

# TEMA 1. MEDIO AMBIENTE Y TEORÍA DE SISTEMAS.

## 1. Concepto de medio ambiente.

La definición más aceptada de medio ambiente es la que se dio en La Conferencia de las Naciones Unidas (Estocolmo, 1972).

“Es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales, capaces de afectar de forma directa o indirecta, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”.

Rellena la tabla con más ejemplos:

Componentes físicos	Componentes químicos	Componentes biológicos	Componentes sociales	Afecta de forma directa	Afecta de forma indirecta	Afecta a corto plazo	Afecta a largo plazo
Agua	Salinidad del suelo o agua	Vegetales	Dinero	El exceso de lluvia puede provocar inundaciones	Tras las inundaciones suelen aparecer enfermedades	La contaminación irrita las vías respiratorias	La lluvia ácida va destruyendo lentamente bosques, lagos, monumentos...

## 2. Enfoque interdisciplinar de las ciencias ambientales.

### 2.1 Relación del Medio Ambiente con otras disciplinas (Física, Química, Matemáticas, Ecología, Economía, Geología...)

Debido a la propia naturaleza del objeto de estudio de las Ciencias Ambientales (componentes físico-químicos, biológicos y sociales), las Ciencias Ambientales constituyen una disciplina de síntesis que integra las aportaciones parciales de diferentes disciplinas, entre las que destacan las ciencias naturales (Biología, Geología, Física y Química) junto con otras pertenecientes a las ciencias sociales (Economía, Derecho, Ingeniería, Arquitectura, Historia...), y es de vital importancia unificar los conocimientos de todas estas disciplinas, ya que los componentes del medio ambiente físico-químicos (atmósfera, hidrosfera, geosfera), biológicos (seres vivos o biosfera) y sociales (la humanidad o antroposfera) interactúan unos con otros, de forma que cualquier intervención en el medio arrastra repercusiones sobre todos los componentes del medio. Así por

ejemplo: la tala de árboles para obtener dinero, muebles, trabajo... (componentes sociales), tiene entre otras repercusiones: la disminución de la fauna (componente biológico), el aumento de la erosión, el aumento del CO<sub>2</sub>, disminución de la humedad, aumento del riesgo de inundaciones... (componentes fisicoquímicos). Las inundaciones podrían afectar a un núcleo urbano y la erosión a la agricultura. En resumen, al intervenir el medio ambiente por motivos sociales acaba teniendo repercusiones en los demás componentes del medio incluyendo otros componentes sociales. Este hecho de que cualquier intervención en el medio natural, por puntual que ésta sea, arrastra tras de sí una serie de repercusiones en cadena sobre todos los componentes del medio ambiente, se conoce como efecto dominó.

En conclusión, el estudio del medio ambiente es interdisciplinar y para enfocarlo se necesita una visión holística (de conjunto o global) para poder estudiar todas las interacciones entre sus componentes y las posibles repercusiones, en caso de alterarse alguno de ellos.

### 3. Aproximación a la teoría de sistemas.

#### 3.1 Concepto de sistema. Enfoque reduccionista y holístico.

Para estudiar cualquier fenómeno se pueden utilizar dos enfoques:

- El **enfoque reduccionista**: Divide el objeto de estudio en sus elementos y los estudia por separado. En el caso del medio ambiente son tan importantes los fenómenos como las relaciones entre ellos, por tanto se debe de estudiar desde otro enfoque.
- El **enfoque holístico**: Estudia tanto los elementos como las relaciones entre ellos. Para estudiar el medio ambiente desde el enfoque holístico se usa la teoría de sistemas.

Ejemplos:

- Si estudiamos un coche desde el enfoque reduccionista, sólo se estudiarían sus piezas por separado (volante, cristal, puerta, botones, asientos, ruedas...) y, así sólo, no se puede ver su funcionamiento ya que el coche no funciona si no se conectan (relacionan) todas sus piezas, que sería entonces el enfoque holístico, que estudia tanto las piezas sueltas como conectadas.

- No podemos estudiar bien un león sin tener en cuenta los herbívoros de los que se alimenta, sus competidores (hienas) que le pueden quitar la comida, el lugar donde vive, los cazadores furtivos..., por eso es necesario el enfoque holístico en Ciencias Ambientales ya que para estudiar bien un sistema ambiental se deben estudiar todas las relaciones que hay entre los elementos del medio ambiente (leones, cazadores, hienas, agua, temperatura, paisaje...).

**Sistema** es un conjunto de elementos y las interrelaciones entre ellos, en el que interesa considerar fundamentalmente el comportamiento global. En un sistema se comprueba que el todo es más que la suma de sus partes; así por ejemplo, un televisor montado es más complejo que sus partes sueltas (cables, tornillos, pantalla...), ya que sueltas carecen de función. Si sólo me fijo en sus elementos carece de significado y no se puede explicar el fenómeno. Las interacciones entre los elementos del sistema ponen de manifiesto las llamadas propiedades emergentes que surgen del comportamiento global (al darse la interacción de los elementos del televisor aparece una nueva propiedad: el televisor funciona da imágenes y sonido, esta propiedad que antes no tenían los elementos por separado es una propiedad emergente). Por tanto, para estudiar los sistemas se utiliza el enfoque holístico, ya que considera el comportamiento global que tiene funciones (propiedades emergentes) que no aparecen en sus componentes por separado. Ejemplos de sistemas: lago, bosque, ciudad de Murcia, moto, farola, lavadora, mar Mediterráneo, pradera del Serengeti, España, planeta Tierra, hormiguero...

Ejemplos: Un sistema será del tamaño y complejidad que determine el observador que lo quiere observar, así por ejemplo, una célula es un sistema donde sus elementos (núcleo, membrana, citoplasma, orgánulos...) interrelacionan

entre sí para mantener su función. Un individuo también se puede considerar un sistema donde sus elementos (huesos, músculos, vasos sanguíneos, nervios...) interrelacionan entre sí para mantener su función y la vida. Un bosque sería otro ejemplo de sistema donde sus elementos (plantas, hongos, ríos, charcos, animales, microorganismos, aire...) interrelacionan entre sí para mantener el funcionamiento del bosque. Incluso el planeta Tierra es un sistema donde sus elementos (Atmósfera, Hidrosfera, Litosfera y Biosfera) interrelacionan entre sí para mantener el funcionamiento del planeta.

### **3.2 Tipos de sistemas: abiertos, cerrados y aislados.**

Los sistemas suelen intercambiar materia, energía e información con el entorno. Teniendo en cuenta los intercambios con el entorno del sistema que estudiamos, distinguimos tres tipos de sistemas:

- **Sistema Aislado**: no entra ni sale materia ni energía, no existe en la realidad, sólo en el laboratorio.
- **Sistema Cerrado**: hay entrada y salida de energía pero no de materia. Podríamos considerar el planeta como un sistema cerrado, ya que prácticamente no entra materia (se escapan algunos gases al espacio y del espacio entra polvo-partículas-meteoritos, pero la materia que entra y sale es despreciable a efectos globales, por lo que se puede considerar un sistema cerrado para que su estudio sea más sencillo).
- **Sistemas Abiertos**: son sistemas con intercambio de materia y energía. A estos corresponden los sistemas naturales como charcas, lagos, bosques, etc.

Dibuja los 3 tipos de sistemas:

Explica los intercambios de materia y energía en el ejemplo del sistema abierto de un lago:

### **3.3 Dinámica de sistemas.**

Para estudiar los sistemas se utiliza el enfoque holístico, mediante una metodología conocida como dinámica de sistemas que se basa en observar y analizar las relaciones e interacciones existentes entre las partes del objeto de nuestro estudio, recurriendo al uso de modelos. (Todo esto se verá en el siguiente apartado).

Las principales relaciones entre los elementos del sistema son los intercambios de materia, de energía e información.

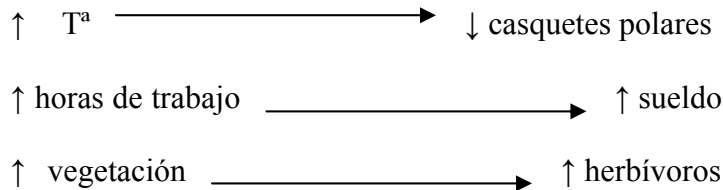
## **4. Realización de modelos sencillos de la estructura de un sistema ambiental natural**

Un modelo es una simplificación de la realidad que nos ayuda a explicarla.

Tipos de modelos: mentales, formales e informales:

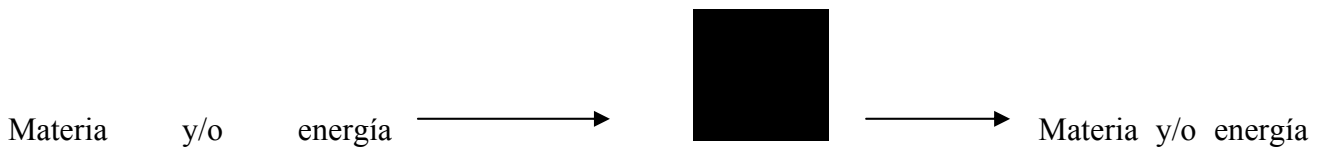
- Modelo mental: aquellos modelos que desarrollamos en nuestro cerebro para explicar la realidad. (hacemos modelos mentales de cómo son y como funcionan las cosas que nos rodean para interpretar el mundo real y los vamos modificando con la experiencia).
- Modelo formal o matemático: explica la realidad mediante fórmulas matemáticas.
- Modelo informal: es aquel modelo que utiliza un lenguaje simbólico, no formal.

El más importante de los informales es el modelo de **relaciones causales**, éste utiliza las variables y las relaciona mediante flechas. Ejemplos:



### 4.1 Caja Negra

Se utiliza para estudiar las relaciones de un sistema con el exterior sin tener en cuenta lo que sucede dentro del sistema. Se simboliza con una caja negra de la que entran y salen flechas.



Recuerda que los modelos de sistemas de caja negra pueden ser abiertos, cerrados o aislados, según si el sistema intercambia con el exterior materia y energía, energía solamente o ninguna de las dos respectivamente (en selectividad pueden preguntar tipos de sistemas de caja negra, en lugar de tipos de sistemas pero la respuesta es la misma).

Ejercicio: Escribe los datos que faltan en un modelo de sistema de caja negra para un coche:

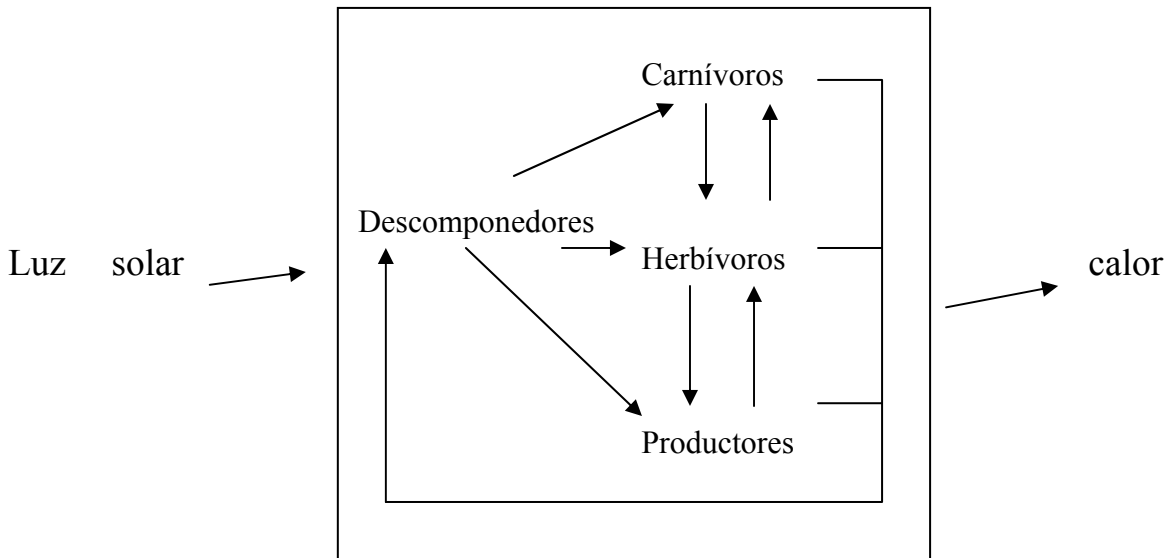


¿Es un sistema abierto o cerrado?

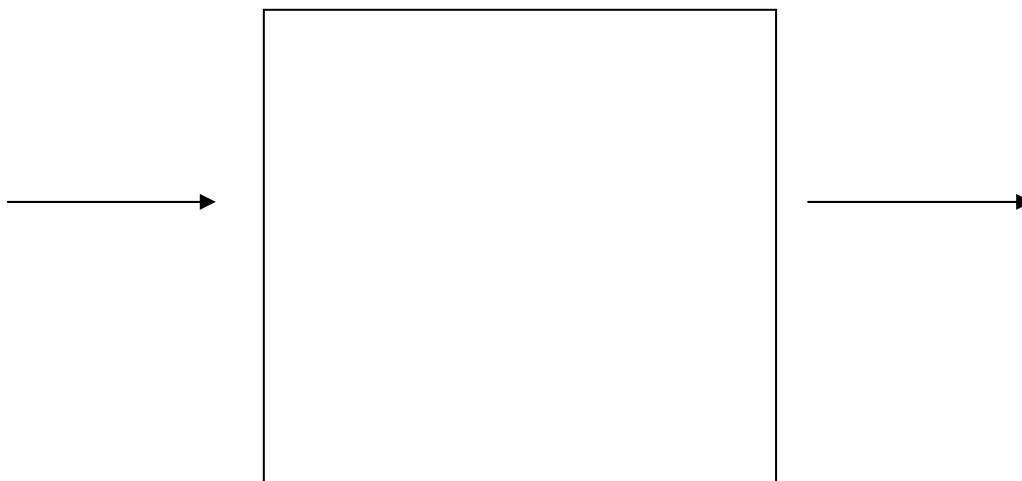
### 4.2 Caja Blanca. Relaciones causales: concepto y tipos (simples: directas, inversas o encadenadas; y complejas: realimentación o retroalimentación positiva y negativa. Aplicar estos conceptos con el crecimiento de una población).

A diferencia del modelo de caja negra, en el modelo de sistema de caja blanca no sólo interesa lo que entra y sale del sistema, sino que también estudia lo que sucede dentro del sistema. Para estudiar lo que sucede dentro del sistema se marcan las variables que componen el sistema y se relacionan mediante flechas (usando el modelo de relaciones causales). Ejemplo: en el sistema de un lago las variables serían entre otras: número de peces, cantidad de algas, salinidad del agua, contenido de oxígeno en el agua..., y las relaciones mediante flechas serían por ejemplo ↑ algas → ↑ oxígeno disuelto en el agua...

Ejemplo típico de un modelo de sistema de caja blanca: (el sistema comprende todo el interior del cuadro y vale para cualquier sistema natural como un bosque, zona de cultivo, lago, pradera, río..., donde los carnívoros, herbívoros..., son variables del sistema, y la luz solar y el calor son intercambios de energía del sistema con el exterior).



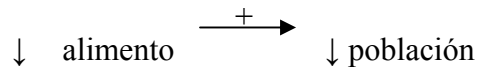
Ejercicio: dibuja en este cuadro un sistema de caja blanca para una pecera (invéntate 2 o 3 variables del sistema)



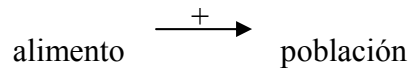
➤ **Tipos de relaciones causales:**

Las relaciones que suceden entre las variables de un sistema de caja blanca, pueden ser **directas o positivas** cuando la variación en una variable produce una variación del mismo signo en la otra variable, es decir, si una variable aumenta la otra aumentará y si en lugar de aumentar, disminuye, la otra variable también disminuirá (mismo signo siempre). Se representa con un signo (+).

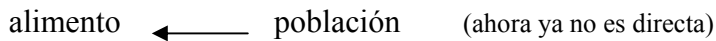
Ejemplo de relaciones directas o positivas:  $\uparrow$  alimento  $\xrightarrow{+}$   $\uparrow$  población



Una vez hemos comprobado que las variaciones en las variables son del mismo signo sólo se deja el signo + y ya no hacen falta las indicaciones  $\uparrow$  y  $\downarrow$ , por lo tanto, las relaciones causales se representan simplemente:

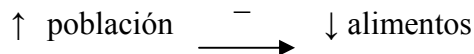
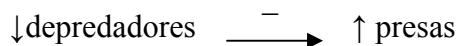


¡Cuidado!, en el otro sentido las variables no son directas o positivas porque al aumentar la población disminuirá el alimento (signo contrario), por eso lo más importante es fijarse en el sentido de la flecha:

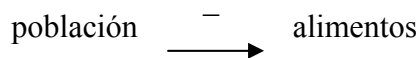
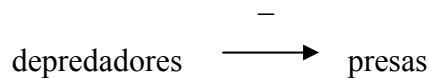


Ejercicio: vuelve a los cuadros de caja blanca de la página anterior y señala (con un signo + obviamente) todas las relaciones causales positivas que veas.

Relaciones **inversas o negativas**: cuando el cambio en una variable produce una variación de signo opuesto en la otra variable. Se indica con un signo (-).

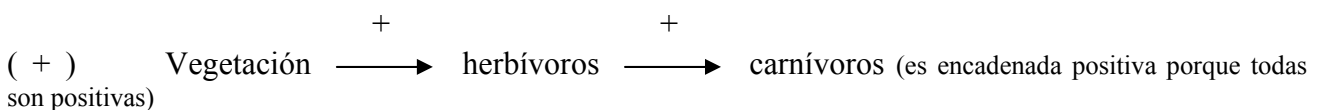


Recuerda que al final se representan:



Ejercicio: vuelve a los cuadros de caja blanca de la página anterior y señala todas las relaciones causales negativas que veas.

Relaciones causales **encadenadas**: son aquellas en las que hay más de dos variables. Pueden ser positivas si todas las variables son del mismo signo o si hay un número par de signos negativos, y pueden ser negativas si hay un número impar de signos negativos.



Se puede simplificar quedando:  $\text{Vegetación} \xrightarrow{+} \text{carnívoros}$  (al simplificar se pone el signo positivo o negativo según corresponda)

Ejercicio: invéntate dos relaciones encadenadas, una positiva porque tiene un número par de relaciones negativas y otra encadenada negativa porque tenga un número impar de signos negativos. No te olvides de poner también como quedarían al simplificarlas.

Encadenada positiva:



Encadenada negativa:



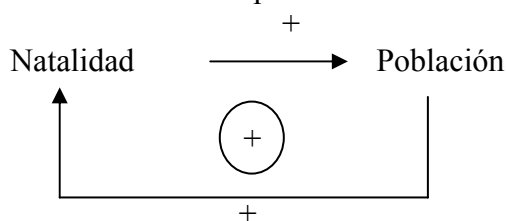
➤ Relaciones causales complejas: **Retroalimentación (o realimentación o bucle de retroalimentación o feedback).**

Las relaciones causales directas, inversas o encadenadas son las relaciones causales simples, mientras que las retroalimentaciones son relaciones complejas porque tienen consecuencias en el origen, es decir, la última variable afecta a la primera, formando un círculo sin fin.

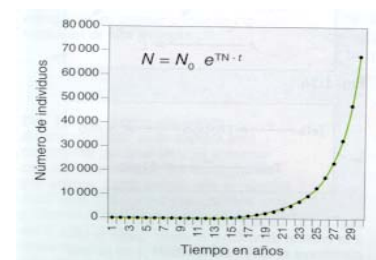
Las retroalimentaciones son relaciones causales en donde una variable influye sobre otra u otras y al final la última variable actúa sobre la primera, es decir, se trata de una relación causal que se cierra sobre sí misma, como la pescadilla que se muerde la cola. Pueden ser negativas o positivas, dependiendo de que la última variable influya en distinto sentido o en el mismo sentido a la primera variable respectivamente (es más fácil que uses el truco anterior de que si el número de relaciones negativas es par la retroalimentación es positiva, y si el número de relaciones causales negativas es impar es una realimentación negativa).

Las retroalimentaciones positivas se representan con un signo + dentro de un círculo situado en el centro de la relación y las realimentaciones negativas con un signo – dentro del círculo.

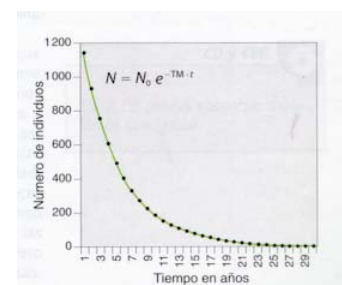
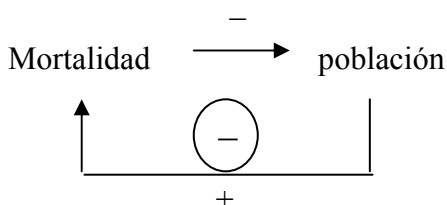
Una realimentación positiva:



A la derecha se representan las gráficas resultantes de cada retroalimentación.



Una realimentación negativa:



La realimentación positiva se llama también bucle de refuerzo, ya que provoca un alejamiento de la situación inicial y desestabiliza el sistema al producir un incremento descontrolado del funcionamiento del sistema. A su vez, la realimentación negativa actúa como medida de control de las realimentaciones

positivas, estabilizando los sistemas al contrarrestar la tendencia del sistema a alejarse del estado óptimo.

Ejercicio: Dibuja cómo quedarían las dos realimentaciones anteriores interactuando y la gráfica resultante. Fíjate cómo la realimentación negativa contrarresta la tendencia al desequilibrio de la realimentación positiva:

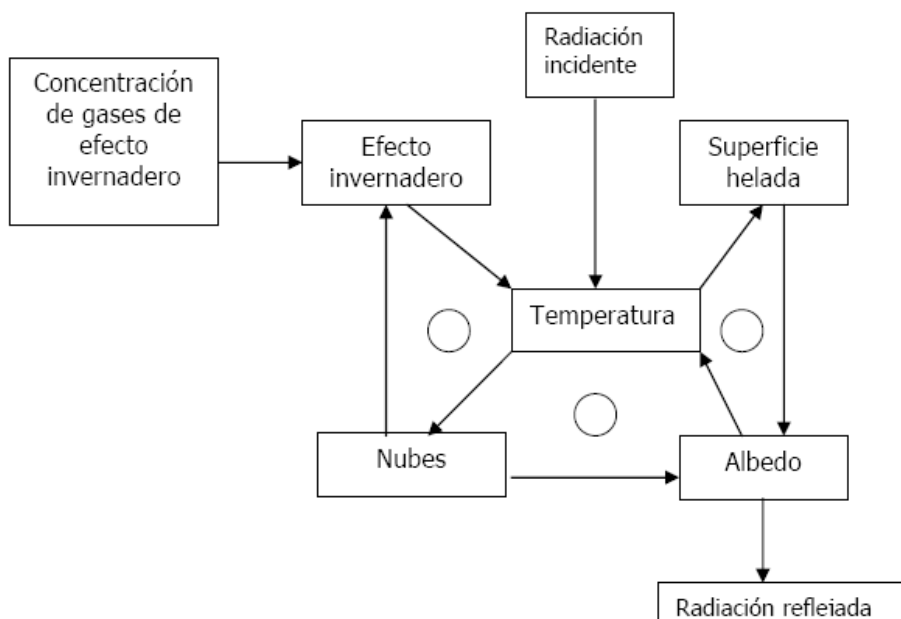


El resultado de las dos juntas mantiene estable el sistema (población en equilibrio) gracias a la realimentación negativa.

Los sistemas que se equilibran mediante uno o más bucles de realimentación negativa se llaman sistemas homeostáticos, por ejemplo, los sistemas del cuerpo humano que mantienen las concentraciones adecuadas en el cuerpo de glucosa, hormonas, sales minerales, cantidad de agua...

Realiza el siguiente ejercicio de relaciones causales que apareció en la PAU en Junio de 2006:

En el sencillo modelo de funcionamiento del clima terrestre que se acompaña, comente las relaciones causales (directas, inversa, encadenadas) entre cada uno de los componentes, insertando los signos (+) o (-) donde corresponda. Suponga un flujo de radiación solar constante.



## 5. Complejidad y entropía.

### 5.1 La energía en los sistemas. Primera y segunda ley de la Termodinámica. Entropía.

Puesto que la energía es el principal intercambio en los sistemas, debemos estudiar las leyes que rigen la energía (las leyes de la termodinámica).

- **Primera ley de la termodinámica:** *“la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma”*.

Esto significa que la energía que entra en un sistema debe ser igual a la que sale del sistema (generalmente en forma de calor) más la que permanece dentro del sistema. (por ejemplo la energía que entra en un lago por la radiación solar sobre todo, debe ser igual a la que sale del lago al ceder calor a la atmósfera más la que se ha quedado dentro del lago para aumentar la temperatura del agua y la absorbida por los organismos fotosintéticos que la almacenan en los enlaces de la materia orgánica que forman con la energía solar).

- **Segunda ley de la termodinámica,** dice que la redistribución espontánea de la energía siempre se mueve hacia un incremento de la dispersión y del desorden (en cada transferencia, la energía se transforma y suele pasar de una forma más concentrada y organizada a otra más dispersa y desorganizada). Esta ley introduce el concepto de entropía que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema (La entropía es la energía que no ha sido utilizada para realizar trabajo y generalmente se manifiesta en forma de calor). La entropía hace referencia al aumento del desorden, más entropía más desorden, es decir, cuando la energía está más dispersa (más desordenada, menos complejidad) aumenta la entropía y cuando la energía está más concentrada (más ordenada, más complejidad) disminuye la entropía.

La tendencia natural del Universo es hacia un estado de máxima entropía (al máximo desorden y menor complejidad), pero los seres vivos se oponen a esta tendencia porque son sistemas ordenados. (Los seres vivos son la excepción a la segunda ley ya que hacen lo contrario, es decir, disminuyen el desorden y aumentan la complejidad al crecer y reproducirse por lo que disminuyen su entropía, pero esto se hace a costa de aumentar la entropía en el sistema).

En resumen la 2ª ley de la termodinámica dice que la entropía tiende a aumentar en los sistemas.

## 6. El Medio Ambiente como sistema. Ejemplificar en la hipótesis de Gaia.

El medio ambiente, en concreto nuestra Tierra, es un sistema formado por subsistemas interrelacionados que son: hidrosfera, atmósfera, biosfera y geosfera. Por ejemplo: la atmósfera aporta agua con las precipitaciones a la hidrosfera, los seres vivos toman oxígeno de la atmósfera, la biosfera contamina la atmósfera, etc. Continuamente suceden en el medio ambiente relaciones causales entre sus variables, entre las que se encuentran realimentaciones positivas reguladas por realimentaciones negativas que mantienen el equilibrio en el medio, pero las acciones del hombre están afectando a estas relaciones poniendo en peligro el equilibrio del planeta entero, como está sucediendo con el incremento del efecto invernadero o la desertización. Ejercicio: dibuja las relaciones causales que conducen a la desertización, utiliza las variables: actividades humanas, vegetación, erosión, retención de agua por el suelo y desertización.

La hipótesis de Gaia es un ejemplo de que el medio ambiente es un sistema en el que sus elementos interaccionan.

### HIPÓTESIS DE GAIA (madre Tierra).

Afirma que la Tierra tiene capacidad de autorregularse mediante la interacción de sus elementos (atmósfera, hidrosfera, geosfera y biosfera).

La capacidad de mantener constante el medio ambiente viene de la biosfera, ya que los seres vivos adquieren la capacidad de controlar el medio ambiente global para cubrir sus necesidades. De modo que la biosfera es algo más que un catálogo de especies, es una entidad con propiedades mayores que la suma de sus partes. Esto significa que la biosfera tiene capacidad homeostática (reguladora). Esta teoría se demuestra por las siguientes observaciones:

- La temperatura media de la Tierra se mantiene constante a pesar de que la intensidad solar ha variado a lo largo del tiempo. (el Sol, como otras estrellas similares, ha ido aumentando en luminosidad desde su origen, pero como había más CO<sub>2</sub> antiguamente tenía una temperatura similar al producirse mayor efecto invernadero).
- La Tierra tiene un 78% nitrógeno (N<sub>2</sub>) en la atmósfera, que es mucho mayor que en otros planetas y esto sólo se puede explicar por efecto de los seres vivos. (bacterias que transforman los nitratos en N<sub>2</sub>).
- Concentración de gases como oxígeno y dióxido de carbono se han mantenido estables durante muchos millones de años gracias a los seres vivos. (con la aparición de los organismos fotosintéticos se produjo la formación de oxígeno y la disminución del CO<sub>2</sub> (también los organismos formadores de caparzones o esqueletos de CaCO<sub>3</sub> han retirado CO<sub>2</sub> de la atmósfera) en unas concentraciones que se han mantenido hasta la actualidad, con la excepción del aumento del CO<sub>2</sub> por las actividades humanas).

## **7. CAMBIOS AMBIENTALES A LO LARGO DE LA HISTORIA DE LA TIERRA**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

A lo largo de la historia de la Tierra se han producido una serie de cambios ambientales provocados por una serie de factores (biológicos, físico-químicos o extraterrestres) que llegaron a desencadenar importantes variaciones climáticas y biológicas (extinciones).

### **7.2 CONCEPTO DE EXTINCIÓN**

Cuando se habla de extinción de especies, se hace referencia a la muerte de todos los individuos que componen una especie, ya sea a nivel local o global.

En el momento en que una especie no disponga de medio alguno para hacer frente a las variaciones ambientales, estará condenada a la extinción, que se produce con una probabilidad constante y característica para cada grupo, independientemente de la edad de las especies. Cuando hablamos de extinciones en masa hacemos referencia a que desaparecen, al menos, el 50% de los seres vivos presentes en el planeta en ese momento.

### **7.3 FACTORES DE EXTINCIÓN**

Distinguimos tres tipos de factores de extinción que provocaron cambios ambientales relevantes: Biológicos, Físico-químicos y Extraterrestres

**Los factores biológicos** son aquellos que tienen que ver con las relaciones entre especies animales y vegetales que pueblan el planeta Tierra. Son: La depredación, las enfermedades de origen bacteriano o vírico y la competencia.

Pero podemos añadir un cuarto factor biológico que es el propio tamaño de la población. Si cualquier causa redujese el tamaño de la población excesivamente, esta corre el peligro de

extinguirse pues sería mucho más vulnerable ante la selección natural por la reducción de la variabilidad genética.

**Los factores físico-químicos** son muy variados. Pueden provocar cambios ambientales e, indirectamente, la extinción de las especies que no los resistan. Los componentes físico-químicos del ambiente son: la radiación, la humedad, la temperatura, las cantidades disponibles de nutrientes, etc.

Las variaciones que en ellos pueden producirse son muchas. En primer lugar hay un grupo que llamamos cambios climáticos: glaciaciones periódicas, estacionalidad extremada, que afectan principalmente a las zonas continentales y altera gravemente los regímenes de los recursos tróficos. Para organismos marinos, pueden ser considerados igualmente como cambios climáticos variaciones de temperatura, fluctuaciones de la salinidad o alteraciones en la circulación de las corrientes.

Muy graves deben ser los aumentos de la temperatura global, que pueden ser causados por el aumento de la radiación recibida o por la conocida acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, pero hay más causas.

También es importante la acción de las oscilaciones del nivel del mar y el movimiento de las placas tectónicas, que están estrechamente relacionados. En estos casos se inundan o quedan al descubierto enormes extensiones de tierra, perjudicando a organismos terrestres o marinos respectivamente.

**Los factores extraterrestres** son responsables de efectos más globales y, por ello, son de mayor importancia para explicar las fases de extinción masiva que a lo largo de la historia de la Tierra se han producido. El argumento más ampliamente difundido y aceptado en la actualidad para explicar algunas extinciones masivas es el del impacto de un asteroide sobre la Tierra. El polvo cósmico y las radiaciones son los menos importantes comparativamente. En la actualidad se considera que las extinciones en masa han jugado un papel importante en la historia de la vida.

Desde los albores de la vida en la Tierra, algunas especies de los diversos organismos que habitan al planeta se han extinguido y han posibilitado el surgimiento y desarrollo de nuevas especies de organismos que pueden adaptarse mejor al medio ambiente. Cuando ocurre una extinción en masa de una o más especies se desarrollan otras nuevas. Esto hace que las extinciones desempeñen una función importante en la evolución de la vida en la Tierra. Si las especies no llegaran a extinguirse para dejar su espacio a organismos más avanzados, la vida en la Tierra no habría progresado hasta lo que es actualmente, y los únicos organismos que habitarían la Tierra serían los microorganismos primigenios con que empezó la vida en el mar.

## 7.4 LAS EXTINCIONES DURANTE EL PROTEROZOICO

La historia geológica de la Tierra se divide en dos grandes épocas llamadas eones: el precámbrico o criptozoico y el fanerozoico (antiguamente se llamaba precámbrico pero actualmente se considera más aceptado el nombre de criptozoico). El precámbrico (pre=antes, antes del cámbrico) o criptozoico (cripto del griego “oculto” y *zoico* “animales”, alude al hecho de que es una época en la que no se conocen fósiles animales) se divide en tres épocas (Hadeano o Hádico, Arcaico o Arqueense y Proterozoico) marcadas por grandes acontecimientos: *Hadeano o Hádico* desde la formación de nuestro planeta (hace unos 4.500 m.a.) hasta hace 3.800 m.a. En él no se identifican rocas, excepto meteoritos. No se han hallado evidencias de vida. El *Arcaico* se caracteriza por la aparición de las primeras rocas con el enfriamiento de la corteza. Aparecen las primeras formas de vida y existe el primer registro de los fósiles unicelulares, similares a los estromatolitos modernos, producidos por cianobacterias. Por último, el Proterozoico (2.500 m.a. hasta 544) se caracteriza por la oxidación de la atmósfera (la aparición de la fotosíntesis oxigénica hace 2.500 m.a. produjo O<sub>2</sub>, dando una atmósfera oxidante) y el enfriamiento de la misma. Proterozoico deriva de protero: primera o antes de y zoo: animal, es decir, es una época anterior a la aparición de los animales pluricelulares.

Durante el Proterozoico se produce un hecho trascendental en la evolución de la atmósfera y de la vida, como fue la aparición de la **fotosíntesis**.

Eón		Era	Período		Epoca
Fanerozoico (544 ma a hoy)		Cenozoica (65 ma a hoy)	Cuaternario (1.8 ma a hoy)		Holoceno (11,000 años a hoy)
					Pleistoceno (1.8 ma a 11,000 años)
			Terciario (65 a 1.8 ma)	Neógeno (23 a 1.8 ma)	Plioceno (5 a 1.8 ma)
					Mioceno (23 a 5 ma)
			Paleógeno (65 a 23 ma)	Eoceno (54 a 38 ma)	
				Oligoceno (38 a 23 ma)	
				Paleoceno (65 a 54 ma)	
		Mesozoica (245 a 65 ma)	Cretácico (146 a 65 ma)		
			Jurásico (208 a 146 ma)		
			Triásico (245 a 208 ma)		
		Paleozoica (544 a 245 ma)	Pérmico (286 a 245 ma)		
			Carbonífero (360 a 286 ma)		
			Devónico (410 a 360 ma)		
			Silúrico (440 a 410 ma)		
Ordovícico (505 a 440 ma)					
Cámbrico (544 a 505 ma)					
Tiempo Precámbrico (4,500 a 544 ma)	Proterozoico (2500 a 544 ma)				
	Arcaico (3800 a 2500 ma)				
	Hádico (4500 a 3800 ma)				

Una de las más sorprendentes características de la atmósfera es la gran escasez de gases nobles, en contraste con su abundancia en el cosmos, lo que nos hace suponer que sea de origen secundario. O bien la Tierra fue originada sin atmósfera, o bien la perdió en una fase posterior. Esto segundo es lo más probable. Se propone una fuente interna (salida de gases por los volcanes) como la causante de la atmósfera. Su composición, que era totalmente diferente a la actual, debería ser a base de CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H, He, Ne y vapor de agua.

Pero la aparición de la **fotosíntesis** hizo que pasara de anaerobia a aerobia, lo que trajo consigo que la vida no fue un episodio pasajero. Con la fotosíntesis, la atmósfera e hidrosfera se

enriquecieron en oxígeno, apareciendo la vida aeróbica y la capa de ozono que impediría el paso de los rayos ultravioleta. Suele pasar desapercibido el que la aparición de los autótrofos, con la consiguiente oxigenación de la atmósfera, supuso la **primera crisis biótica**, ya que las formas primitivas serían destruidas por dicho oxígeno, y que si a su vez, necesitaban de los infrarrojos, igualmente serían agredidas por la disminución de estas radiaciones al aparecer la capa de ozono.

### 7.4.1 La extinción precámbrica

Tuvo lugar hace aproximadamente 600 M. a. La causa de esta extinción fue la glaciación Eocámbrica, que comenzó hace cerca de 680 M. a. y terminó hace 570 M. a. El origen de esta glaciación (la más intensa que ha experimentado la Tierra durante su historia) puede deberse a la explosión demográfica del plancton calcáreo, que habría provocado un efecto “antiinvernadero”. Esta extinción fue determinante para la diversificación de la fauna siguiente, que difirió en gran medida de su predecesora. Durante esta época se desarrollaron organismos de cuerpo blando, destacando entre ellos los peces gelatinosos y gusanos segmentados. Esta fauna excepcional posterior a la extinción precámbrica es conocida como fauna de *Ediacara*.

## 7.5 LAS EXTINCIONES DURANTE EL FANEROZOICO

Deriva del griego *fanero*: visible y *zoo*: animal. Indica que en esta época aparecen los fósiles animales. Se divide en paleozoico, mesozoico y cenozoico (paleo: antiguo, meso: medio y ceno: nueva) que significan época de los animales antiguos, época de los animales intermedios y época de los animales más actuales, respectivamente.

### 7.5.1 Las extinciones del Paleozoico

En primer lugar hay que indicar que a principios del Paleozoico (540 M. a.) se produce la llamada **explosión cámbrica**, aparición geológicamente repentina de organismos macroscópicos multicelulares.

#### 7.5.1.1. La extinción Ordovícico-Silúrico (-435 M.a.)

Duró aproximadamente de un millón de años y causó la desaparición de alrededor del 50 % de las especies. Casi acaba con la vida marina; algunos peces sobreviven y los invertebrados pagan un duro tributo. Sus causas fueron:

1) **Cambios en el nivel del mar.** La bajada de unos 70 m. del nivel del mar causó el mayor efecto sobre la destrucción de las faunas, ya fuese por la destrucción de su hábitat o por la reducción del área.

2) **Cambios climáticos.** Posteriormente a la regresión se produce un cambio climático que hace que los casquetes glaciares de Gondwana se descongelaran, provocando una transgresión.

3) **Distribución continental.** Durante el Ordovícico superior hubo una inusual rapidez de movimientos tectónicos que dieron lugar a cambios climáticos igualmente rápidos. En general, el hemisferio norte estaba cubierto casi en su totalidad por un vasto océano; en el ecuador se localizaban pequeños continentes y océanos aislados; y en el hemisferio sur se extendía una gran masa continental.

Debió ocurrir que el movimiento de las placas colocó durante unos cientos de millones de años a lo que es hoy la Amazonía y el norte de África —que formaban parte de Gondwana y eran entonces tierras adyacentes— en las cercanías del Polo Sur geográfico, en condiciones climáticas favorables para la acumulación de hielo. Aparte de la baja insolación, el mar no quedaba lejos, por lo que no faltaba el suministro suficiente de humedad para que las precipitaciones invernales de nieve fuesen intensas.

La mayor paradoja de esta glaciación del Ordovícico es que la concentración de CO<sub>2</sub> durante aquel período era muy superior a la actual. Por eso parece que fueron los factores geográficos, y no la composición química del aire, los que debieron tener más importancia en su desencadenamiento.

#### 7.5.1.2. La extinción del Devónico

Tuvo lugar hace aproximadamente 360 M. a. y fue particularmente severa para los organismos marinos bentónicos que vivían en aguas tropicales someras. El depósito marino de cantidades masivas de carbón orgánico y carbonatos inorgánicos redujeron sustancialmente los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico. Se supone que la pérdida de este gas contribuyó al enfriamiento global.

#### 7.5.1.3. La Extinción Permotriásica (Catástrofe P/T o the Great Dying)

En el límite entre los sistemas Pérmico y Triásico (250 M. a.), la diversidad de la vida representada en el registro fósil se reduce a un nivel no apreciado desde el Cámbrico. Este notable acontecimiento es, con un amplio margen, el más severo de la historia de la vida en la tierra, y afectó drásticamente a la composición y la subsiguiente evolución de la biota de la Tierra. Peciéron el 90 % de todas las especies marinas y terrestres, entre ellos el 98 % de los crinoideos, el 78 % de los braquiópodos, el 76 % de los briozoos, el 71 % de cefalópodos, 21 familias de reptiles y 6 de anfibios, además de un gran número de insectos. Los conocidos trilobites desaparecieron para siempre con esta extinción en masa. Foto: trilobites animales típicos del paleozoico y ammonites típicos del mesozoico.



Las causas de la extinción Permotriásica parecen estar vinculadas con erupciones volcánicas, concretamente con la *Siberian traps* (trampa siberiana), extrusiones basálticas superiores a 1.3 km<sup>3</sup>/año, que cubrieron un área de 337.000 km<sup>2</sup>. Se estima un volumen de lava basáltica solidificada de entre 1.6 y 2.5 millones de km<sup>3</sup>. El vulcanismo a esta escala podría haber producido cantidades masivas de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, así como aerosoles que podrían haber bloqueado una importante proporción de la luz solar. Inicialmente, esto habría traído consigo un enfriamiento global. Sin embargo el SO<sub>2</sub> habría producido fenómenos de lluvia ácida y durante varios meses la mayoría de las partículas se habrían ido de la atmósfera. Esto podría haber desempeñado un importante rol en las extinciones terrestres. De todas formas, el CO<sub>2</sub> permanecería, lo cual desembocaría en un calentamiento global. La descongelación de vastas extensiones de permafrost en Siberia pudo además añadir metano a la atmósfera, reforzando el efecto invernadero.

## 7.5.2. Las extinciones del Mesozoico

### 7.5.2.1. La extinción del Triásico Superior (205 M.a.)

El límite Triásico-Jurásico marca un vuelco en el número de especies en el registro fósil. Este evento afectó tanto a la vida terrestre como a la acuática. El motivo de la extinción sigue siendo incierto (erupciones volcánicas o impactos de meteoritos).

Esta extinción fue especialmente relevante en el aspecto que espoleó el auge de los grandes dinosaurios. Su radiación se debió en gran parte a que quedaron muchos nichos ecológicos libres tras esta extinción, nichos que fueron ocupados por éstos durante el Jurásico y en adelante.

### 7.5.2.2. La extinción del límite K-T (65 M. a.)

En el límite entre las eras Secundaria y Terciaria se produjo una importante extinción causada, probablemente, por el impacto de un meteorito en el golfo de Méjico. Los impactos meteóricos dejan en los niveles estratigráficos importantes concentraciones de iridio. En Caravaca tenemos pruebas de su evidencia (ver Capa Negra).

Aunque desaparecieron muchos animales (dinosaurios, ammonites...) y plantas, no debemos pensar que el límite K-T fue un desastre para toda criatura viviente. Muchos grupos de organismos sobrevivieron: insectos, mamíferos, pájaros y angiospermas, en la tierra; peces, corales y moluscos en el océano sufrieron una tremenda diversidad nada más terminar el Cretácico. Incluso gracias a la desaparición de los dinosaurios pudieron desarrollarse con mayor celeridad los mamíferos.

## 7.5.3 Las extinciones del Cenozoico

Durante la era Cenozoica (correspondiente a los últimos 65 M. a.) se han vivido también varios fenómenos extintivos, aunque no tan relevantes como los anteriores.

La primera de ellas tuvo lugar en el **Eoceno superior** (33 M. a.). Se supone que esta extinción se debió a un fenómeno de enfriamiento global, pero las causas de éste aún están indeterminadas.

La segunda se produjo en el **Oligoceno inferior** (hace unos 28 M. a.) y fue desencadenada por severos cambios climáticos y vegetacionales. Los principales afectados fueron los mamíferos terrestres.

La tercera se produjo durante el **Mioceno superior** (hace unos 9 M. a.) cuando una ola de frío antártico se extendió por el planeta. Los mamíferos fueron los principalmente afectados.

Ya en el **Cuaternario** se produjeron variaciones climáticas que dieron lugar a varias glaciaciones que afectaron igualmente a los mamíferos.

NOTA: En letra pequeña, aclaraciones para los alumnos