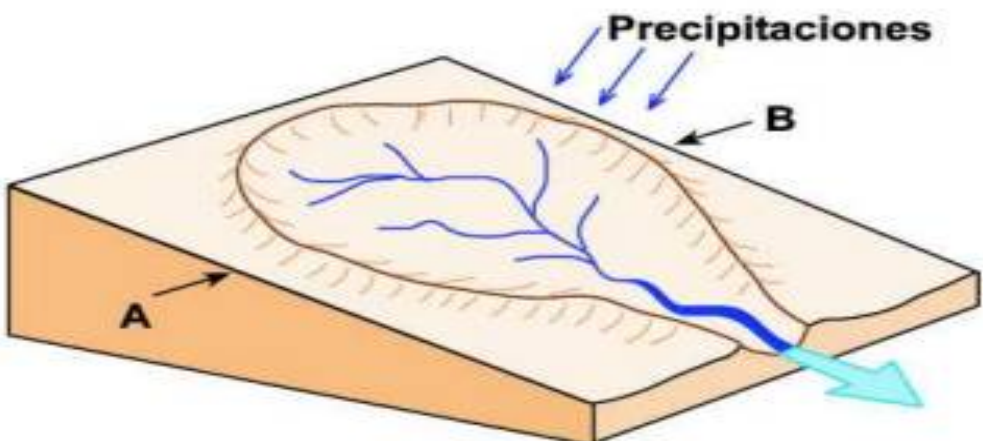
# Funcionamiento



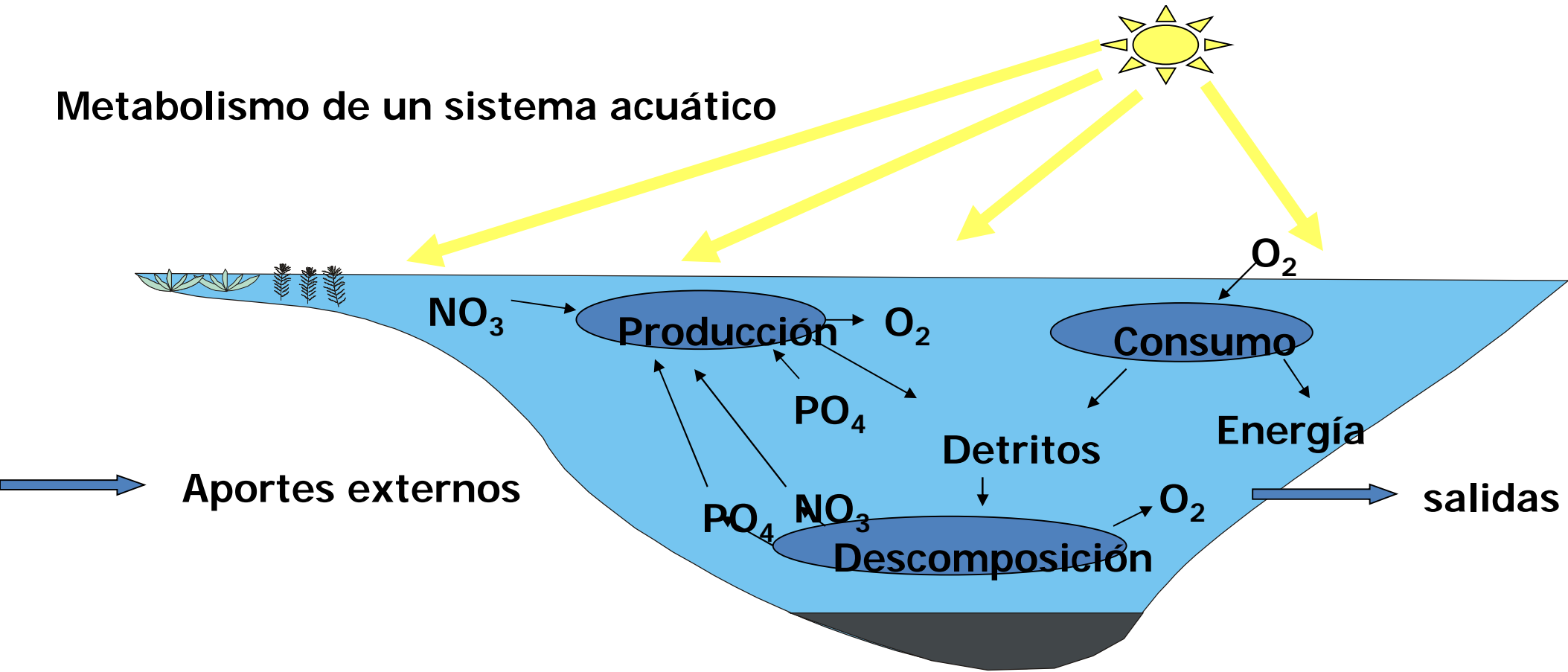
# Ciclo hidrológico



# Procesos físicos - Cuenca



# Metabolismo de un sistema acuático

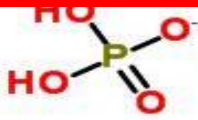


# CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Formas de fósforo:

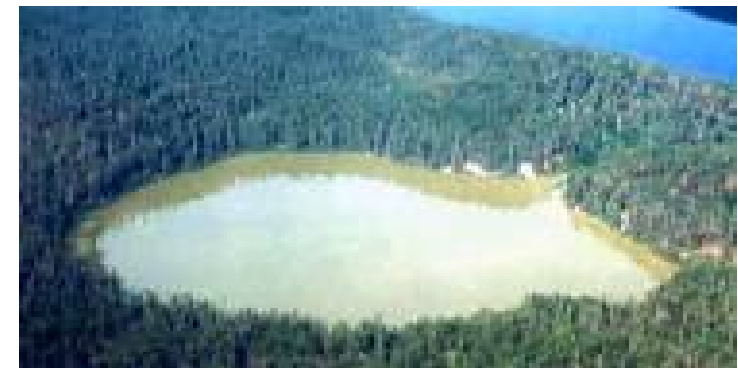
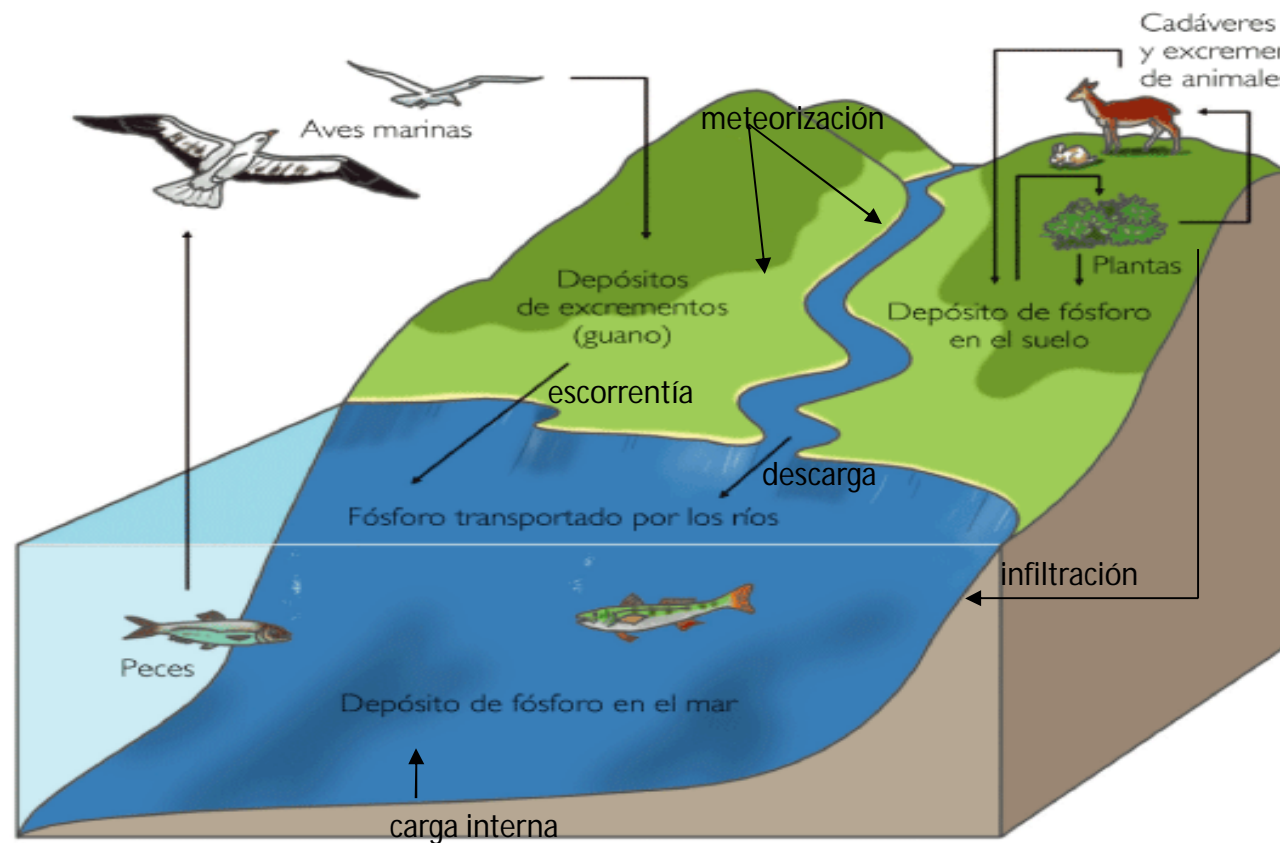
Ortofosfato (Fósforo reactivo soluble)

P adsorbido a partículas y macromoléculas



Procesos biogeoquímicos

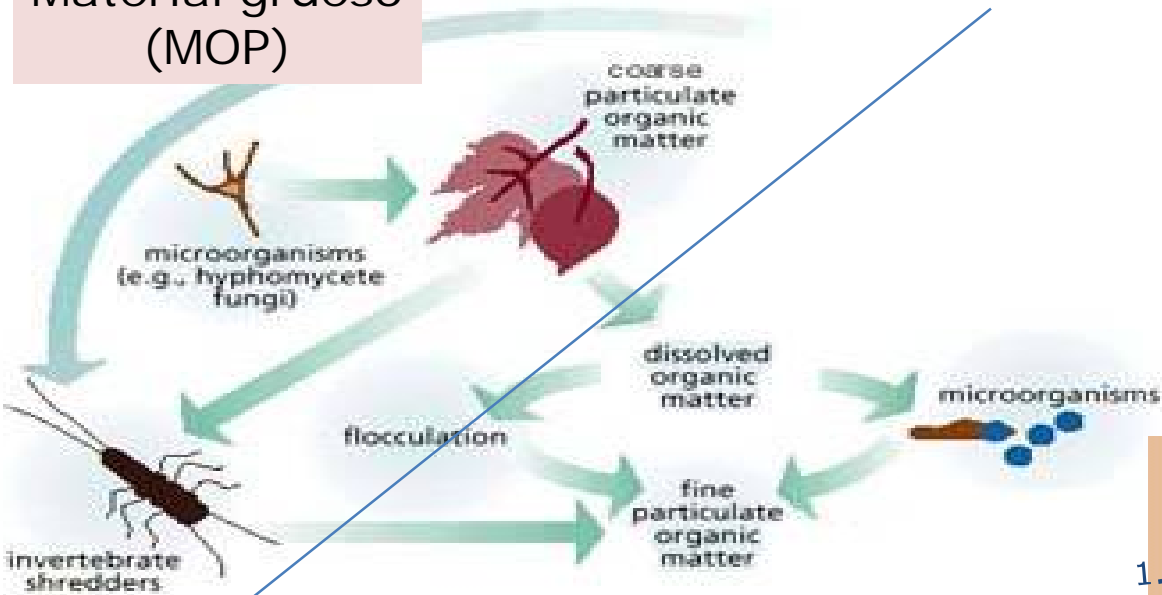
interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos, se dan dentro de los organismos y en el ambiente



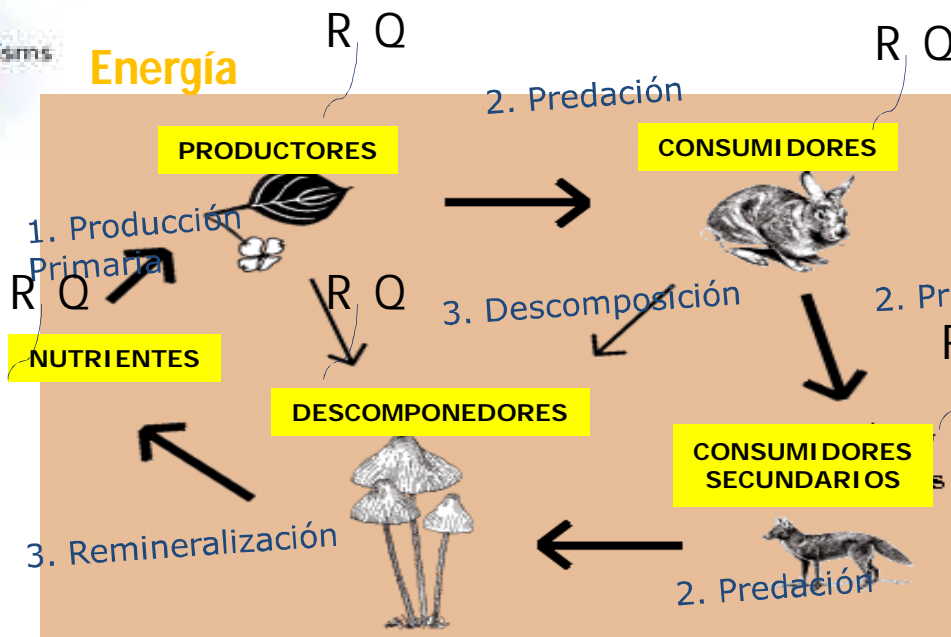


# Degradación de la materia orgánica

Material grueso (MOP)



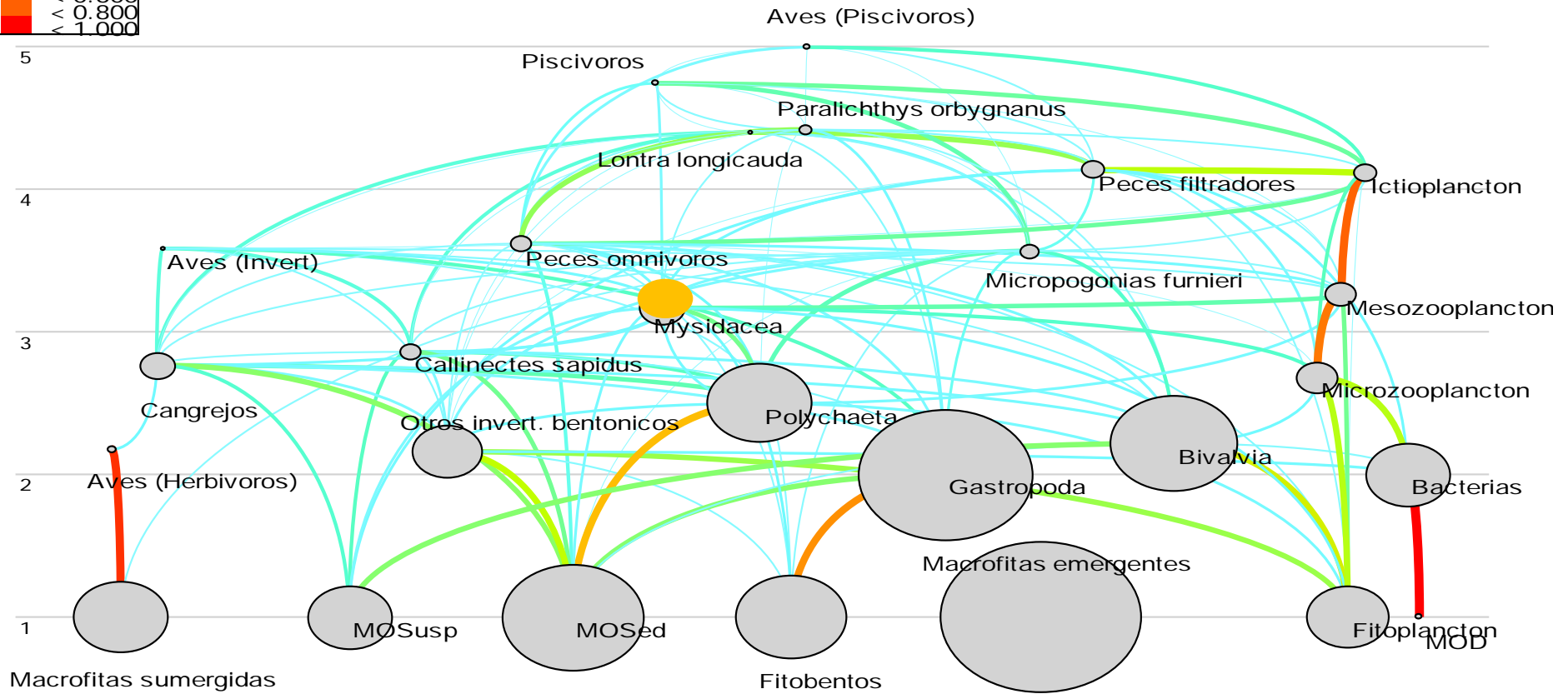
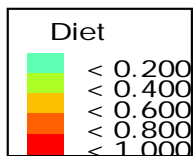
Material fino (MOD)



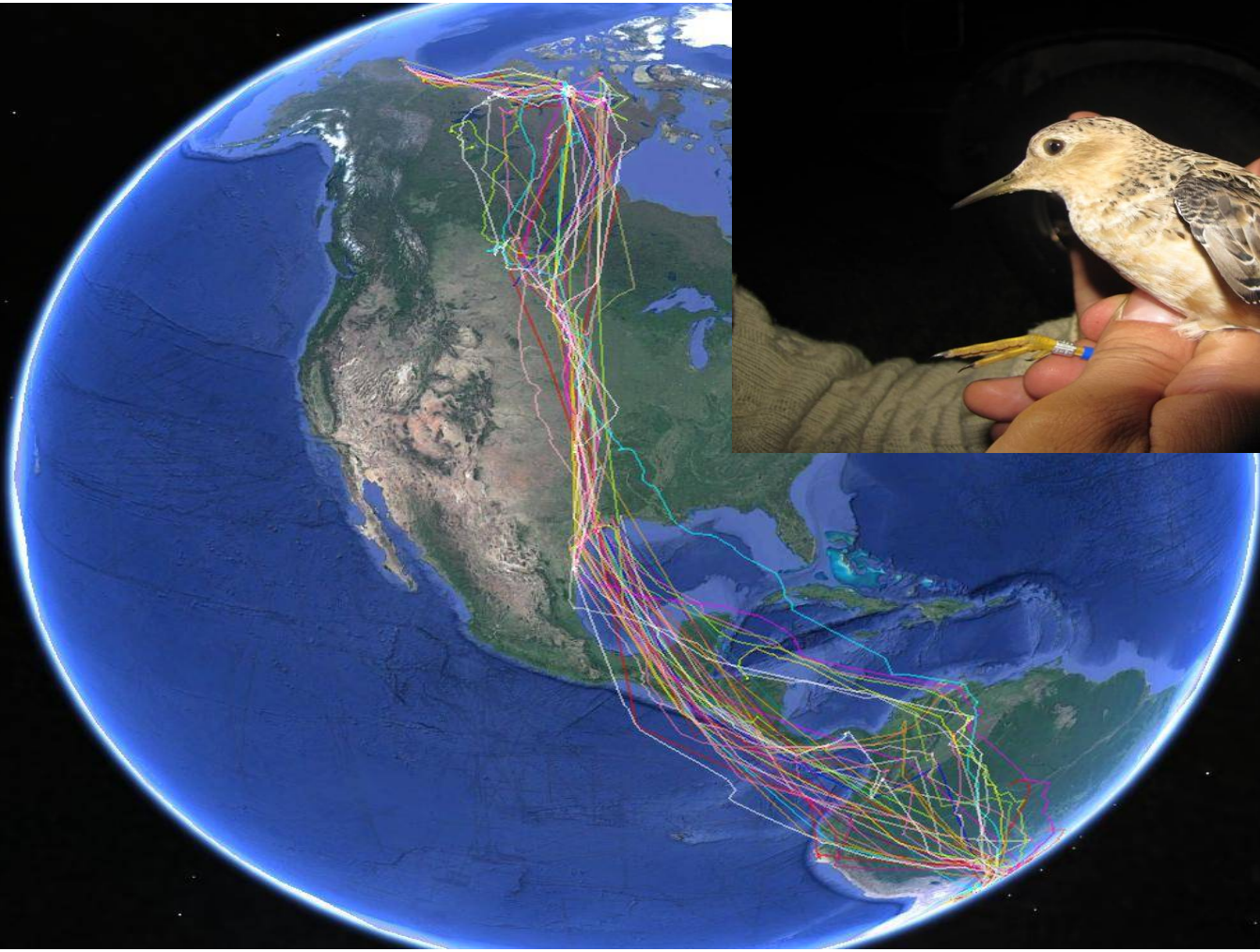
## Interacciones biológicas



# Trama trófica de la Laguna de Rocha



# Migraciones



Google Earth

Image Landsat / Copernicus  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image IBCAO  
Image U.S. Geological Survey

View from Space (Altitude: 12381 km)



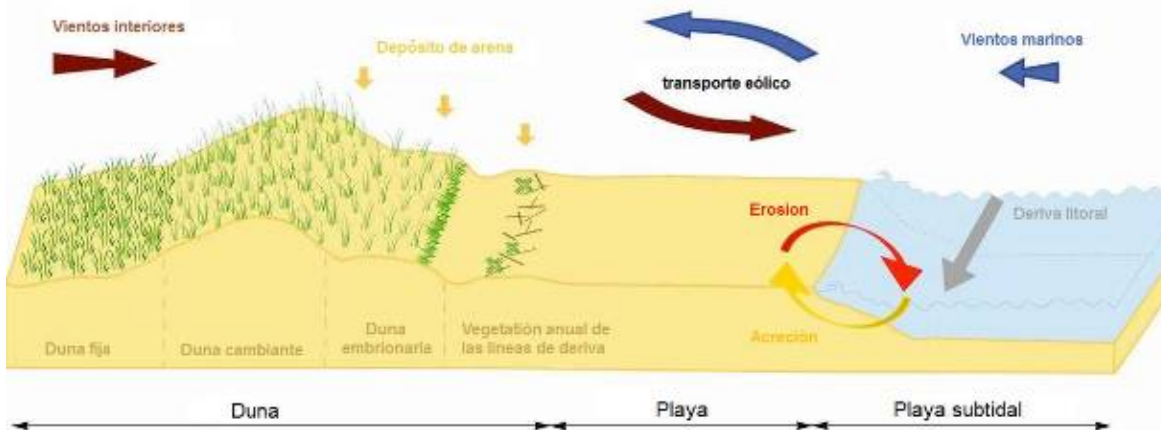
**Gentileza de Joaquín Aldabe**

## **Clase 2.** Ecología de ecosistemas. Estructura de ecosistemas, factores abióticos y bióticos. Teoría de sistemas aplicada a ecosistemas. Estabilidad y resiliencia y su relación con la biodiversidad y calidad ambiental.

Si las condiciones físicas y de energía son estables por un tiempo - la materia se acumula en ciertas especies o compartimentos abióticos generando patrones reconocibles: estados estacionarios (o de equilibrio) o climax. Estos se generan para cada combinación de condiciones: bosques, praderas, humedales, etc.

Estados estacionarios: se compensa la entrada y salida de energía y materia y se mantiene el estado, aunque con intercambio. Es un estado dinámico.

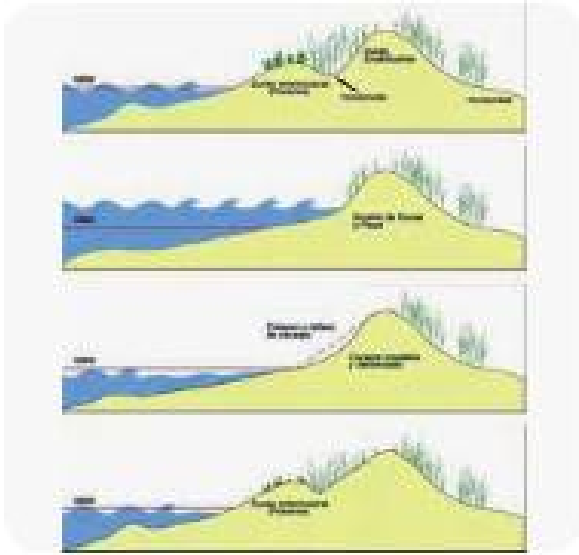
El estado se mantiene por mecanismos físicos, químicos y biológicos



### **Las dunas se autorregulan**

propiedad de los sistemas complejos

implica que pueden volver a su estado previo a la afectación externa: **homeostasis**.



GUB.UY

El estado estable es permanentemente afectado por fluctuaciones o disturbios.

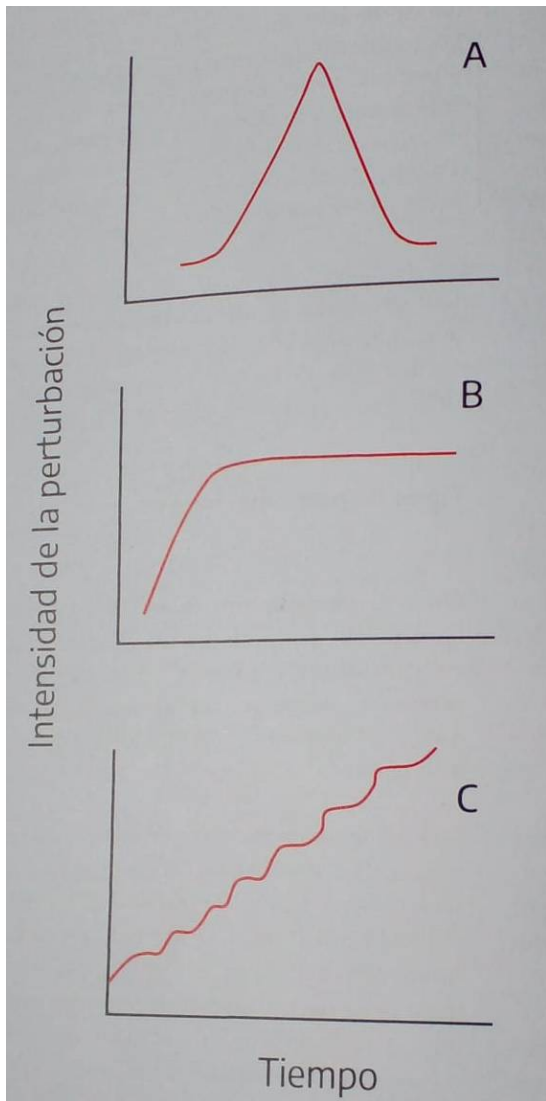
Disturbios muy regulares diarios o estacionales o más irregulares como tormentas extremas y actualmente infraestructura.

Los disturbios son factores de selección natural de los organismos y por tanto ya están más o menos adaptados a ellos.

Dos tipos de disturbios:

**Estrés:** factor externo o interno que disminuye la capacidad del organismo de desarrollarse normalmente. Sustancias químicas, salinidad, falta de agua o de nutrientes, nuevas especies competidoras. No remueven organismos ni biomasa, pero le implican más costo al organismos para desarrollarse. Porque crece menos rápido o tiene que invertir en detoxificarse.

**Perturbación:** cualquier ingreso de energía externa que puede generar algún cambio al sistema y que remueve biomasa de los organismos. Fuego, erosión, nuevos organismos. Se clasifican según su intensidad, duración y extensión. Tienen la propiedad es la predictibilidad, cuanto más regulares son más predecibles, las más intensas suelen ser menos predecibles.

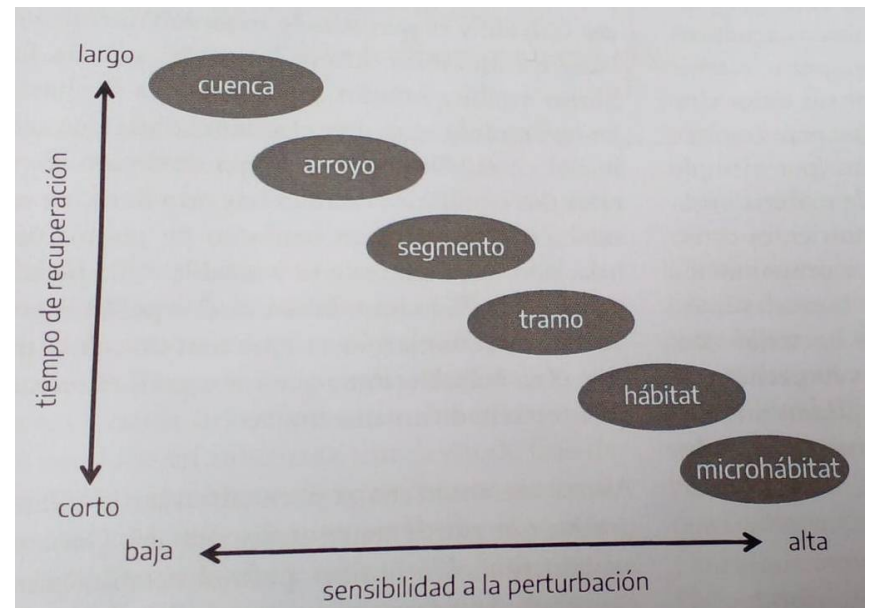


## Tipos de perturbaciones:

**Pulso:** el factor de perturbación aumenta y disminuye rápidamente. Reparación de una ruta en un arroyo, tormenta.

**Prensa:** la intensidad de la perturbación aumenta rápido pero luego no desciende sino que se mantiene. - Puente sobre una laguna costera, se instala rápido pero luego mantiene la boca de la laguna estrangulada de manera constante.

**Rampa:** La perturbación asciende lento pero de manera sostenida. - cambio climático, urbanización costera



## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

Los ecosistemas pueden fluctuar y/o quebrarse y alejarse del estado estacionario generando cambios que pueden ser irreversibles. Esto puede ocurrir como respuesta a factores externos (disturbios) o factores intrínsecos (aumento de una población, acumulación de materia orgánica, etc).

La autorregulación ocurre por la interrelación entre componentes del sistema que son no lineales, por lo tanto el sistema responde a cambios compensando las fluctuaciones externas. Baja la temperatura y el organismo mantiene la temperatura corporal utilizando reservas y compensa la fluctuación externa y mantiene la homeostasis.

Los ecosistemas tienen la propiedad de ser estables, pero no estáticos, que se mantiene por procesos activos del propio ecosistema.





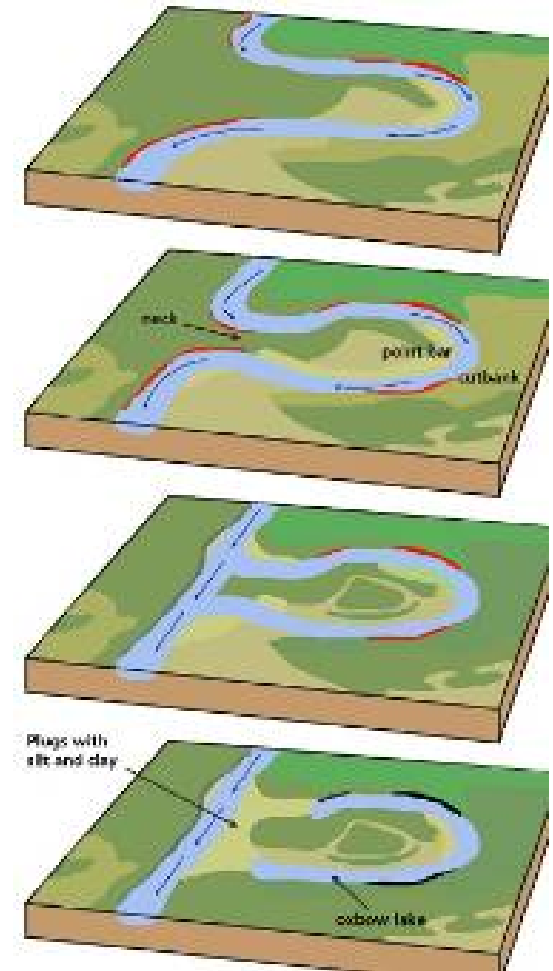
## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

La capacidad de mantener la estabilidad tiene límites: valor umbral de factores externos (internos) para el cual el sistema no puede compensar y cambia de estado. O se desorganiza y destruye o alcanza un nuevo nivel de estabilidad, adaptado a las nuevas condiciones.

En estos cambios el ecosistema pierde (o gana) propiedades.

Los ecosistemas pueden ser muy resistentes si para cambios muy grandes en los factores externos experimentan cambios pequeños y se mantienen estables.

**Resiliencia:** velocidad a la que se recupera un ecosistema una vez que desaparece la perturbación.



## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

La capacidad de mantener la estabilidad tiene límites: valor umbral de factores externos (internos) para el cual el sistema no puede compensar y cambia de estado. O se desorganiza y destruye o alcanza un nuevo nivel de estabilidad, adaptado a las nuevas condiciones.

En estos cambios el ecosistema pierde (o gana) propiedades.

Los ecosistemas pueden ser muy resistentes si para cambios muy grandes en los factores externos experimentan cambios pequeños y se mantienen estables.

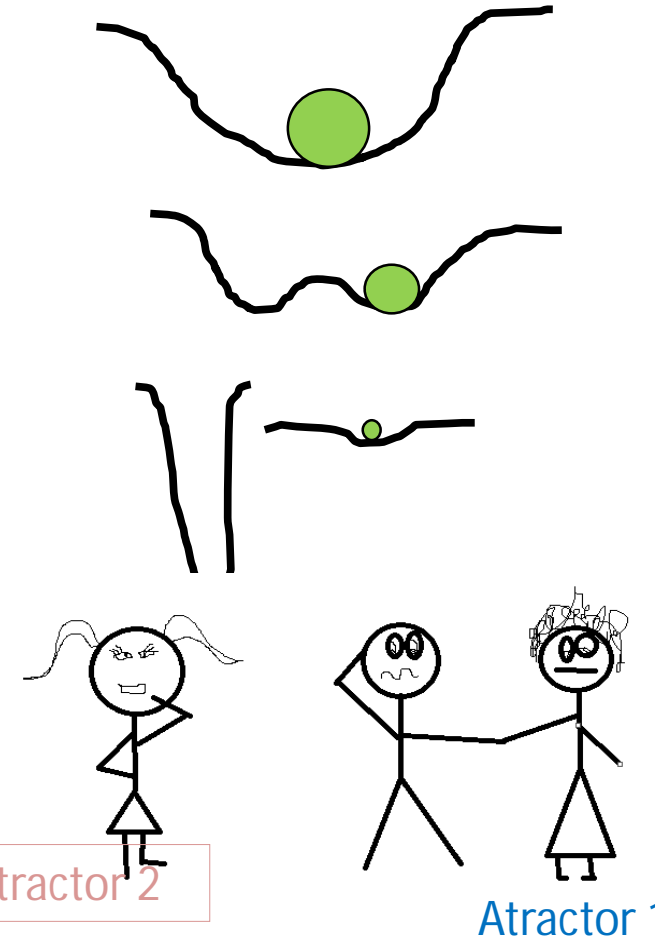
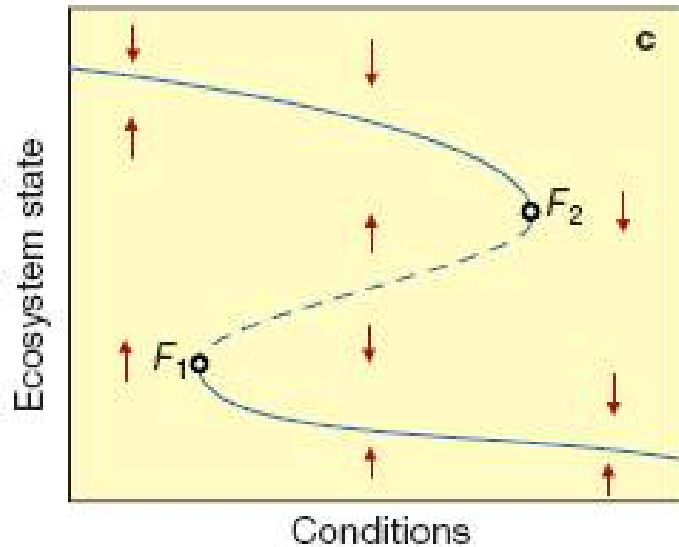
**Resiliencia:** velocidad a la que se recupera un ecosistema una vez que desaparece la perturbación.

Término	Definición
Estabilidad	Persistencia de un sistema cerca de un estado de equilibrio (Holling 1973). Capacidad de un ecosistema para compensar las alteraciones (Krebs 1986).
Dominio (o cuenca) de atracción	Es el conjunto de condiciones iniciales alrededor de un punto de equilibrio cuya dinámica es convergente a ese punto (Campos Romero e Isaza Delgado 2002).
Umbral ecológico (o punto de ruptura)	Punto a partir del cual se produce un cambio abrupto de la condición ecológica; dicho cambio puede ser causado por una pequeña perturbación en una variable (Groffman et al 2006).
Resistencia	Capacidad de la comunidad biológica de no cambiar frente a una perturbación (Angeler y Allen 2016).
Resiliencia	Rapidez con que un ecosistema regresa a su condición de equilibrio luego de haber sufrido una perturbación (Holling 1996).
Factor de estrés	Evento predecible que tiende a limitar el rendimiento fisiológico de los organismos (Tabacchi et al 2009). Evento frecuente y continuo que no permite que el ecosistema se recupere y que lo lleva a una nueva trayectoria (Borics et al 2013).
Perturbación	Evento discreto temporal e impredecible que produce una mortalidad sustancial en los organismos (Fisher 1990). Evento ocasional o periódico que produce un cambio abrupto del ecosistema, pero con posibilidad de recuperación (Borics et al 2013).
Estados o regímenes alternativos estables (o equilibrios múltiples)	Coexistencia de dos o más equilibrios estables de un sistema dinámico en un mismo intervalo de valores de variables externas (Brown y Williams 2015).
Histéresis	Propiedad del ecosistema que determina que la trayectoria de ida a lo largo de una variable es diferente a la de regreso entre dos estados alternativos (Beisner et al 2003).

## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

Hoy se reconocen estados alternativos, determinados por cuencas de atracción.

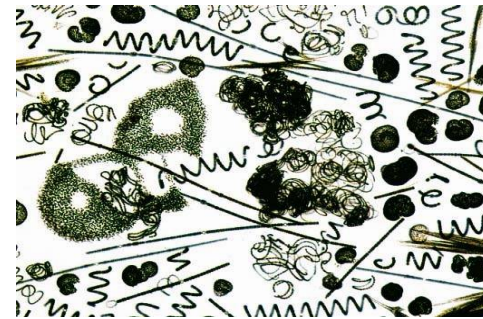
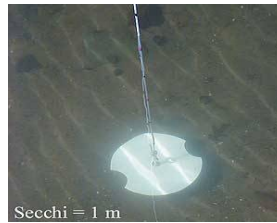
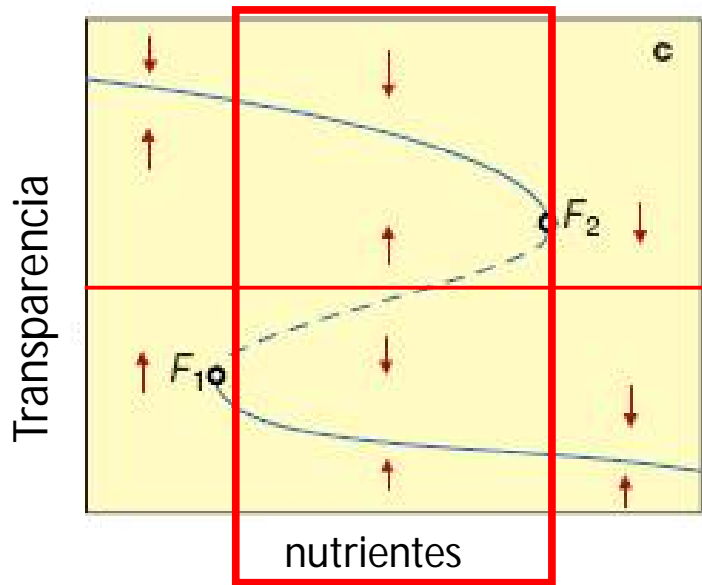
En un estado estable las variables del sistema se mantienen dentro de ciertos rangos de variación, si esas variables se salen de rango el sistema cambia y es atraída hacia otro régimen donde esas variables pueden tomar otros rangos de variación pero también estables (o con diferente nivel de estabilidad)



El sistema se comporta de forma catastrófica, con pequeños cambios de un factor el sistema se puede comportar muy diferente y no podemos predecir el momento del cambio. Hasta ahora cambios en esas variables no mostraban cambios en el sistema y no teníamos indicios de que nos acercábamos a una catástrofe.

## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

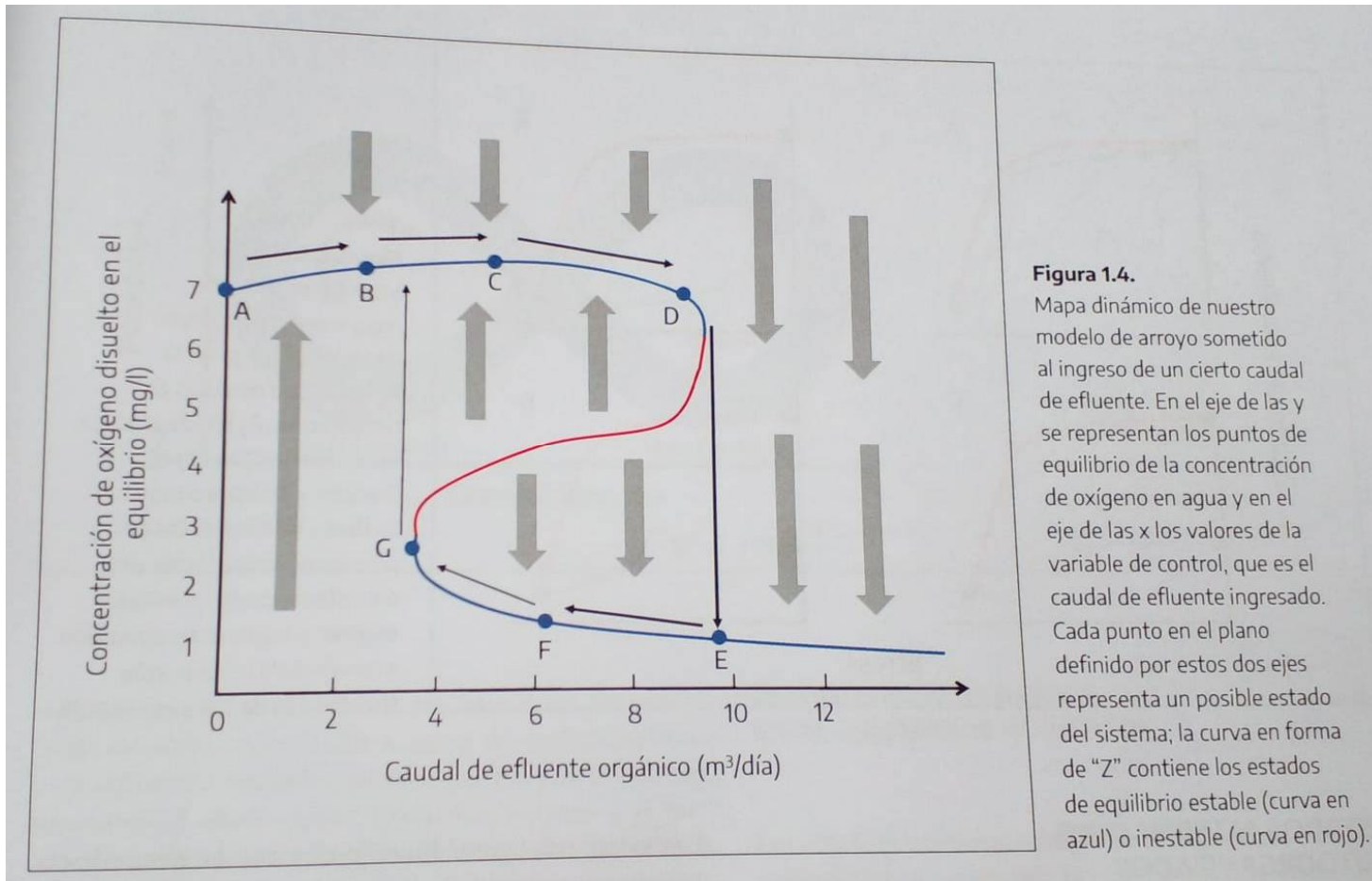
**Estados Estables Alternativos:** en lagos someros dentro de un rango moderado a alto de nutrientes pueden existir dos estados estables que son alternativos (Scheffer 1998)



**Implicancias:** si queremos recuperar o restaurar el ecosistema, esto nos dan una idea de la energía que tenemos que invertir. **Histéresis:** el sistema requiere más energía para recuperarse que para haber cambiado de estado. Esto guía a la medidas de restauración, donde los ecosistemas pueden seguir trayectorias diferentes para recuperarse, VER IMAGEN

## Dinámica y funcionamiento de los ecosistemas

Cuánto efluente puedo verter en un cauce sin deteriorar la calidad del mismo?



## Como predecimos los cambios catastróficos?

Cuanto contaminante puedo tirar a un río sin que genere impactos no admisibles?

Señales:

- 1- pérdida de resiliencia: el sistema se recupera cada vez más lento de las perturbaciones
- 2- aumenta el coeficiente de variación de las fluctuaciones o sea que el sistema comienza a fluctuar cada vez más frente a oscilaciones ordinarias
- 3- aumenta la autocorrelación entre las fluctuaciones, las oscilaciones se vuelven mas regulares, entra en resonancia  
– frecuencia cardíaca antes de un infarto

La teoría ecológica hoy nos permite conocer estos umbrales y en determinados rangos sabemos tenemos que ser cuidadosos para no acercamos a dichos umbrales.

**Vulnerabilidad:** cuanto más cerca del valor umbral somos más vulnerables a que otros cambios disparen la catástrofe, por ejemplo una sequía normal.

En los ecosistemas reales estos procesos no tienen un principio y un fin, sino que ocurren todos al mismo tiempo. Un humedal tiene alta resiliencia a la sequía, pero antes de recuperarse del todo llega otra sequía, o un canal de desecación, o una ruta.

Los ecosistemas son un mosaico de parches en diferente estado de recuperación o evolución, con diferentes historias de regímenes de disturbios.



En los ecosistemas reales estos procesos no tienen un principio y un fin, sino que ocurren todos al mismo tiempo. Un humedal tiene alta resiliencia a la sequía, pero antes de recuperarse del todo llega otra sequía, o un canal de desecación.

Los ecosistemas son un mosaico de parches en diferente estado de recuperación o evolución, con diferentes historias de regímenes de disturbios.

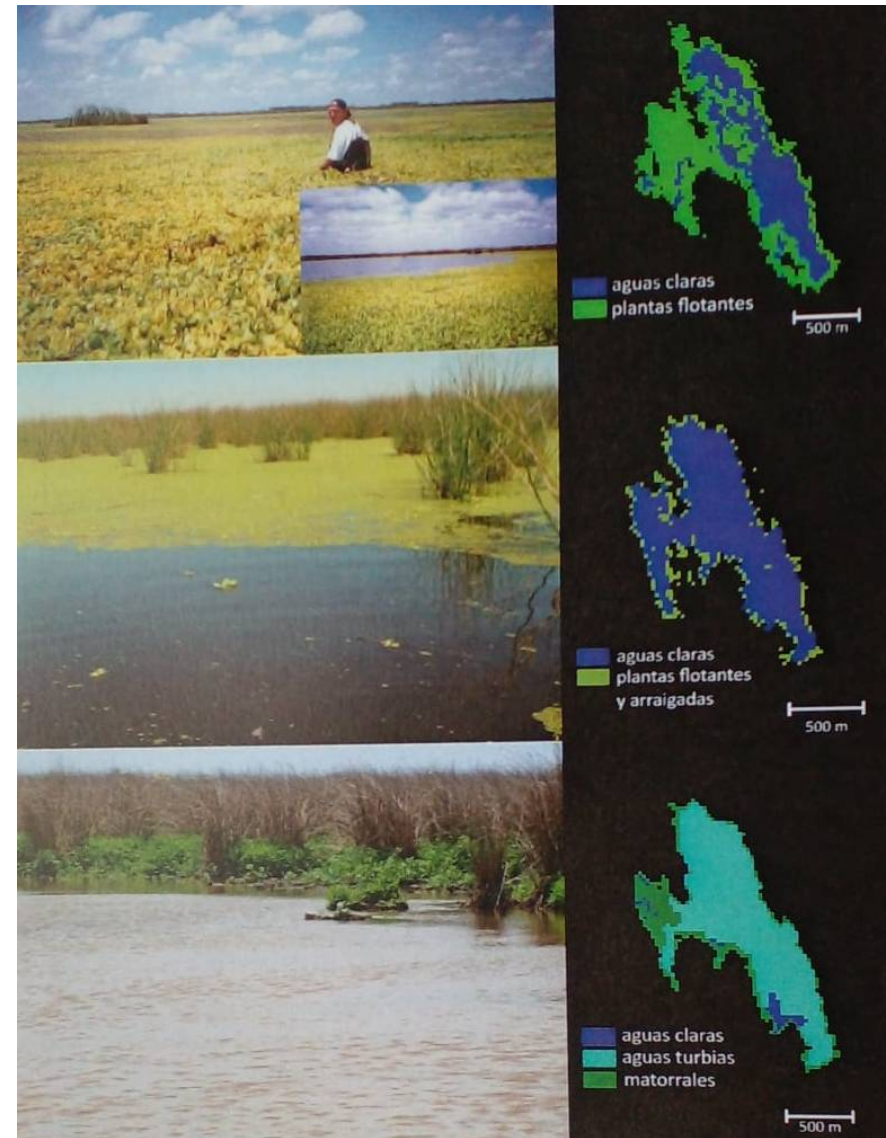
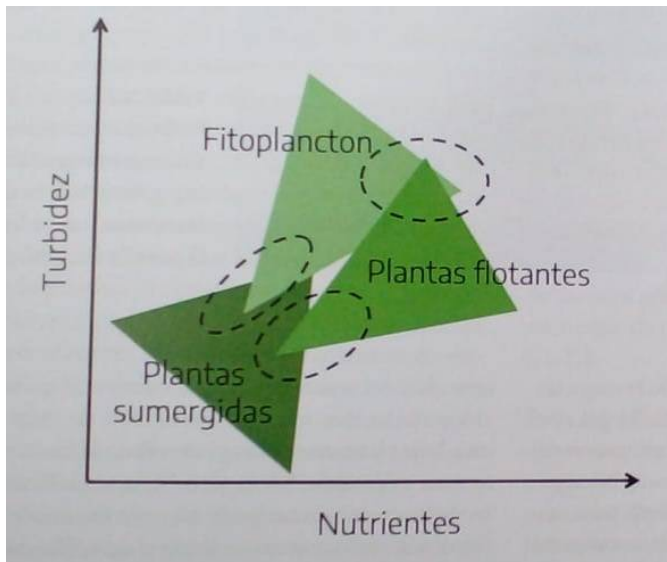




## Los ecosistemas pueden tener múltiples estados alternativos auto-organizados

Estos cambios ocurren de forma natural, porque los ecosistemas acumulan energía y materia (acumulan especies, biomasa, sedimentos, materia orgánica) y esta acumulación (o pérdida) los puede conducir a nuevos estados estables.

Esos estados pueden perdurar miles de años o pueden fluctuar entre unos y otros en el tiempo.



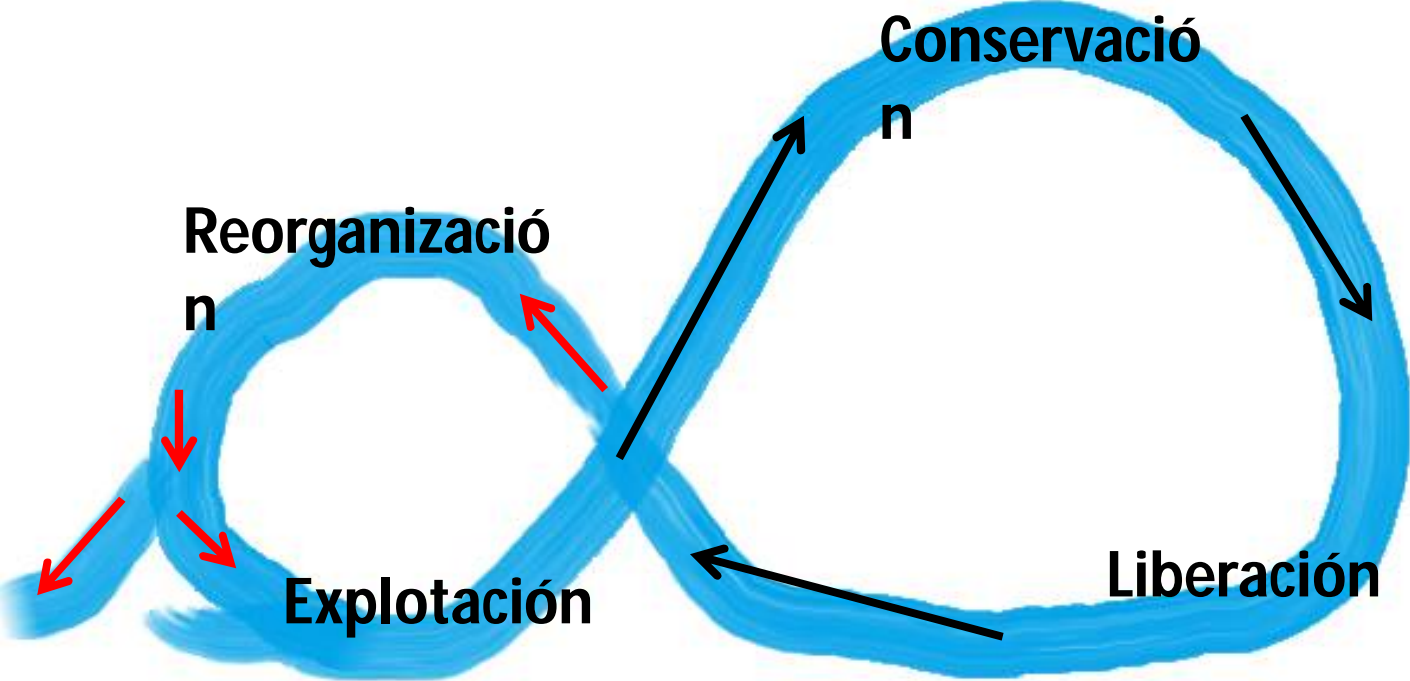
**Los ecosistemas pueden tener múltiples estados alternativos auto-organizados**

**Hoy se habla de ciclos adaptativos o auto-guiados.** Donde los ecosistemas pueden tener una fase de acumulación de estructura, información, complejidad y energía que en un momento sufre una relajación brusca donde el sistema se desregula un poco se relaja y se destruye algo de biomasa lo que dispara una nueva fase de autororganización que conduce al sistema a una situación de mayor complejidad.

Es un mecanismo del sistema complejo de regular su organización y promueve evolución. El sistema se va haciendo cada vez más complejo y rígido y necesita relajar la rigidez para poder mantener su estructura.

Sistema de valores en la sociedad para aliviar tensiones.

Los ecosistemas siguen un ciclo de oscilaciones producto de su propio desarrollo. Es un balance entre variables internas y externas y entre variables que cambian muy lentamente y otras que cambian muy rápidamente.



## Biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas

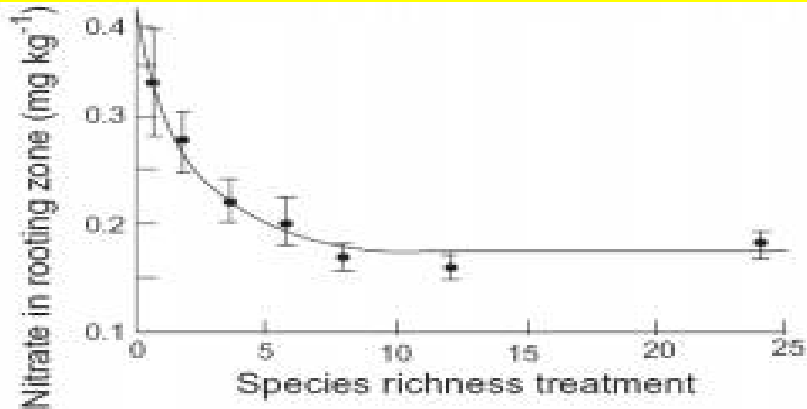


FIGURE 12.8. Effect of the number of plant species sown on a plot on the nitrate concentration in the rooting zone. Measurements were made 3 years after the plots were sown. Data are means  $\pm$  SE. (Redrawn with permission from *Nature*; Tilman et al. 1996.)

■ **Ho Diversidad – Estabilidad:** las especies tienen atributos diferentes y los ES más diversos tienen mayor probabilidad de tener especies que puedan cumplir diferentes funciones

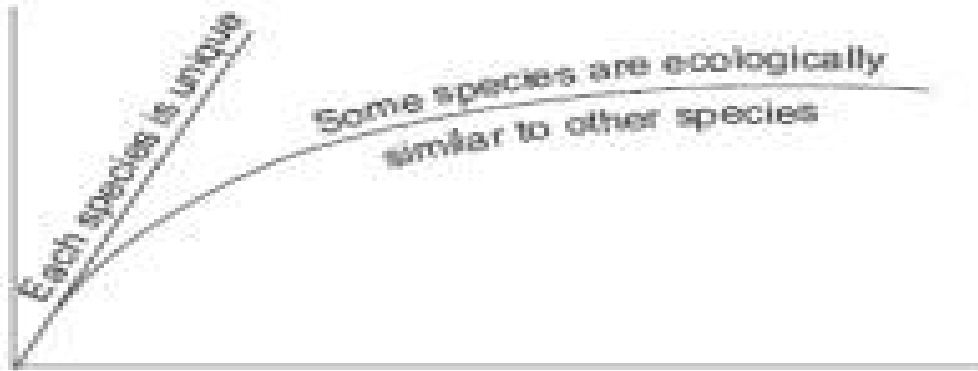
Comunidades de praderas con más especies tienen mayor cobertura vegetal y menor concentración de nitrógeno orgánico en el suelo

Las especies se complementan en el patrón de usos de esos recursos y por tanto estabilizan las variables ambientales (nitrógeno en suelo)

Las diferentes comunidades toleran diferentes perturbaciones y la suma de estas respuestas en el tiempo le confiere estabilidad al ES

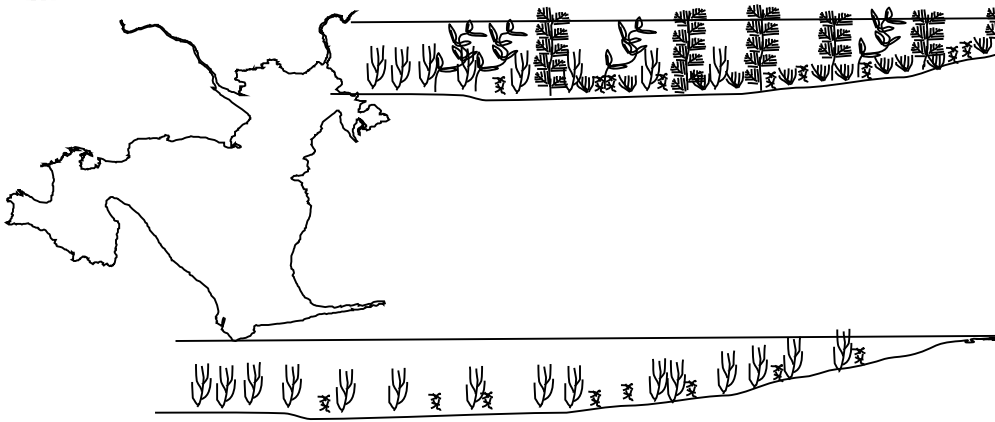
# Biodiversidad y diversidad funcional

## A. Effect of species number



Algunos procesos pueden aumentar linealmente con el aumento de la riqueza, pero otros alcanzan una asíntota

**Ho Diversidad - Productividad:** si  $\uparrow$  BD  $\uparrow$  productividad porque hay más especies produciendo y  $\uparrow$  la eficiencia de utilización de recursos

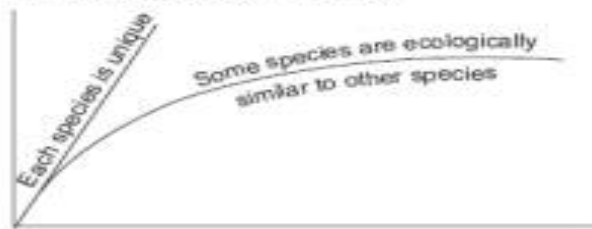


**Ho Diversidad - Redundancia:** en los ES existen varias especies que cumplen similares funciones, por lo que si una especie desaparece otras pueden cumplir su función, manteniendo las propiedades del ES. Lo importante no son las especies si no las funciones que cumplen

Hay más especies que funciones, por lo tanto en algún momento se alcanza saturación de funciones. Dicha saturación se alcanza antes para la descomposición que para otros procesos

# Biodiversidad y diversidad funcional

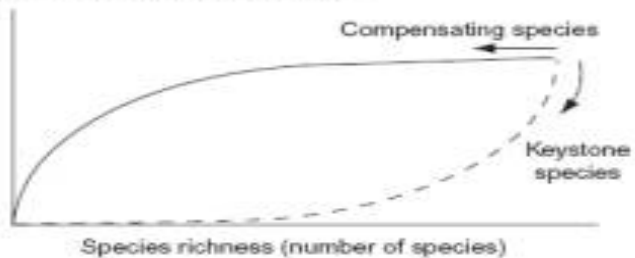
A. Effect of species number



B. Effect of species abundance



C. Effect of species type



**Ho de conductores y pasajeros:** Existen especies que tienen funciones mucho más importantes en los ecosistemas que otras.

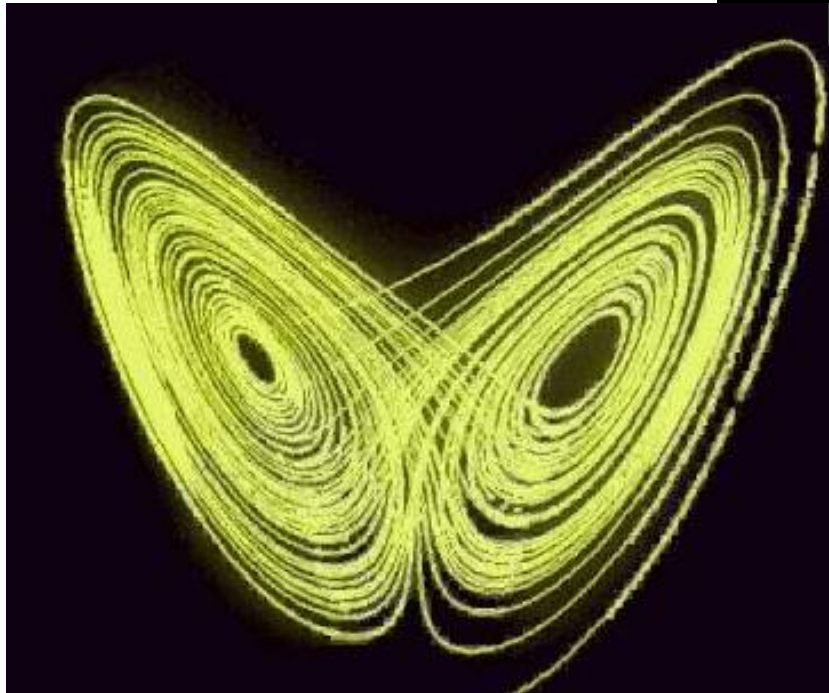
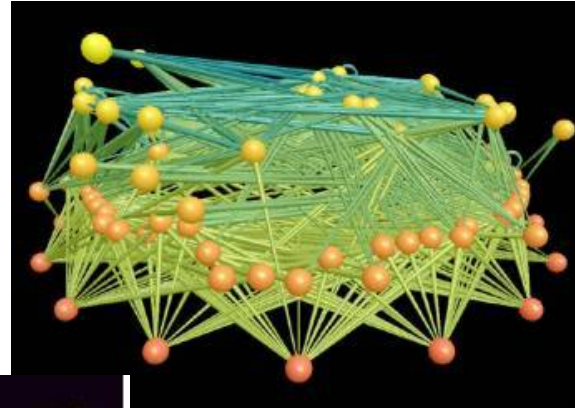
La remoción de algunas especies tiene efectos más drásticos (especies dominantes o especies clave)

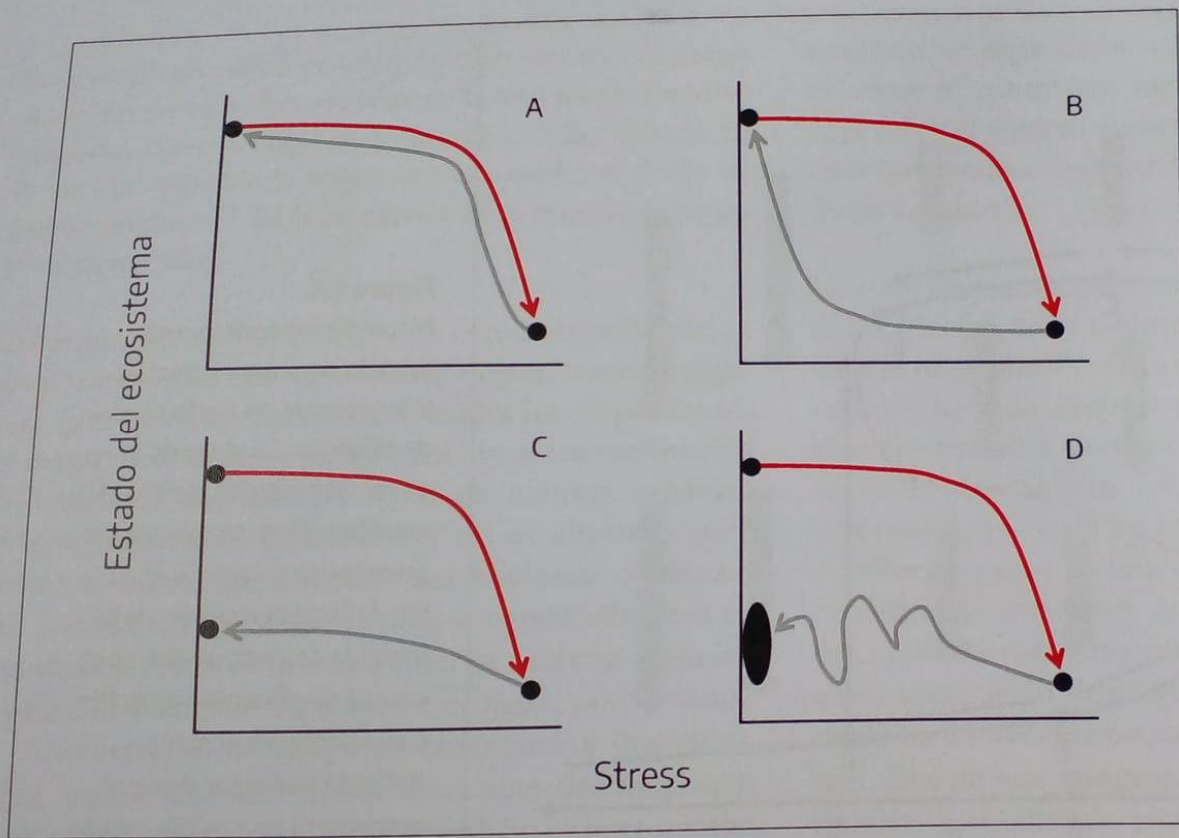


**Especies clave**  
**Especies ingenieras**



Hoy muy permeada por la teoría de la complejidad





**Figura 1.5.**

Modelos posibles de recuperación de arroyos impactados luego de la aplicación de medidas de restauración. A) banda elástica, B) histéresis, C) Humpty Dumpty, y D) blanco móvil. La flecha roja representa el proceso de degradación del ecosistema desde su estado original, y la gris la recuperación a través de la restauración (modificado de Lake et al 2007).

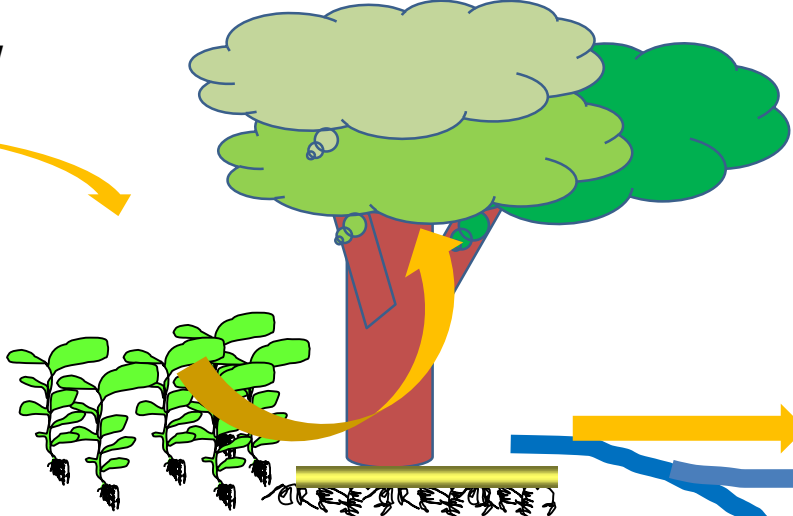
Potencial  
Mucho

entru  
carg  
les c



# Retención de nutrientes en las zonas riparias

Aporte de nitrógeno y fósforo



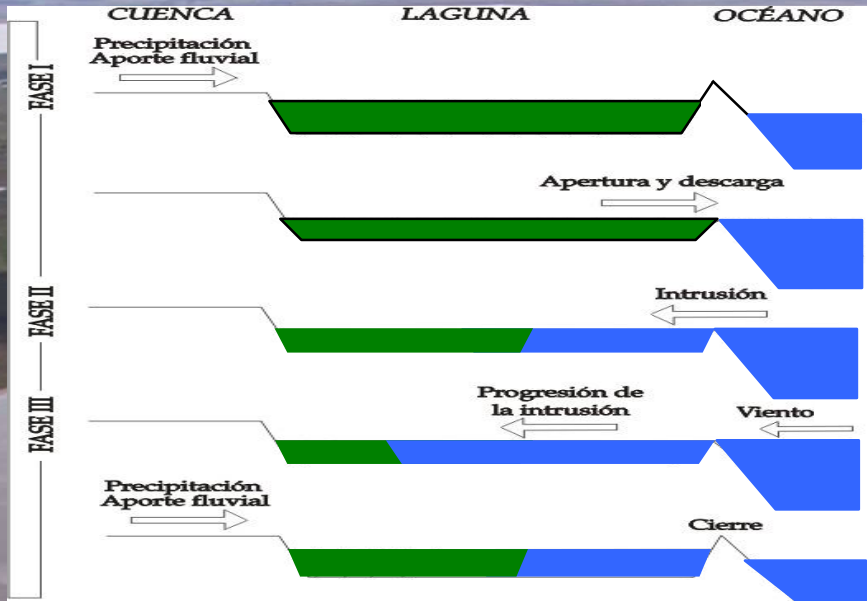
Producción agropecuaria

Vegetación riparia

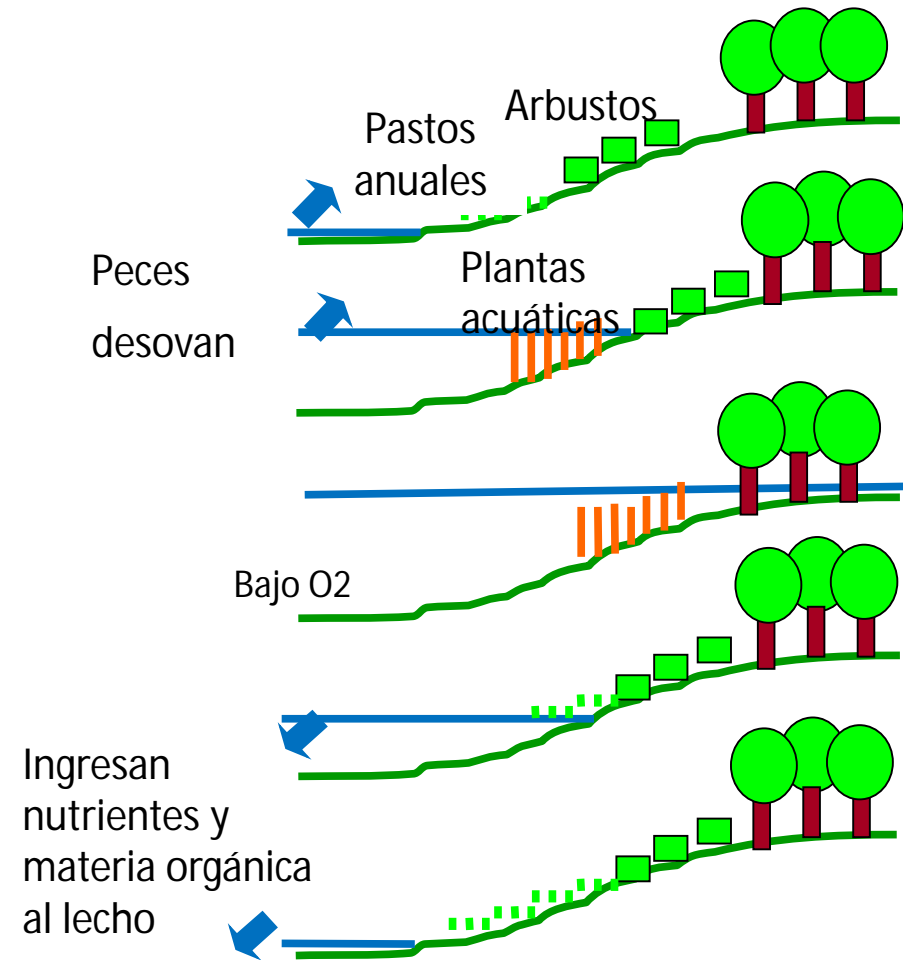
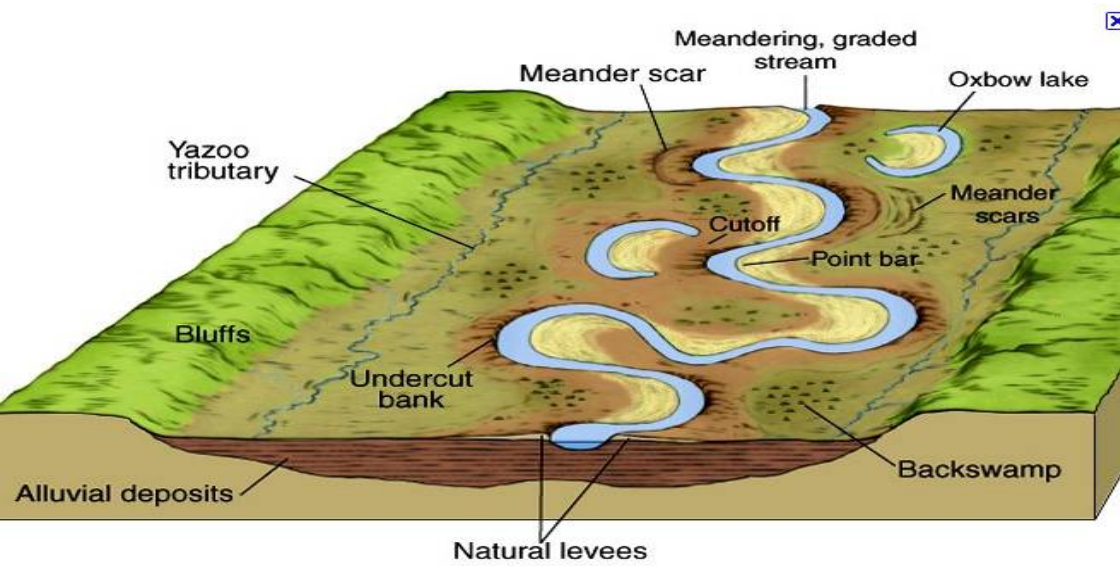
Nitrógeno  
Fósforo  
Materia orgánica



# Laguna de Rocha en funcionamiento: Procesos físicos – intercambio de agua



# Pulsos de inundación



## Zona de transición