

Subunidad 3.1 Equilibrio en los Ecosistemas

El **equilibrio ecológico** de un ecosistema, es un estado **dinámico** de relativa estabilidad que caracteriza a los ecosistemas cuando las interacciones entre los factores bióticos (seres vivos) y abióticos (clima, nutrientes, energía, etc.) permiten el **funcionamiento, persistencia y autorregulación** del sistema en el tiempo.

¿Cuándo se observa el equilibrio de un ecosistema?

- a) Estabilidad poblacional:** las poblaciones de distintas especies oscilan alrededor de una media sin colapsar ni desbordarse (por ejemplo, relaciones depredador-presa que se autorregulan).
- b) Ciclos biogeoquímicos funcionales:** como los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo, que aseguran la disponibilidad continua de nutrientes esenciales.
- c) Diversidad ecológica:** una alta biodiversidad tiende a incrementar la estabilidad funcional del ecosistema, al permitir redundancia funcional entre especies.

Subunidad 3.1 Equilibrio en los Ecosistemas

Alteración del equilibrio ecológico de un ecosistema

El equilibrio ecológico de un ecosistémico es un proceso **dinámico** que puede ser alterado por factores naturales (eventos climáticos extremos, erupciones volcánicas) o antrópicos (deforestación, contaminación, cambio climático), puede **autorregularse** mediante **retroalimentaciones negativas** que amortiguan perturbaciones internas o externas, pero puede romperse este equilibrio cuando predominan **retroalimentaciones positivas**, que llevan al sistema a un nuevo régimen ecológico.

Definición de retroalimentación negativa o de autorregulación

- Una **retroalimentación negativa** es un mecanismo de **autorregulación** en el cual **una desviación de un estado de equilibrio provoca respuestas que tienden a contrarrestar esa desviación**, llevando al sistema de vuelta a su estado original, estabilizando al ecosistema.
- Actúan como **mecanismos de control interno** que estabilizan poblaciones, flujos de nutrientes, y energía. Estos mecanismos permiten que el sistema **resista perturbaciones** y no entre en colapso

Subunidad 3.1 Equilibrio en los Ecosistemas

Ejemplo de retroalimentación negativa: Relación depredadora–presa

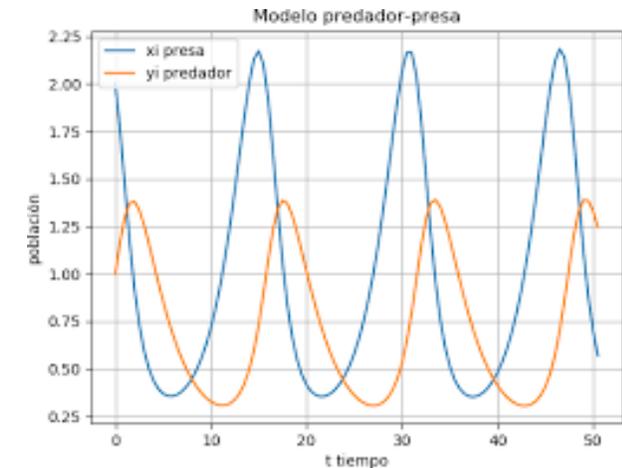
Ejemplo 1: Ecosistema: Sabana africana (Presas: antílopes; Depredadores: leones)

Proceso:

- Si la población de **antílopes aumenta**, hay más alimento disponible para los leones.
- Esto permite que **aumente la población de leones** (más crías sobreviven).
- Con más depredadores, **disminuye la población de antílopes** (mayor presión de caza).
- Al bajar las presas, los leones **tienen menos alimento**, y su población también baja.
- Esto **reduce la presión sobre los antílopes**, que pueden recuperarse

Resultado:

- El sistema se **autorregula**: si un componente se desvía demasiado, se activa una respuesta que lo **devuelve al equilibrio**.
- Este ciclo es una **retroalimentación negativa**: el aumento excesivo de una población activa mecanismos naturales que reducen ese aumento y devuelven el sistema hacia un estado de equilibrio.



Subunidad 3.1 Equilibrio en los Ecosistemas

Retroalimentación positiva. - Es un proceso en el que la respuesta del ecosistema amplifica el cambio inicial, provocando un efecto en cadena que puede desestabilizar el sistema.

Retroalimentación positiva = *amplificación del cambio*

Cuando un ecosistema **pierde su equilibrio**, pueden activarse **retroalimentaciones positivas**, donde los cambios **se amplifican**, acelerando la degradación del sistema. Esto puede llevar a **cambios de estado** o **transiciones de fase** ecológicas.

Ejemplo ecológico: En un ecosistema seco:

- La **deforestación** reduce la cobertura vegetal.
- Esto provoca **mayor erosión del suelo** y pérdida de nutrientes.
- Lo que impide el crecimiento de nuevas plantas.
- Esto **acelera la desertificación**.

Resultado: se crea un ciclo de retroalimentación que agrava el problema. El cambio se **amplifica** y el ecosistema **pierde su equilibrio**.

Función:

- **Desestabiliza** o transforma el ecosistema.



Ley del Rango de Tolerancia de Shelford

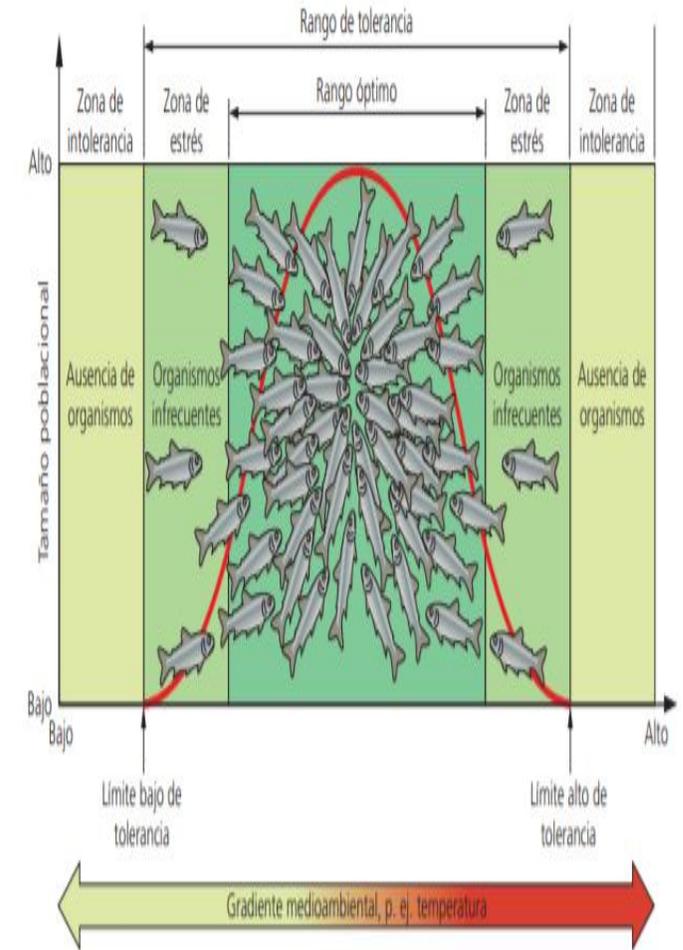
Cada organismo tiene un rango de tolerancia para cada factor ambiental (temperatura, pH, salinidad, luz, oxígeno, etc.), y **fuera de ese rango no puede sobrevivir, crecer o reproducirse.**

Componentes del Rango de Tolerancia

En este gráfico en forma de campana (curva normal) para cada factor ambiental. Tiene:

- **Zona de estrés mínimo:** Condiciones ambientales demasiado bajas.
- **Zona óptima:** Rango ideal donde el organismo prospera.
- **Zona de estrés máximo:** Condiciones demasiado altas.
- **Zonas de intolerancia (mínimo y máximo absoluto):** El organismo no puede sobrevivir.

■ **Figura 14.1**
Gráfico que muestra un modelo de zonas de estrés y límites de tolerancia



Ley del Rango de Tolerancia de Shelford

Ejemplo 1: Temperatura en Peces de Agua Dulce: Supongamos que un pez de agua dulce, como la trucha, tiene:

- **Rango de tolerancia térmica:** 4 °C a 24 °C; **Rango óptimo:** 10 °C a 18 °C

Temperatura	Efecto
< 4 °C o > 24 °C	Muerte (fuera del rango de tolerancia)
4 °C – 10 °C o 18 °C – 24 °C	Estrés (reducción en metabolismo, crecimiento lento)
10 °C – 18 °C	Condiciones óptimas (máximo crecimiento y reproducción)

→ Si una represa eleva la temperatura a 26 °C, la trucha probablemente desaparecerá de esa zona.

Importancia Ecológica

- Distribución geográfica:** Explica por qué ciertas especies están presentes en unas regiones y ausentes en otras.
- Impacto del cambio climático:** Si un factor cambia (p. ej. temperatura), puede alejarse del rango de tolerancia de una especie.
- Restauración ecológica:** Permite seleccionar especies adecuadas para condiciones ambientales específicas.

Tipos de especies según su rango de tolerancia o valencia ecológica

Las especies se dividen principalmente en dos grupos:

a) Especies eurioicas: *Amplio rango de tolerancia ambiental.*- Estas especies pueden sobrevivir y desarrollarse en una **gran variedad de condiciones ambientales.**

- Tienen alta capacidad de adaptación.
- Suelen tener amplia distribución geográfica.
- Son más resistentes a cambios ambientales o perturbaciones.

Ejemplo general:

- **La cucaracha común** puede vivir en distintos climas, niveles de humedad y hábitats humanos.
- **El salmón** tolera tanto agua dulce como salada (eurihalino).

b) Especies estenoicas: *Estrecho rango de tolerancia ambiental.*- Estas especies solo pueden vivir en condiciones ambientales **muy específicas y limitadas.**

- Son sensibles a los cambios.
- Tienen distribución restringida.
- Son indicadores ecológicos y más vulnerables a la extinción.

Ejemplo general:

- **El coral tropical** solo vive en aguas cálidas y claras con temperaturas entre 23–29 °C.
- **El panda gigante** solo se alimenta de ciertas especies de bambú.

Tipos de especies según su rango de tolerancia o valencia ecológica

Se subdividen según el factor específico al que son tolerantes

Subtipo	Definición	Ejemplo
Euritermas	Toleran un amplio rango de temperaturas	Ratas, cucarachas
Eurihalinas	Toleran una amplia gama de salinidades	Salmón, tilapia
Eurihigros	Toleran distintos niveles de humedad	Helechos, algunos insectos
Estenotermas	Solo toleran un pequeño rango térmico	Coral tropical
Estenohalinas	Solo toleran un nivel específico de sal	Peces de agua dulce como la trucha
Estenohigros	Necesitan humedad muy específica	Musgos, orquídeas epífitas

Importancia ecológica

- Las **especies eurioicas** suelen colonizar nuevos ambientes y resistir impactos (como especies invasoras).
- Las **especies estenoicas** son **bioindicadores** (por ejemplo, si desaparecen puede ser señal de contaminación o cambio climático).
- Comprender el rango de tolerancia o valencia ecológica ayuda en **conservación, reforestación, planificación ambiental, y gestión de ecosistemas.**

Definición de bioindicadores

Organismo vivo (planta, animal, hongo etc.) que **refleja la calidad o las condiciones del medio ambiente** en el que vive. Informa **si el aire, el agua o el suelo están limpios o contaminados**, al observar si ese ser vivo **está presente, ausente, o cambia** (por ejemplo, enferma, muere, cambia de color, etc.).

Las especies estenoicas son ideales como bioindicadores; porque:

- Son sensibles a contaminantes o cambios físicos/químicos.
- Reaccionan antes que otros organismos más resistentes.
- Indican contaminación, cambio climático, acidez, oxígeno, etc.

Estos bioindicadores son utilizados para detectar:

- Contaminación del aire, agua o suelo
- Cambios en la temperatura o el clima
- Pérdida de biodiversidad
- Impactos de actividades humanas (agricultura, industria, minería, etc.)

Ejemplo de uso de bioindicadores

Ejemplo práctico 3: Evaluación de la calidad del agua en un río usando macroinvertebrados acuáticos

Contexto: Un grupo de estudiantes de ecología, quiere determinar si el río “Chibunga”, que atraviesa una zona agrícola y una urbana, presenta contaminación por actividades humanas.

Objetivo:

Usar macroinvertebrados acuáticos (bioindicadores) para evaluar la calidad ecológica del agua en tres puntos del río:

Zona alta (fuente)

Zona media (cerca de cultivos)

Zona baja (zona urbana e industrial)

¿Qué son los macroinvertebrados?

Son pequeños animales sin columna vertebral que viven en el agua, como:

Insectos (efemerópteros, plecópteros, tricópteros)

Moluscos

Crustáceos

Gusanos acuáticos

Algunos son **estenoícos**, muy sensibles a la contaminación, y otros **resistentes**, lo que permite hacer un diagnóstico ambiental

Ejemplo de uso de bioindicadores

Metodología resumida:

1. Se toma una muestra de agua y macroinvertebrados con una red en cada punto.
2. Se identifican los grupos presentes y su abundancia.
3. Se clasifica cada grupo según su sensibilidad a la contaminación.
4. Se aplica un índice biológico, por ejemplo, el **Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)** o el **Índice de Diversidad de Shannon**.

Resultados simplificados:

Zona	Grupos dominantes observados	Evaluación
Alta	Plecópteros, efemerópteros, tricópteros (EPT) – muy sensibles	Agua limpia (sin contaminación)
Media	Presencia de efemerópteros, larvas de quironómidos (moderadamente tolerantes)	Agua medianamente contaminada (impacto agrícola)
Baja	Solo quironómidos, oligoquetos y caracoles pulmonados (muy tolerantes)	Agua contaminada (impacto urbano e industrial)

Ejemplo de uso de bioindicadores

Conclusión del caso

El río **Claro** muestra una **gradiente de contaminación** desde la zona alta (natural y limpia) hasta la zona baja (urbana y contaminada).

Gracias al uso de **bioindicadores estenoícos**, como los **efemerópteros** y **plecópteros**, se puede detectar rápidamente la **presencia de contaminantes** sin necesidad de instrumentos costosos.

Se recomienda actuar en la zona media y baja para reducir los impactos agrícolas y urbanos (manejo de fertilizantes, tratamiento de aguas residuales, reforestación de riberas).

Aplicación real:

Este tipo de análisis se usa en: Estudios de impacto ambiental (EIA)

Ejemplo 2: Ejemplo 1: Lombrices de tierra

Aplicación: Evaluar fertilidad del suelo y contaminación por pesticidas o metales.

¿Cómo funcionan?

Las lombrices son muy sensibles al **pH extremo**, **metales pesados** y **pesticidas**.

Se analiza su número, biomasa o comportamiento.

Resultado:

Un suelo agrícola con residuos de pesticidas muestra **ausencia de lombrices** y acumulación de materia orgánica sin descomponer → **Contaminación química del suelo**.

La Ley del Mínimo de Liebig

Establece que “El crecimiento de una planta (o el rendimiento de un organismo) está limitado por el nutriente esencial que se encuentra en menor disponibilidad en relación con sus necesidades, aunque todos los demás estén en niveles óptimos.

En ecología, la **Ley del Mínimo de Liebig** ayuda a explicar que una especie **no prospera en un ecosistema si al menos un factor esencial está fuera del rango necesario, aunque todo lo demás esté bien. La especie falla no porque todo esté mal, sino porque falta 1 factor clave.**

Ejemplo 2: En Acuicultura

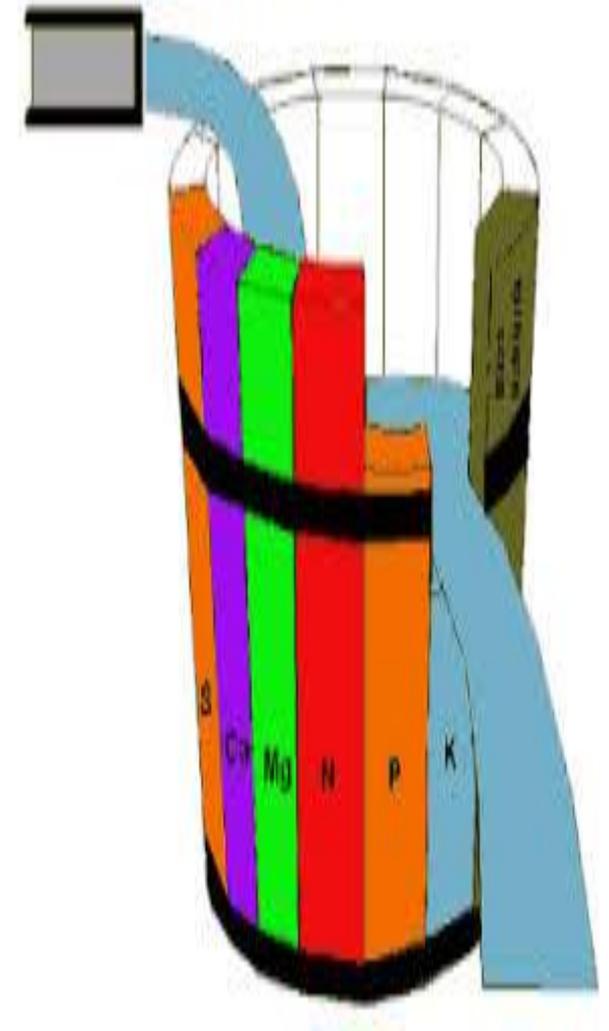
En una piscigranja:

Los peces tienen alimento, oxígeno, temperatura adecuada...

Pero la concentración de oxígeno disuelto cae por debajo del nivel crítico debido a exceso de materia orgánica.

Resultado: disminuye el crecimiento, aumenta el estrés y se generan enfermedades.

El **oxígeno** es el **factor limitante**



PERTURBACIONES: DEFINICIÓN Y TIPOS

Es cualquier *evento o proceso que causa una alteración significativa en la estructura, composición o funcionamiento de un ecosistema*. Estas alteraciones pueden ser tanto **naturales** como **inducidas** por actividades humanas, y su impacto puede variar en intensidad, duración y extensión.

Tipos comunes de perturbaciones.- las perturbaciones se clasifican según su **origen, frecuencia, intensidad y escala espacial o temporal**.

1. Según su origen

a) Naturales. - Son causadas por fenómenos propios del medio ambiente y forman parte de los ciclos ecológicos.

- Incendios forestales naturales
- Tormentas, huracanes o tornados
- Inundaciones o sequías
- Erupciones volcánicas
- Plagas o enfermedades naturales
- Caída de rayos, aludes, avalanchas

PERTURBACIONES: TIPOS DE PERTURBACIONES

b) Antrópicas (causadas por el ser humano). - Proviene de actividades humanas que alteran los ecosistemas.

- Deforestación
- Contaminación (agua, aire, suelo)
- Urbanización y expansión agrícola
- Sobreexplotación de recursos naturales
- Cambio climático inducido
- Introducción de especies exóticas o invasoras
- **Construcción de represas y canales**

2. Según su duración (temporalidad)

a) Agudas: evento **repentino, de alta intensidad y corta duración**, provoca un **cambio inmediato y drástico** en el ecosistema; puede ser **natural o antrópica, más comunes en procesos naturales**. Aunque **intensas y visibles**, pueden regenerarse relativamente rápido (ej. bosques adaptados al fuego). Como

- Incendios Forestales
- Tormentas intensas o Severas,
- Erupciones volcánicas
- Derrames tóxicos masivos

PERTURBACIONES: TIPOS DE PERTURBACIONES

Impacto en el ecosistema: Causa destrucción rápida de hábitats (ej. incendios, huracanes). Puede provocar pérdida masiva de especies o alteraciones en la estructura del ecosistema. A menudo desencadena **una rápida respuesta adaptativa o regenerativa**.

b) Crónicas: Alteraciones que se desarrollan lentamente a lo largo del tiempo. De larga duración o permanentes; efecto acumulativo o persistente, como:

- Fragmentación del hábitat
- Contaminación continua,
- Sobrepastoreo,
- Calentamiento global.

Las perturbaciones **crónicas son de origen antrópico, y** suelen ser más destructiva. Por las siguientes causas:

- **Erosiona la resiliencia ecológica lentamente:** Al ocurrir de manera constante y prolongada (por ejemplo, deforestación, contaminación del suelo, cambio climático), debilita las funciones ecológicas fundamentales sin dar tiempo a la regeneración.
- **Genera daño acumulativo:** La acumulación de pequeños impactos (como contaminantes en el agua o pérdida de cobertura vegetal) termina provocando colapsos ecológicos.
- **Difícil de detectar y revertir:** A menudo no se percibe hasta que el daño es irreversible. Por ejemplo, la **desertificación** avanza lentamente, pero tiene consecuencias graves sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.
- **Afecta la estructura y función del ecosistema:** destruye **todo el sistema ecológico funcional**.

PERTURBACIONES: TIPOS DE PERTURBACIONES

3. Según su frecuencia e intensidad

- **Frecuentes y leves.** - Ocurren regularmente, con menor impacto; los ecosistemas pueden adaptarse.
 - Inundaciones estacionales,
 - incendios de baja intensidad.
- **Infrecuentes y severas.** - Sucesos raros, pero con gran capacidad destructiva o transformadora.
 - Tsunamis,
 - huracanes catastróficos,
 - talas masivas.

4. Según su escala espacial

- **Locales.** - Afectan una zona o ecosistema específico.
 - Tala en un bosque,
 - derrame de petróleo.
- **Regionales o globales.** - Tienen gran cobertura territorial o afectan múltiples ecosistemas.
 - Desertificación,
 - cambio climático,
 - lluvia ácida.

EJEMPLOS DE PERTURBACIONES

Ej. 1. Degradación del Páramo de Papallacta por expansión ganadera y construcción de infraestructura vial

Contexto:

En los últimos años, el ecosistema de páramo alto andino en la zona de Papallacta (Ecuador) ha experimentado una acelerada transformación debido a la construcción de carreteras, la ampliación de redes eléctricas y el crecimiento de la frontera ganadera, lo que ha reducido la cobertura de vegetación nativa como los pajonales y almohadillas, afectando los servicios ecosistémicos que ofrece este sistema, en especial la regulación hídrica.

Indicaciones: Analice el caso y responda:

1. ¿Qué tipo(s) de perturbación(es) puede identificar en este ecosistema?
2. ¿Son de origen natural o antrópico?
3. ¿Se trata de una perturbación aguda o crónica? ¿Por qué?
4. ¿Qué consecuencias ecológicas podrían generarse a corto y largo plazo?
5. ¿Qué medidas de manejo o restauración recomendaría para recuperar el equilibrio ecológico?

EJEMPLOS DE PERTURBACIONES

Análisis - respuesta: Páramo de Papallacta

Criterio de análisis	Respuesta
Tipo de perturbación	Degradación del ecosistema de páramo
Origen	Antrópico (expansión ganadera y obras viales)
Clasificación temporal	Crónica (impacto persistente y acumulativo)
Según su frecuencia e intensidad	Frecuente y de intensidad moderada a alta (constante intervención humana que genera alteración progresiva del ecosistema)
Según su escala espacial	Regional o localizada a gran escala (afecta extensas zonas del páramo andino, que cumplen funciones hidrológicas regionales)
Efectos ecológicos	Reducción de biodiversidad, compactación y erosión del suelo, pérdida de vegetación nativa, alteración del ciclo hidrológico
Efectos sociales	Disminución de disponibilidad de agua potable, conflictos por uso del suelo, afectación a comunidades que dependen del páramo
Medidas recomendadas	Zonificación ecológica, control de la carga ganadera, restauración con especies nativas, protección legal y participación comunitaria

IMPORTANCIA DE LAS PERTURBACIONES

A menudo se perciben como eventos destructivos. Su importancia radica en su capacidad para **modificar, regenerar y regular** la vida en la Tierra. Así:

1. Favorecen la regeneración ecológica

- Las perturbaciones **eliminan organismos dominantes** y permiten el establecimiento de **nuevas especies**.
- Inician procesos de **sucesión ecológica**, en los que el ecosistema se reorganiza y renueva.

Ejemplo: Incendios naturales que permiten germinación de especies adaptadas al fuego.

2. Mantienen la biodiversidad

- **Crean heterogeneidad espacial:** mosaicos de hábitats en distintos estados de desarrollo. Los mosaicos ecológicos reflejan la **heterogeneidad espacial** del paisaje, es decir, la diversidad de hábitats o coberturas en un área determinada.
- **Impiden que una sola especie domine**, favoreciendo la **coexistencia**. *Ejemplo:* Inundaciones periódicas que renuevan hábitats en llanuras aluviales.

3. Regulan las poblaciones

- Controlan especies que podrían crecer sin límites.
- Promueven el **equilibrio trófico** entre productores, consumidores y descomponedores.

Ejemplo: Un brote de enfermedades naturales que limita poblaciones densas de herbívoros.

IMPORTANCIA DE LAS PERTURBACIONES

4. Impulsan la evolución

- Generan **presión selectiva**: las especies mejor adaptadas a sobrevivir a la perturbación tienen más probabilidad de reproducirse.
- Fomentan la **diversificación genética** y la aparición de nuevas adaptaciones.

Ejemplo: Fauna adaptada a ambientes extremos tras glaciaciones o erupciones.

5. Redistribuyen recursos

- A través de procesos como el fuego, el viento o los derrumbes, **movilizan nutrientes y materiales**.
- Esto estimula la fertilidad del suelo y el crecimiento de nuevas especies.
- *Ejemplo:* Un derrumbe que enriquece con minerales un valle agrícola.

6. Ponen a prueba la resiliencia ecosistémica

- Revelan la **capacidad de un ecosistema para recuperarse** o transformarse frente a disturbios.
- Esto es clave para la **gestión ambiental y conservación**.

Ejemplo: Manglares que resisten huracanes y recuperan su estructura en poco tiempo.

La homeostasis del ecosistema

Es la **capacidad de autorregulación** que tienen los ecosistemas para **mantener un equilibrio dinámico** entre sus componentes bióticos (seres vivos) y abióticos (como el clima, el agua y el suelo), frente a cambios internos o externos. Esta estabilidad permite que el ecosistema **conservé su estructura, composición y funciones ecológicas esenciales** a pesar de perturbaciones naturales o antrópicas.

¿Cómo se produce la homeostasis en un ecosistema?

La homeostasis se logra gracias a una serie de **mecanismos de retroalimentación y regulación natural**:

- 1) **Retroalimentación negativa.** - mecanismo de **autorregulación** en el que la respuesta del ecosistema **reduce o contrarresta el cambio inicial**, ayudando a **mantener la estabilidad (homeostasis)**. Es el mecanismo principal que **corrige los desequilibrios**. Si una población crece demasiado, escasean los recursos (agua, alimento), lo que reduce la natalidad o aumenta la mortalidad, restableciendo el equilibrio.
- 2) **Interacciones entre especies.**- Las relaciones tróficas (depredación, competencia, simbiosis) ayudan a **modular el tamaño de las poblaciones** y a mantener el equilibrio del ecosistema.

Ejemplo: Si desaparece un depredador, su presa podría proliferar en exceso y agotar los recursos, alterando la estabilidad.

3) Ciclos biogeoquímicos cerrados

- Ecosistemas sanos reciclan la materia (agua, carbono, nitrógeno) mediante **procesos biológicos, físicos y químicos**. Esto permite el **flujo eficiente de energía y nutrientes**, clave para la homeostasis

La homeostasis del ecosistema

Es la **capacidad de autorregulación** que tienen los ecosistemas para **mantener un equilibrio dinámico** entre sus componentes bióticos (seres vivos) y abióticos (como el clima, el agua y el suelo), frente a cambios internos o externos. Esta estabilidad permite que el ecosistema **conservé su estructura, composición y funciones ecológicas esenciales** a pesar de perturbaciones naturales o antrópicas.

¿Cómo se produce la homeostasis en un ecosistema?

La homeostasis se logra gracias a una serie de **mecanismos de retroalimentación y regulación natural**:

- 1) **Retroalimentación negativa.** - mecanismo de **autorregulación** en el que la respuesta del ecosistema **reduce o contrarresta el cambio inicial**, ayudando a **mantener la estabilidad (homeostasis)**. Es el mecanismo principal que **corrige los desequilibrios**. Si una población crece demasiado, escasean los recursos (agua, alimento), lo que reduce la natalidad o aumenta la mortalidad, restableciendo el equilibrio.
- 2) **Interacciones entre especies.**- Las relaciones tróficas (depredación, competencia, simbiosis) ayudan a **modular el tamaño de las poblaciones** y a mantener el equilibrio del ecosistema.

Ejemplo: Si desaparece un depredador, su presa podría proliferar en exceso y agotar los recursos, alterando la estabilidad.

3) Ciclos biogeoquímicos cerrados

- Ecosistemas sanos reciclan la materia (agua, carbono, nitrógeno) mediante **procesos biológicos, físicos y químicos**. Esto permite el **flujo eficiente de energía y nutrientes**, clave para la homeostasis

La homeostasis del ecosistema

Ejercicio 1: Homeostasis en un ecosistema acuático

Situación: En una laguna natural, se produce un aumento inusual de peces herbívoros (tilapias), lo que genera una rápida disminución de algas y plantas acuáticas. En las semanas siguientes, se observa una reducción de peces, y posteriormente, un aumento de vegetación.

Preguntas para análisis: y respuestas:

1. ¿Qué elemento del ecosistema actuó como **factor de regulación**?

R. La **disponibilidad de vegetación acuática** fue el factor regulador: al disminuir el alimento, la población de peces se redujo.

2. ¿Qué tipo de **retroalimentación** se produce (positiva o negativa)?

R. Retroalimentación negativa, ya que el sistema respondió a un cambio reduciendo el crecimiento de la población para restaurar el equilibrio.

3. ¿Este ecosistema mostró capacidad de **homeostasis**? Justifica tu respuesta.

R. Sí. A pesar de la perturbación, el ecosistema **recuperó el equilibrio** mediante un ajuste en las poblaciones y recursos disponibles

4. ¿Qué podría ocurrir si se introducen más peces de manera artificial?

R. Se rompería la homeostasis: habría **sobreexplotación de vegetación**, eutrofización, y pérdida de biodiversidad.

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

Definición.- “capacidad de dicho ecosistema para absorber perturbaciones, reorganizarse y continuar desarrollando sus funciones esenciales, estructura, identidad y retroalimentaciones luego de una alteración o cambio, pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma”.

Componentes claves de la resiliencia ecológica:

1. Umbral de cambio: Límite a partir del cual el ecosistema cambia de régimen o estado, pasando de un estado de equilibrio a otro completamente diferente en estructura, funciones y composición de especies.

Características del umbral ecológico:

- **No linealidad:** Los ecosistemas pueden absorber impactos hasta cierto punto. Sin embargo, cuando se supera el umbral, los cambios ya no son graduales, sino rápidos y drásticos.
- **Dificultad de retorno:** Una vez cruzado, el ecosistema puede no volver fácilmente a su estado anterior, incluso si se eliminan las causas de perturbación. Esto se conoce como histeresis.
- **Cambio de régimen:** El cruce del umbral lleva a un nuevo régimen ecológico con distinta dinámica, como el paso de: Bosque a sabana, Humedal a desierto, Coral saludable a zona dominada por algas

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

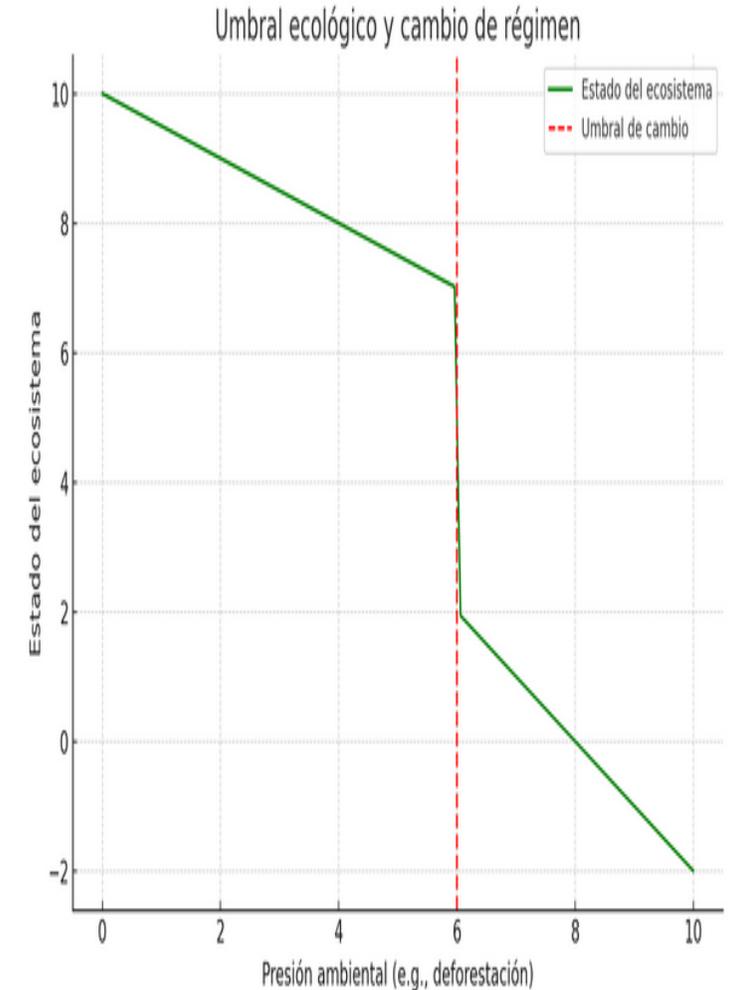
Definición.- “capacidad de dicho ecosistema para absorber perturbaciones, reorganizarse y continuar desarrollando sus funciones esenciales, estructura, identidad y retroalimentaciones luego de una alteración o cambio, pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma”.

Componentes claves de la resiliencia ecológica:

1. **Umbral de cambio:** Límite a partir del cual el ecosistema cambia de régimen o estado, pasando de un estado de equilibrio a otro completamente diferente en estructura, funciones y composición de especies.

Características del umbral ecológico:

- **No linealidad:** Los ecosistemas pueden absorber impactos hasta cierto punto. Sin embargo, cuando se supera el umbral, los cambios ya no son graduales, sino rápidos y drásticos.
- **Dificultad de retorno:** Una vez cruzado, el ecosistema puede no volver fácilmente a su estado anterior, incluso si se eliminan las causas de perturbación.
- **Cambio de régimen:** El cruce del umbral lleva a un nuevo régimen ecológico con distinta dinámica, como el paso de: Bosque a sabana, Humedal a desierto, Coral saludable a zona dominada por algas



RESILIENCIA-ECOLÓGICA

1. **Retroalimentaciones:** Positivas o negativas, controlan la dinámica del sistema y determinan su capacidad de recuperación.
2. **Redundancia funcional:** Es la *presencia de múltiples especies que desempeñan funciones ecológicas similares dentro de un ecosistema*. Aunque estas especies difieren taxonómicamente, *cumplen roles equivalentes en procesos como la polinización, descomposición, dispersión de semillas o fijación de nitrógeno*. *Esto aumenta la estabilidad del ecosistema; si una especie se extingue o disminuye, otra con función similar puede reemplazarla*.
3. **Memoria ecológica:** Es el conjunto de *componentes vivos (biológicos) y no vivos (estructurales y funcionales)* que *permanecen en un ecosistema tras una perturbación y que contribuyen a su capacidad de recuperación o adaptación*. Conservación de **elementos estructurales** (semillas, microorganismos, nutrientes) que **permiten la regeneración post-perturbación**. Estos componentes actúan como una *especie de "registro ecológico"* o reserva que **almacena información, recursos y mecanismos funcionales** necesarios para la regeneración.

¿Qué implica la resiliencia ecológica?

1. **Resistencia:** Capacidad del ecosistema para soportar una perturbación sin cambiar drásticamente.
2. **Recuperación:** Habilidad para volver a su estado original después del impacto (como después de un incendio, sequía o actividad humana).
3. **Adaptación:** Posibilidad de reorganizarse o transformarse para seguir funcionando, incluso si el estado anterior ya no es viable.

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

¿Qué afecta la resiliencia?

- ❑ **Diversidad biológica:** Cuanto mayor es la biodiversidad, más resiliente es el ecosistema.
- ❑ **Conectividad ecológica:** es el grado en que el ecosistema facilita o impide el **flujo biológico y ecológico** entre ecosistemas, y es esencial para mantener la **biodiversidad, la resiliencia ecológica y la funcionalidad de los ecosistemas**. Ecosistemas bien conectados permiten el movimiento de especies, lo que favorece la recuperación.
- ❑ **Presiones externas:** Contaminación, deforestación, cambio climático y urbanización pueden disminuir la resiliencia.
- ❑ **Frecuencia e intensidad de perturbaciones:** Cambios leves y esporádicos son más fáciles de superar que disturbios constantes o severos.

¿Qué es el intervalo de resiliencia?

- La **medición del intervalo de resiliencia** de un ecosistema se puede abordar desde una perspectiva **cuantitativa** utilizando **variables ecológicas representativas** (como cobertura vegetal, biomasa, riqueza de especies, concentración de oxígeno, etc.), y analizando **cómo varían antes y después de una perturbación**, dentro de un intervalo de tiempo específico.

Fórmula general: Resiliencia (R) = $\frac{V_{post}}{V_{pre}}$

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

Donde:

V_{pre} : valor de la variable ecológica antes de la perturbación

V_{post} : valor de la misma variable en un tiempo posterior a la perturbación

R: cociente que indica la **capacidad de recuperación o reorganización**

Si se considera el tiempo:

$$\text{Índice de resiliencia temporal (Rt)} = \frac{V_{post}}{V_{pre}} / \Delta t$$

Donde:

Δt : intervalo de tiempo transcurrido entre la perturbación y la medición posterior

Interpretación del valor del cociente:

- $R \approx 1$ → El ecosistema ha recuperado el valor original de la variable (alta resiliencia)
- $R < 1$ → La variable se mantiene por debajo del estado original (recuperación parcial o lenta)
- $R > 1$ → El ecosistema ha superado el valor anterior (potencial reorganización adaptativa o cambio de régimen)

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

Ejemplo aplicado:

- **Variable:** Cobertura vegetal (%)
- Antes del incendio: $V_{pre}=80\%V$
- Dos años después: $V_{post}=60\%V$

$$R = \frac{60}{80} = 0,75$$

Interpretación: El ecosistema ha recuperado el **75 %** de su cobertura original. Aún no ha alcanzado su estado inicial, pero muestra una **resiliencia parcial**.

Si además se conoce que la recuperación tardó **2 años**:

$$R = \frac{0,75}{2} = 0,375 \text{ (resiliencia por año)}$$

Ejemplo 1: Situación: Un lago de altura en la Sierra ecuatoriana ha recibido durante años nutrientes provenientes de aguas residuales agrícolas y domésticas. La acumulación de fósforo provocó floraciones algales masivas y pérdida de oxígeno (hipoxia). Varias especies de peces nativos desaparecieron.

Análisis por componentes:

- **Umbral de cambio:** Se superó el umbral de concentración de nutrientes (>0.03 mg/L de fósforo), lo que activó un **cambio de régimen:** de un lago oligotrófico (claro y oxigenado) a uno eutrófico (turbio, con baja biodiversidad).

RESILIENCIA-ECOLÓGICA

- **Retroalimentaciones:** Se activaron **retroalimentaciones positivas:** la alta productividad algal redujo la penetración de luz, lo que impidió el crecimiento de macrófitas, liberando más fósforo del sedimento → círculo vicioso.
- **Redundancia funcional:** Fue baja. La pérdida de peces filtradores (como *Astroblepus spp.*) no pudo ser compensada por otras especies, afectando la calidad del agua.
- **Memoria ecológica:** El sedimento contiene un banco de propágulos de plantas acuáticas y huevos de zooplancton; si se reduce la carga de nutrientes, podrían recolonizar y favorecer la recuperación.

Ejemplo 2: Fragmentación del bosque montano por carreteras

Situación: La construcción de carreteras fragmentó un bosque montano en la provincia de Tungurahua. Muchas especies de mamíferos medianos dejaron de cruzar entre fragmentos. Sin embargo, algunas aves y polinizadores lograron mantener cierta conectividad.

Analice los componentes:

- Umbral de cambio
- Retroalimentaciones
- Redundancia funcional
- Memoria ecológica

Sucesiones Ecológica

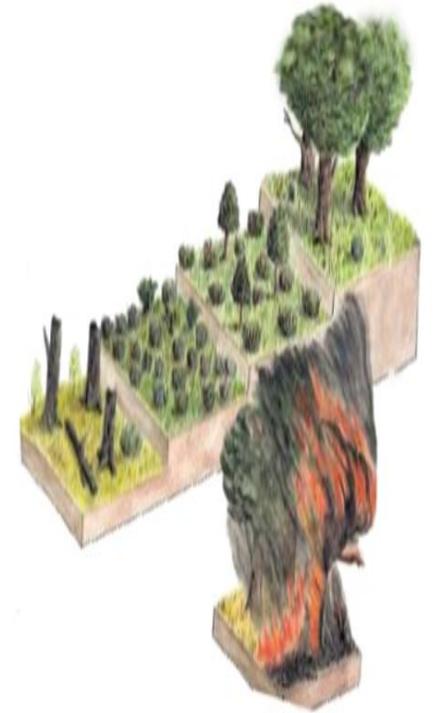
Es el proceso gradual y direccional de **cambio en la composición de especies, estructura comunitaria y funcionamiento ecológico** de un ecosistema a lo largo del tiempo, como respuesta a una perturbación o al desarrollo natural del ambiente.

Tipos de sucesión ecológica

1. **Sucesión primaria.** - Ocurre en un ambiente **donde no existía vida previamente** o donde el sustrato es completamente nuevo, como lava volcánica, dunas o rocas desnudas. **Ejemplo:** colonización de un campo de lava por líquenes, musgos, luego herbáceas y arbustos.
2. **Sucesión secundaria.** - Se da en áreas que **fueron previamente ocupadas por vida**, pero que han sido **alteradas o perturbadas**, como por incendios, tala, cultivos o inundaciones. **La sucesión ecológica secundaria permite alcanzar el clímax ecológico**, (aunque también puede ser la *sucesión primaria*, dependiendo del punto de partida).



Sucesión ecológica primaria



Sucesión ecológica secundaria

Etapas de la sucesión ecológica

Las sucesiones **primaria y secundaria** comparten fases similares, pero **inician desde contextos ecológicos diferentes**:

Etapa	Sucesión primaria	Sucesión secundaria
1. Colonización pionera	Colonización de sustratos sin vida (lava, roca, arena, glaciares).	Repoblación de áreas con suelo y restos biológicos (post incendio, tala, abandono agrícola).
2. Formación del suelo	Descomposición de líquenes, musgos y rocas → inicio del perfil edáfico.	El suelo ya existe: contiene banco de semillas, nutrientes y microorganismos.
3. Establecimiento vegetal	Plantas herbáceas resistentes, que retienen agua y enriquecen el suelo.	Malezas, gramíneas y arbustos pioneros se instalan rápidamente.
4. Desarrollo de comunidad	Aparecen arbustos y pequeños árboles, favorecidos por mayor retención hídrica.	Progresiva diversificación vegetal y faunística: competencia por luz y nutrientes.
5. Madurez o clímax ecológico	Ecosistema estable con alta biodiversidad, estructura compleja y redes tróficas completas.	Similar al clímax primario, pero alcanzado en menor tiempo debido a condiciones previas.

Etapas de la sucesión ecológica

Beneficios de las sucesiones ecológicas

1. Restauración natural de ecosistemas perturbados
2. Mejora del suelo y formación de sustratos fértiles
3. Aumento de la biodiversidad
4. Reactivación de procesos ecológicos clave: Regulan funciones como:
 - Captura de carbono
 - Filtración de agua
 - Control de erosión
 - Ciclo hidrológico y energético
5. Contribuyen a la resiliencia ecológica, al permitir que el ecosistema se reorganice después de una perturbación.
6. Soporte para la resiliencia y memoria ecológica
7. Servicios ecosistémicos para el ser humano

Sucesiones Ecológica

Comparación temporal

- **Primaria:** puede tardar **siglos** (formación de suelo + colonización lenta).
- **Secundaria:** puede tardar **décadas o menos**, dependiendo del grado de perturbación

Ejemplo 1: CASO 1: Sucesión en campo de lava – Islas Galápagos

Situación:

Tras la erupción del volcán Sierra Negra, una extensa área quedó cubierta por lava estéril. Cinco años después se observan líquenes y pequeñas plantas en fisuras de la roca volcánica.

Pregunta para el estudiante:

Identifica el tipo de sucesión ecológica, describe las etapas iniciales observadas y explica por qué el proceso es lento.

Respuesta esperada:

- Tipo de sucesión: **Sucesión primaria**
- Etapas observadas: **Colonización pionera** (líquenes y musgos) → **inicio de formación de suelo**
- Motivo de lentitud: No hay suelo ni nutrientes disponibles al inicio; el ecosistema se construye desde cero, lo que requiere siglos.

Clímax ecológico

Definición: es la **fase final de una sucesión ecológica** en la que la comunidad biológica ha alcanzado una composición de especies relativamente **estable, autosostenible y adaptada a las condiciones ambientales locales**, manteniéndose en equilibrio mientras no ocurra una perturbación significativa.

Características del Clímax Ecológico

- 1. Estabilidad estructural.** Es la capacidad del ecosistema maduro para **mantener su organización espacial y funcional**, como la disposición en capas (estratificación) de árboles, arbustos y herbáceas, sin cambios significativos en el tiempo.
 - **Ejemplo:** Un bosque tropical con dosel alto, sotobosque y una red de raíces bien establecida.
- 2. Alta biodiversidad.** - Presencia de una **gran variedad de especies** (plantas, animales, hongos, microorganismos) que **coexisten y se interrelacionan** de forma equilibrada.
- 3. Flujo energético eficiente.** - La energía captada por los productores (plantas) se transfiere de forma **más estable y aprovechada** a través de las cadenas tróficas, con **menores pérdidas** que en etapas tempranas de sucesión. La productividad neta tiende a igualar el consumo.
- 4. Ciclos cerrados de materia.** - Los nutrientes (nitrógeno, fósforo, carbono) se **reciclan internamente** en el ecosistema entre plantas, animales, hongos y descomponedores, con **mínima dependencia del exterior**. El sistema es autosuficiente en términos de materia.

Clímax ecológico

5. **Alta biomasa.** - Cantidad total de materia orgánica (viva y muerta) *acumulada* en el ecosistema, tanto en forma vegetal como animal. Refleja el *alto desarrollo estructural* del ecosistema. Ejemplo: Árboles grandes, suelo rico en humus, hojarasca espesa.
6. **Poca variabilidad temporal.** - El ecosistema muestra pocos cambios importantes en su composición y estructura a lo largo del tiempo, siempre que no sufra perturbaciones mayores.
7. **Alta resistencia y resiliencia**
 - **Resistencia:** Capacidad para **soportar** perturbaciones (sequías, plagas, incendios menores) sin perder su funcionalidad.
 - **Resiliencia:** Capacidad para **recuperarse rápidamente** tras una alteración. *Esto lo diferencia de ecosistemas inmaduros más vulnerables.*
8. **Especialización biológica.** - Las especies del clímax están **altamente adaptadas a condiciones estables y específicas**, y presentan **nichos ecológicos estrechos**.

Tipos de Clímax Ecológicos

Se clasifican en función de distintos **criterios ecológicos**, como el **factor limitante dominante**, la **influencia del clima**, y la **persistencia de ciertas especies**.

Clímax ecológico

1. Clímax climático.- Tipo de clímax determinado por el **clima regional** (precipitación, temperatura, humedad).

Ejemplo: Selva tropical en zonas cálidas y húmedas; bosque templado en zonas frías.

2. Clímax edáfico.- El máximo estado ecológico alcanzable a pesar del clima, **condicionado por las características del suelo** (salinidad, acidez, compactación, drenaje, profundidad) más que por el clima. **Ejemplo:** Vegetación de matorrales en suelos salinos; páramos en suelos mal drenados.

3. Clímax topográfico.- es el estado estable máximo que puede alcanzar una comunidad vegetal determinada por las condiciones del relieve, y no por el clima general ni por restricciones del suelo. Condicionado por el **relieve** (pendiente, orientación, altitud), que modifica el microclima y disponibilidad de agua/luz, determina diferencias microclimáticas significativas: Insolación, Humedad, Temperatura local.

Ejemplo: Bosques en laderas umbrías (partes de una montaña que, por su orientación, reciben menos luz solar que otras) versus pastizales en laderas soleadas dentro de la misma región.

4. Clímax hidrográfico.- Determinado por la **disponibilidad o régimen del agua**, como humedad excesiva o escasez.

Ejemplo: Humedales permanentes, manglares o turberas que se estabilizan por inundaciones o saturación.

5. Clímax biótico.- Regulaciones y límites son impuestos por la **acción de organismos vivos**, como el pastoreo intensivo de animales. Mantenido por la actividad de los organismos vivos, en este caso, por la herbivoría intensiva.

Ejemplo: Praderas mantenidas por la actividad de herbívoros grandes (como bisontes o ciervos).

Clímax ecológico

5. Clímax biótico.- Regulaciones y límites son impuestos por la **acción de organismos vivos**, como el pastoreo intensivo de animales. Mantenido por la actividad de los organismos vivos, en este caso, por la herbivoría intensiva.

Ejemplo: Praderas mantenidas por la actividad de herbívoros grandes (como bisontes o ciervos).

6. Clímax de fuego (piroclímax).- Estado estable que se mantiene debido a **perturbaciones periódicas por fuego**, naturales o humanas. **Ejemplo:** En una sabana, los incendios naturales ocurren con frecuencia y evitan que se desarrolle un bosque cerrado.

7. Clímax poliserial o mosaico.- Estado final no es único, sino un **mosaico de comunidades clímax diferentes**, debido a variabilidad de condiciones locales. **Ejemplo:** En una región puede haber coexistencia de matorrales, bosques y humedales como clímax válidos en distintos sectores.

8. Clímax disclímax.- Estado estable mantenido por la **acción humana continua**, que reemplaza al clímax natural.

Importancia: El ecosistema está en equilibrio, pero es un equilibrio **artificialmente inducido**. Es un estado clímax **dependiente y sostenido por intervención humana** continua (agricultura, pastoreo, deforestación).

Ejemplo: Pastizales mantenidos por agricultura o ganadería que no evolucionan hacia bosques.

Clímax ecológico

Ejemplo 1: CLÍMAX EDÁFICO

En una zona costera con clima templado húmedo, los suelos son extremadamente arenosos y salinos. La vegetación está dominada por halófitas y gramíneas adaptadas, sin presencia de árboles, a pesar de que el clima permitiría su crecimiento.

Preguntas:

¿Qué tipo de clímax se ha establecido?

¿Qué factor limita la sucesión hacia un bosque?

¿Qué nombre recibe este tipo de clímax y por qué?

Respuestas:

- Clímax edáfico.
- Las **condiciones del suelo** (salinidad y textura arenosa) impiden el desarrollo de vegetación arbórea.
- Se trata de un **clímax determinado por el suelo**, ya que, aunque el clima permitiría una sucesión hacia el bosque, el factor limitante es edáfico.