

TEMA 1.- MEDIO AMBIENTE Y TEORÍA DE SISTEMAS

1. *Concepto de medio ambiente.*
2. *Enfoque interdisciplinar de las Ciencias Ambientales.*
3. *Aproximación a la Teoría General de Sistemas (TGS)*
4. *Realización de modelos sencillos de la estructura de un sistema ambiental natural.*
5. *Complejidad y entropía.*
6. *El medio ambiente como sistema: la hipótesis GAIA*
7. *Cambios ambientales a lo largo de la historia de La Tierra.*
8. *Relaciones humanidad y medio ambiente: Modelos de desarrollo*

1. CONCEPTO DE MEDIO AMBIENTE

El término **medio ambiente** ha pasado en los últimos años a ocupar un primer plano en los medios de comunicación y en nuestra vida diaria. Como todos los términos que se convierten en patrimonio de los ciudadanos tras pertenecer al habla particular de una ciencia, su correcto significado puede ser controvertido.

Necesitamos por tanto, una definición clara y sencilla que nos permita situarnos para todo el resto del curso:

- en la Conferencia de Naciones Unidas de Estocolmo (1972) se definió como **“el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos sobre los seres vivos y las actividades humanas”**
- nosotros podemos hacerlo, de forma más sencilla, como **el marco que rodea a un organismo**. En él diferenciaremos dos vertientes: medio natural y medio humano.

En relación con esta definición hemos de comprender que el hombre y sus actividades forman parte del medio y que éste no es algo estático; por el contrario, es esencialmente dinámico y cambiante, y sus características van a variar a lo largo del tiempo, y no sólo por la acción humana, ya que existen procesos de origen natural que desembocan en bruscas alteraciones del entorno.

Si hojeáis un periódico o veis un informativo en televisión, podréis apreciar por vosotros mismos la tremenda importancia que el medio ambiente, y por tanto las ciencias que se encargan de su estudio, están cobrando día a día: incendios, escasez de agua, pesquerías agotadas, agotamiento de combustibles fósiles, erupciones, desarrollo urbanístico, plagas, epidemias como la gripe A, etc., han sido primera plana en los medios de comunicación durante todo el verano. Y no son meras noticias agotadas en el papel, son procesos que están marcando nuestro día a día y van a marcar con más fuerza todavía nuestro futuro.

Necesitamos acercarnos a todos estos fenómenos con los ojos de las ciencias ambientales, analizar sus causas y consecuencias de la manera más objetiva posible y convertirnos en ciudadanos formados, informados, críticos y participativos, capaces de impulsar (en su momento) la toma de decisiones políticas en las direcciones que cada uno considere adecuadas.

2. ENFOQUE INTERDISCIPLINAR DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Por supuesto, estamos frente a una disciplina científica y todo lo que el año pasado estudiamos sobre el método científico, su forma de trabajo, su validez, sus requisitos, elaboración de modelos, leyes, teorías, etc será de aplicación en el discurso de las ciencias ambientales.

Estamos acostumbrados, y en buena parte se lo debemos a la compartimentación del sistema educativo, a que las diferentes disciplinas científicas se contemplen como cajas estancas sin apenas conexión entre ellas. Matemáticas, física, química, geología, biología, etc., fueron a lo largo del siglo XIX y buena parte del XX ramas del conocimiento que crecieron aisladas, ofreciendo cada una de ellas su particular visión del mundo que nos rodea.

Hoy en día, nada que atañe a nuestro medio ambiente puede ser analizado de este modo. Nuestro trabajo en Ciencias Ambientales será de tipo **interdisciplinar**, lo que significa que habremos de poner en jugo diferentes ramas del conocimiento si queremos llegar a entender de verdad la enorme complejidad inherente al funcionamiento de nuestro medio. Todas las ramas de la ciencia citadas más arriba se convertirán en poderosas herramientas que nos permitirán conocer mejor nuestro entorno, entender su funcionamiento y aprender a gestionarlo con las necesarias garantías de supervivencia para la especie humana.

3. APROXIMACIÓN A LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

Para abordar este estudio interdisciplinar de nuestro medio ambiente necesitamos un nuevo enfoque. No nos valen ya las visiones **reduccionistas** que han

guiado a la ciencia durante buena parte de su camino (esa tendencia a acumular hechos y datos por separado que tiene sus raíces en la mecánica de Newton y que consideraría el todo, en nuestro caso el medio, como la suma de sus partes).

Vamos a buscar un enfoque **holístico**, que intente analizar “el todo”, buscando amplias regularidades y las relaciones entre las partes que lo componen sin perder demasiado tiempo en el análisis detallado de cada una de esas partes, al fin y al cabo, al enfrentarse a problemas complejos (el funcionamiento de un ecosistema o de una célula) los científicos han ido demostrando la existencia de **propiedades emergentes** (“características de los sistemas complejos que aparecen como resultado de la propia dinámica del sistema y que no vienen predeterminadas por las propiedades particulares de los elementos que los constituyen”), que no pueden ser explicadas mediante el estudio de las partes.

De entre los modelos teóricos correspondientes a esta segunda opción, uno de los más fecundos y empleados es la **Teoría General de Sistemas** desarrollada por Ludwig von Bertalanffy. Según este autor, un **sistema es un conjunto de partes que interactúan**, y que siempre puede ser descrito por una serie de ecuaciones diferenciales simultáneas en las que la variación de un componente del sistema es función de todos los demás componentes. Algunos autores añaden, además en la definición, la necesidad de que el sistema mantenga su identidad a lo largo del tiempo aunque varíe su entorno y de que el comportamiento global se oriente hacia un objetivo determinado, premisas que ya son algo más discutibles. Este concepto de sistema puede ser aplicado a cosas tan aparentemente dispares como una célula, un ecosistema, las moléculas dentro de un tubo de ensayo, los jugadores durante un partido, las personas que ocupan un aula, etc.

Aunque son posibles otras clasificaciones (naturales o artificiales, según su origen; reales, ideales o modelos, según su esencia), para nuestras necesidades, podemos establecer tres tipos básicos de sistemas desde el punto de vista termodinámico:

- **sistemas aislados**: aquellos que no intercambian ni materia ni energía con el medio. No existen en la Naturaleza, sólo son formulaciones teóricas, aunque a veces se empleen como simplificaciones (es frecuente contemplar el Sistema Solar como un sistema aislado).
- **sistemas cerrados**: intercambian energía con su entorno, pero no materia. Los ecosistemas suelen entenderse así para simplificar su estudio.
- **sistemas abiertos**: intercambian con su medio tanto materia como energía. Una charca, un bosque, un organismo vivo, serían ejemplos de este tipo.

En la biosfera sólo existen los sistemas abiertos, pues todos los sistemas que establezcamos necesitan realizar intercambios tanto de materia como de energía con el medio. Es más, todos los sistemas tendrán que ajustarse a las insoslayables reglas que rigen nuestro universo: las leyes de la termodinámica. Volveremos a ellas más tarde.

Por supuesto, los sistemas van a experimentar cambios a lo largo del tiempo. Cambios que vendrán definidos por las complejas relaciones entre las partes que los componen, por las interacciones entre diferentes sistemas y por la aparición de propiedades emergentes. Todos estos cambios se conocen como dinámica de los sistemas, y veremos algunos ejemplos al analizar más tarde los tipos de relaciones.

4. REALIZACIÓN DE MODELOS SENCILLOS DE LA ESTRUCTURA DE UN SISTEMA AMBIENTAL NATURAL

El método científico nos lleva a utilizar **modelos** para abordar el estudio de todo lo que nos rodea y los sistemas no son una excepción. Un modelo no es más que una **versión simplificada de la realidad**.

Ya conocemos la existencia de modelos mentales (guardamos en nuestro cerebro aproximaciones de la realidad desarrolladas según nuestra cultura, experiencia, personalidad, etc.) y formales (modelos matemáticos que tienen la ventaja de poder hacer predicciones acerca del comportamiento de las variables estudiadas).

Para estudiar los sistemas (en realidad los sistemas abiertos) vamos a emplear dos tipos de modelos particulares:

- **Modelos de sistemas de caja negra:** se establecen cuando del sistema sólo nos interesan las entradas y salidas y no lo que hay en su interior. Evidentemente si el sistema intercambia materia y energía deberá cumplir las leyes de la termodinámica ya comentadas. (La clasificación de sistemas en abiertos, cerrados y aislados se corresponde con este tipo de modelos).
- **Modelos de sistemas de caja blanca:** en esta ocasión si vamos a mirar dentro del sistema pues nos interesan las interacciones entre sus partes. A la hora de modelizar en este caso tendremos que analizar las variables del sistema (partes) y establecer mediante flechas las relaciones que existan (**diagrama causal**), o al menos las que en un momento dado nos interese estudiar para no complicar demasiado el modelo. Llamaremos relaciones causales a las interacciones causa-efecto, que pueden ser simples o complejas.

Vamos a estudiar brevemente los diferentes tipos de relaciones:

1. **Relaciones simples:** influencia de un elemento sobre otro.

- **Directas:** si al incremento en un elemento le responde automáticamente el incremento del otro o viceversa.
 - **Inversas:** el incremento de un elemento deriva en la disminución del otro o viceversa.
 - **Encadenadas:** en ellas son más de dos los elementos relacionados y es conveniente para simplificar su lectura, analizar independientemente la relación entre cada par de elementos. Si al hacerlo de este modo el número de relaciones inversas es par, la resultante será una relación directa; si es impar, la resultante será una relación inversa.
2. **Relaciones complejas: retroalimentación.** En este caso la influencia de un elemento sobre otro implica que también este último ejerza, a su vez, una influencia sobre el primero.
- **Bucles de retroalimentación positiva:** se producen cuando el aumento de un elemento provoca el aumento del otro, que se traduce en un nuevo incremento del primero y así continuamente. Estos bucles son capaces de hacer crecer descontroladamente algunas variables del sistema que, como consecuencia, se vería desestabilizado.
 - **Bucles de retroalimentación negativa:** el aumento de un elemento hace aumentar al otro, pero contrariamente a lo que ocurría en el caso anterior, el aumento del segundo elemento provoca una disminución del primero. Estos bucles son estabilizadores y tienden a tener el sistema bajo control.

Algunos autores hablan de **sistemas cibernéticos** para designar aquellos que utilizan alguna clase de mecanismo de retroalimentación para su regulación (por ejemplo un termostato que mantiene la temperatura de una habitación dentro de unos niveles prefijados). En la naturaleza son muy frecuentes, recuerda el mecanismo de actuación de las hormonas que estudiaste el año pasado o los equilibrios en las reacciones químicas, o la relación existente entre un depredador y su presa estudiado en 4º de ESO.

Una vez analizadas las relaciones, es sencillo representar gráficamente un sistema. Para ello vamos a emplear los conocidos como **diagramas causales**, en los que incluiremos, tanto los elementos del sistema, como las relaciones que se establezcan entre ellos.

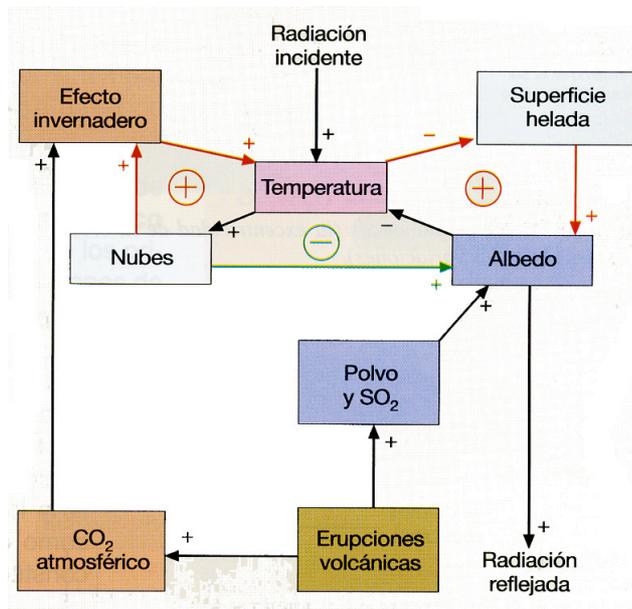


Fig. 1. Ejemplo diagrama causal.

5. COMPLEJIDAD Y ENTROPÍA

Como ya sabéis, la primera ley de la termodinámica establece que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma, lo que significa que la cantidad total de energía del universo permanece constante.

La segunda afirma que cada vez que la energía se transforma, tiende a pasar de una forma más organizada y concentrada (más útil) a otra menos organizada y más dispersa. De este principio surge el concepto de **entropía**, magnitud que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema (o el grado de desorden del sistema). La tendencia natural del universo es hacia el aumento de la entropía (por tanto del desorden y de la energía no utilizable).

La implicación ecológica de este principio nos lleva a que las transformaciones nunca sean muy eficaces, convirtiendo energía útil, en formas más dispersas y a menudo inútiles. De este modo los sistemas necesitarán un aporte continuo de energía para su funcionamiento, ya sean células, ecosistemas o el planeta en su conjunto.

Puesto que los sistemas deben someterse a las leyes de la termodinámica, nos encontraremos con que en su funcionamiento, la energía que entre en el sistema se repartirá entre la que se quede en el propio sistema y la que salga de él, que lo hará siempre en formas más desorganizadas (menos útiles: calor). Al incorporar materia, energía e información, los sistemas evolucionan hacia grados cada vez mayores de complejidad (autoorganización), logrando, además, mantener una cierta estabilidad a lo largo del tiempo.

6. EL MEDIO AMBIENTE COMO SISTEMA. EJEMPLIFICAR EN LA HIPÓTESIS DE GAIA

En definitiva, y dejando de lado la compleja terminología de la Teoría General de Sistemas, podemos considerar la biosfera como un entramado de sistemas, ecosistemas en nuestro caso, que interactúan unos con otros y que pueden estar todos ellos en muchos estados diferentes, existiendo, por tanto, una íntima relación y un continuo intercambio de materia, energía e información entre todos ellos. Esto significa que la alteración de un sistema puede llevar a la alteración inesperada de todos los demás, lo que obliga a convertir la planificación y la prevención en normas básicas ante las actividades humanas en el entorno.

A su vez, todo el funcionamiento de nuestro planeta puede ser visto como el resultado de la interacción de sistemas. J. Lovelock llegó a esta conclusión en su Hipótesis de Gaia, en la que nuestro planeta aparece como un sistema autorregulado mediante la interacción de otros subsistemas: biosfera, atmósfera, hidrosfera y geosfera.

Cuando J. Lovelock fue llamado por la NASA en 1965 para participar en el primer intento de descubrir la posible existencia de vida en Marte, trabajó como asesor de un equipo cuyo objetivo principal era la búsqueda de métodos y sistemas que permitieran la detección de vida en Marte y en otros planetas. Uno de los problemas a resolver sería el encontrar los criterios que deberían seguirse para lograr detectar cualquier tipo de vida. A Lovelock le llamaron la atención las radicales diferencias que existían entre la Tierra y los dos planetas más próximos, fue la singularidad de las condiciones de la Tierra lo que le llevó a formular su hipótesis de GAIA.

La **hipótesis de Gaia** es un conjunto de modelos científicos de la biosfera en el cual se postula que la vida fomenta y mantiene unas condiciones adecuadas para sí misma, afectando al entorno. Según la hipótesis de Gaia, biosfera, atmósfera, hidrosfera y geosfera (los subsistemas del sistema Tierra) se comportan como un todo coherente donde la interacción de todos los componentes se encarga de autorregular sus condiciones esenciales. Gaia se comportaría pues, como un sistema autorregulador (que tiende al equilibrio).

Según la segunda ley de la termodinámica un sistema cerrado tiende a la máxima entropía. En el caso del planeta Tierra su atmósfera debería hallarse en equilibrio químico, todas las posibles reacciones químicas ya se habrían producido y su atmósfera se compondría mayoritariamente de CO₂ (Se estimó que la atmósfera debería componerse de, aproximadamente, un 99% de CO₂) sin apenas vestigios de oxígeno y nitrógeno. Según la teoría de Gaia, el que al día de hoy la atmósfera la compongan un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y apenas un 0,03% de dióxido de

carbono se debe a que la vida, con su actividad y su reproducción, mantiene estas condiciones que la hacen habitable para muchas clases de vida.

Con anterioridad a la formulación de la Hipótesis de Gaia se suponía que La Tierra poseía las condiciones apropiadas para que la vida se diese en ella, y que esta vida se había limitado a adaptarse a las condiciones existentes, así como a los cambios que se producían en esas condiciones. La Hipótesis de Gaia lo que propone es que dadas unas condiciones iniciales que hicieron posible el inicio de la vida en el planeta, ha sido la propia vida la que las ha ido modificando, y que por lo tanto las condiciones resultantes son consecuencia y responsabilidad de la vida que lo habita.

Entre los argumentos utilizados para defender esta hipótesis podemos citar:

- La temperatura global de la superficie de la Tierra ha permanecido constante, a pesar del incremento en la energía proporcionada por el Sol.
- La composición atmosférica permanece constante, aunque debería ser inestable, y muy alejada de los equilibrios termodinámicos teóricos como en otros planetas. (Ejemplos de algunos valores de gases atmosféricos en diversos planetas: **CO₂**: Marte 95%, Venus 98%, Tierra (sin vida) 98%, Tierra (con vida) 0.03%. **O₂**: Marte 0,13%, Venus trazas, Tierra (sin vida) trazas, Tierra (con vida) 21%).
- La salinidad del océano permanece constante a pesar del continuo aporte desde los continentes.

Un modelo sencillo que suele usarse para ilustrar la hipótesis Gaia es la simulación del “mundo de margaritas”, que veremos en el tema siguiente al estudiar los modelos de simulación.

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

A lo largo de la historia de la Tierra se han producido una serie de cambios ambientales, provocados a su vez, por la variación de diversos factores biológicos, físico-químicos o extraterrestres, que llegaron a desencadenar importantes variaciones climáticas y biológicas entre las que destacan los episodios de extinción masiva.

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.

Con carácter general, distinguimos tres tipos de **factores de extinción** que provocaron cambios ambientales relevantes: Biológicos, Físico-químicos y Extraterrestres

- **Factores biológicos:** son aquellos que tienen que ver con las relaciones entre especies animales y vegetales que pueblan el planeta Tierra. Son, por ejemplo, la depredación, las enfermedades de origen bacteriano o vírico, la competencia o 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.
- **Factores físico-químicos:** son muy variados. Pueden provocar cambios ambientales e, indirectamente, la extinción de las especies que no los resistan. Algunos de 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.
- **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 se desarrollan otras nuevas especies. 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.

Veamos algunos ejemplos de extinciones masivas en la historia de nuestro planeta.

7.1. LAS EXTINCIONES DURANTE EL PROTEROZOICO

a. La revolución del oxígeno.

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**.

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 CH₄, NH₃, H₂, 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.

b. 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*.

7.2 LAS EXTINCCIONES DURANTE EL FANEROZOICO

7.2.1. 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. Desde ese momento y hasta nuestros días, se suceden una serie de espectaculares extinciones seguidas de períodos de crecimiento de la biodiversidad.

c. 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:

- **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;
- **Cambios climáticos.** Posteriormente a la regresión se produce un cambio climático que hace que los casquetes glaciares de Gondwana se descongelaran, provocando una transgresión (el mar invade las costas).
- **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 CO₂ 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.

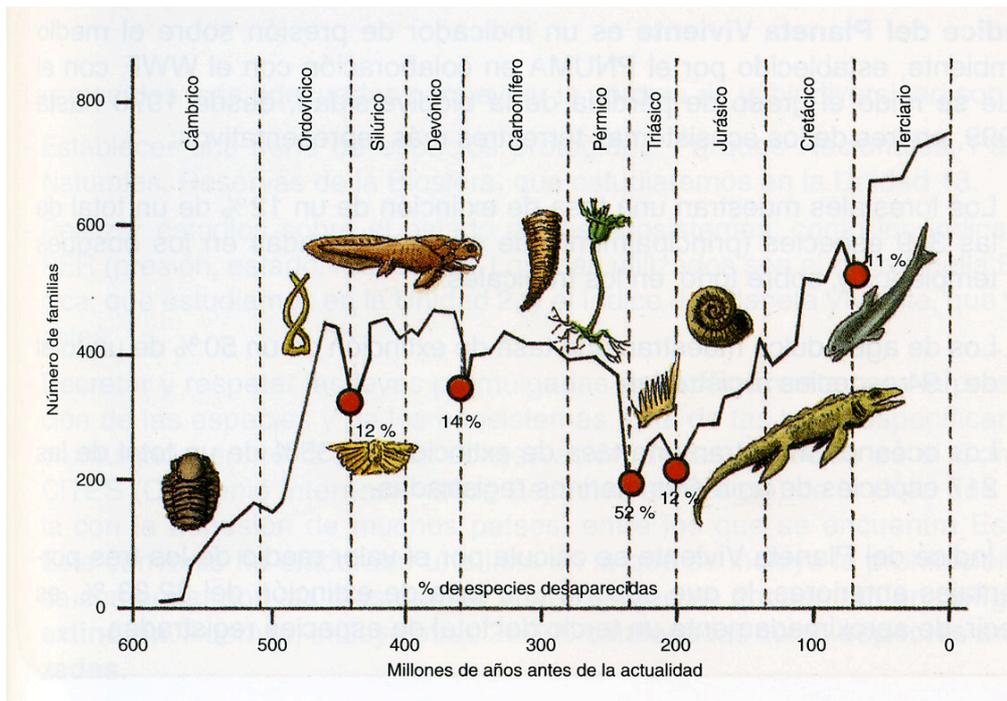


Fig.2. Historia de la diversidad y extinciones.

d. 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 CO₂ atmosférico. Se supone que la pérdida de este gas contribuyó al enfriamiento global.

e. 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. Perecieron 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.

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 km³/año, que cubrieron un área de 337.000 km². Se estima un volumen de lava basáltica solidificada de entre 1.6 y 2.5 millones de km³. El vulcanismo a esta escala podría haber producido cantidades masivas de CO₂ y SO₂, 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 SO₂ 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 CO₂ 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.

7.2.2. Las extinciones del Mesozoico

f. 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.

g. 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 en la famosa Capa Negra del Barranco del Gredero.

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 experimentaron un tremendo crecimiento de la diversidad nada más terminar el Cretácico. Incluso gracias a la desaparición de los dinosaurios pudieron desarrollarse con mayor celeridad los

mamíferos.

7.2.3. 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 de la vegetación. 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. De nuevo los mamíferos fueron los principalmente afectados.
- Ya en el *Cuaternario* (dentro de los últimos 2 M. a.) se produjeron variaciones climáticas que dieron lugar a varias glaciaciones que afectaron igualmente a los mamíferos.

8. RELACIONES HUMANIDAD Y MEDIO AMBIENTE: MODELOS DE DESARROLLO.

A lo largo de la historia de la humanidad, todas las sociedades han introducido modificaciones de mayor o menor consideración sobre el medio al obtener de éste los recursos necesarios para su subsistencia. De hecho, todas las actividades humanas son potencialmente contaminantes al introducir cambios en los equilibrios naturales de los ecosistemas.

Como podéis apreciar en la tabla 1, dichas modificaciones han sido muy diferentes según el tipo de sociedad que consideremos. Los primeros humanos, cazadores recolectores que nomadeaban por las sabanas, apenas producían modificaciones en su entorno al dedicarse a actividades asumibles por los ecosistemas ya que utilizaban recursos renovables y en escasas cantidades.

Con la aparición de la agricultura y la ganadería, que llevaron aparejados los primeros asentamientos permanentes, la situación se hizo manifiestamente diferente; ya era necesario ganar terreno a la vegetación para las plantaciones y los pastos, por lo que la quema y el desbroce del bosque o el matorral se convirtieron en prácticas frecuentes. La presión sobre los suelos se hacía mayor conforme aumentaba la población y aparecieron los primeros problemas ambientales, asociados, sobre todo, a la sobreexplotación de los suelos que se hace mayor al colonizar áreas cada vez más marginales, con pendientes acusadas o sobre suelos pobres.

Conforme las comunidades se hacen más y más complejas aumenta su grado de alteración del medio que les rodea. En la Edad Media las necesidades de madera, para ser usada como combustible y como materia prima, obligan a talas cada vez más indiscriminadas; las necesidades alimenticias se hacen más acuciantes a partir del siglo XV con el crecimiento de la población; cada vez son necesarias mayores cantidades de minerales, rocas y materias primas.

ETAPA	ORGANIZACIÓN SOCIAL	HÁBITAT	IMPACTO SOBRE EL PAISAJE
Recolección	Pequeñas tribus nómadas	Muy rudimentario	Prácticamente nulo
Caza y Pesca	Tribus nómadas con reagrupamientos temporales	Campamentos rudimentarios	Casi nulo
Ganadería tradicional	Tribus y sociedades, nómadas o sedentarias.	Tiendas, chozas o casas.	Desbroce. Pastos, caminos, pueblos, ciudades-mercado.
Agricultura tradicional	Grupos aldeanos, etnias jerarquizadas, sociedades sedentarias.	Casas de madera, adobe o piedra.	Roturación, campos, pastos, caminos, pueblos.
Agricultura y ganadería modernas. Industrias.	Sociedades más concentradas. Especialización del trabajo.	Como antes, pero además con materiales sintéticos.	Muy activo, además aparece la contaminación industrial
Postindustrial	Hiperconcentración.	Ampliamente industrializado.	Predominio de la urbanización. Retorno al baldío en ciertas áreas.

Tabla 1. Etapas de la influencia humana sobre el medio (modificado de López Bonillo, 1994)

Tras la Revolución Industrial se intensifica un fenómeno diferente: la contaminación. Sustancias de origen natural o sintético son añadidas en grandes cantidades a los sistemas acuáticos o terrestres sin analizar las consecuencias para la biosfera.

Durante los siglos XIX y XX todos los problemas ambientales se han ido intensificando, en gran parte por el extraordinario incremento de la población humana, lo que obliga a colonizar nuevas áreas para buscar recursos y en parte por el proceso de industrialización, que introduce nuevos y cada vez más peligrosos contaminantes en el medio.

En las últimas décadas, las relaciones del hombre con su medio han sufrido un brusco cambio de orientación. Somos tecnológicamente capaces de transformar el entorno, pero también somos capaces de percibir ese cambio y de analizar sus consecuencias. Esto debería llevarnos de la explotación indiscriminada a la gestión del medio si queremos que existan posibilidades de futuro para las generaciones venideras.

Hoy en día coexisten tres concepciones diferentes sobre los términos en que deben plantearse nuestras relaciones con el medio, tres formas básicamente distintas de desarrollo que representan tres vías de acción política completamente divergentes:

- **Desarrollismo:** modelo clásico basado en la premisa de que hemos de continuar el desarrollo para disfrutar de las ventajas de los avances tecnológicos. Deja de lado las consecuencias sobre el medio ambiente y olvida que todo avance se basa en la explotación de recursos que son, en su mayoría, finitos.
- **Conservacionismo:** es el modelo opuesto y surge como oposición al anterior en la década de los setenta apoyado sobre el informe del Club de Roma, "Los límites del crecimiento". Su obsesión es detener el desarrollo (crecimiento cero) y salvaguardar el medio.
- **Desarrollo sostenible:** término popularizado por el Informe Bruntland, que lo define como "el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

El modelo de desarrollo sostenible parece abrirse camino lentamente (más en los medios de comunicación y en la publicidad que en la práctica diaria), tal vez como reflejo de la crisis económica y ambiental que padecemos y de la constatación cada vez más evidente de que los recursos son finitos. Para que este modelo se imponga, debemos lograr la sostenibilidad a tres niveles:

- **Sostenibilidad económica**
- **Sostenibilidad ecológica**
- **Sostenibilidad social**

Para conseguir estos tres pilares de la sostenibilidad, nuestro modelo de desarrollo debe atenerse a varios principios:

- De uso sostenible de los recursos (por debajo de su tasa de renovación)
- De emisión sostenible (siempre por debajo de la capacidad de asimilación de los ecosistemas)
- De selección sostenible de tecnologías (limpias, eficientes y basadas en recursos renovables)
- De desarrollo social equitativo (que elimine las diferencias norte-sur y garantice realmente una mejora en la calidad de vida de todos los habitantes del planeta).

	DESARROLLISMO	CONSERVACIONISMO	DESARROLLO SOSTENIBLE
Objetivo fundamental	<ul style="list-style-type: none"> - Producir riqueza y bienes de consumo 	<ul style="list-style-type: none"> - No aumentar la degradación ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> - Compatibilizar el desarrollo económico con la conservación del equilibrio ambiental
Problemas que preocupan	<ul style="list-style-type: none"> - Obtener recursos - Competir en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> - Agotamiento de recursos - Superpoblación - Contaminación - Desaparición de especies y ecosistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Igual que el anterior - Diferencias de desarrollo entre los países.
Soluciones propuestas	<ul style="list-style-type: none"> - Búsqueda de nuevas técnicas de explotación y nuevos recursos 	<ul style="list-style-type: none"> - Stop al desarrollo para conservar la naturaleza - Ahorro y/o reciclaje de recursos - Reforestación, detener la contaminación, etc... 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo tecnológico y ahorro - Restauración de ciclos naturales - Responsabilidades compartidas y educación ambiental. - Estudios de I.A.
Dificultades y críticas al modelo	<ul style="list-style-type: none"> - No es sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> - No se justifica el crecimiento cero para los países en desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> - Conseguir transferencias de tecnología y dinero para el desarrollo. - Necesidad de un consenso internacional para aplicarlo.
Impactos provocados	<ul style="list-style-type: none"> - Agotamiento de recursos - Alteración de ciclos - Contaminación - Pérdida de biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento de los problemas globales - Control de contaminación, limpieza de algunos ríos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación parcial de ciclos naturales. - Conservación de biodiversidad.

Tabla 2. Comparación entre los modelos de desarrollo. (Nieda y Barahona, 1993)

TEMA 2. FUENTES DE INFORMACIÓN AMBIENTAL.

1. *Introducción.*
2. *GPS: fundamentos, tipos y aplicaciones.*
3. *Teledetección: fotografías aéreas, satélites meteorológicos y de información medioambiental.*
4. *Interpretación de fotografías aéreas.*
5. *Radiometría y sus usos.*
6. *Programas informáticos de simulación medioambiental.*

1. INTRODUCCIÓN

Para poder gestionar adecuadamente nuestro medio ambiente hemos de conocerlo lo mejor posible. Las nuevas tecnologías han ayudado sobremanera tanto en ese conocimiento, como en el cambio de paradigma que se ha producido. Cuando estudiábamos nuestro planeta desde su superficie nos parecía ilimitado y con recursos infinitos (visión del *cowboy*); al poder verlo desde el espacio (visión del *astronauta*) hemos tomado conciencia de su finitud y de la limitación de nuestros recursos para una población en aumento exponencial.

A lo largo de este tema, tan sólo queremos presentarte algunas de las herramientas fundamentales para el estudio del medio y comprender la aportación específica de cada una de ellas. Para llevarlo a cabo, te proponemos trabajar mediante la consulta de algunas páginas elegidas de la web y haciendo algunas actividades concretas. Nuestro objetivo es, por tanto, que confecciones un glosario con las definiciones de cada una de esas tecnologías y comprendas como trabajan.

2. GPS: FUNDAMENTOS, TIPOS Y APLICACIONES.

Si comenzamos por consultar la Wikipedia, encontrarás lo siguiente:

“El **Global Positioning System (GPS)** o **Sistema de Posicionamiento Global** (más conocido con las siglas *GPS*, aunque su nombre correcto es **NAVSTAR-GPS1**) es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se atribuye a los gobiernos francés y belga, el

sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado por el Departamento de Defensa de los EEUU

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

Actualmente la U. E. está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado **Galileo**.

ACTIVIDADES

Para conocer más sobre el GPS y sus aplicaciones, vamos a consultar la página web de la NASA, en la que debes hacer una lectura detallada de las **aplicaciones** del sistema: <http://www.gps.gov/spanish.html>

The screenshot displays the 'SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL' website. It features a header with the title and a sub-header 'Al Servicio del Mundo'. Below this, there is a grid of application categories, each with a representative image and a label: Cronometría, Carreteras y Autopistas, Espacio, Aviación, Agricultura, Navegación Marítima, Vías Férreas, Medio Ambiente, Seguridad Pública y Socorro en Caso de Desastre, Cartografía y Geodesia, and Recreación. To the left of the grid, there is a text block explaining the GPS system and a vertical menu with the following items: INFORMACIÓN SOBRE EL SISTEMA, El Sistema de Posicionamiento Global, Aplicaciones al GPS, APLICACIONES, Cronometría, Carreteras y Autopistas, Espacio, Aviación, Agricultura, Navegación Marítima, Vías Férreas, Medio Ambiente, Seguridad Pública y Socorro en Caso de Desastre, Cartografía y Geodesia, and Recreación.

3. TELEDETECCION: FOTOGRAFÍAS AÉREAS, SATÉLITES METEOROLÓGICOS Y DE INFORMACIÓN MEDIOAMBIENTAL.

La teledetección o percepción remota (en inglés *Remote Sensing*) es una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos terrestres y planetarios. Sus principales fuentes de información son las medidas y las imágenes obtenidas con la ayuda de plataformas aéreas y espaciales. Como su nombre indica, la teledetección supone la adquisición de información a distancia, sin contacto directo con el objeto estudiado.

Los **sistemas de teledetección**, basados inicialmente en la fotografía aérea, dieron un salto cualitativo al pasar de los aviones a los satélites y, posteriormente, de la fotografía analógica a la digital que puede ser manipulada a conveniencia en función de los estudios a realizar. Hoy en día se utilizan numerosas radiaciones del espectro para tomar diferentes tipos de imágenes: visible (RGB); microondas (radar); infrarrojo (próximo, medio o térmico). Los satélites suelen ser multibanda, de modo que recogen información en diferentes longitudes de onda. Esta información será tratada después digitalmente y mostrada en forma de mapas con en blanco y negro, color real o falso color según los elementos del medio a estudiar.

ACTIVIDADES

En esta ocasión, la página a consultar es:

<http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/index.htm>



En ella debes conseguir la siguiente información: en qué consiste la teledetección, que elementos son necesarios, como se consigue dar color a las fotografías aéreas, las diferencias entre color real y artificial. Después trabajaremos algunas de las actividades que se proponen en la propia página.

4. INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.

Este apartado, evidentemente de tipo práctico, lo haremos en el laboratorio. Vamos a manejar los estereoscopios para interpretar fotografías aéreas y a utilizar la web para trabajar con fotografías de satélite: seguro que ya has trabajado antes con el famoso programa Google Earth.

Con este manejo, alcanzaremos a comprender lo que son los **SIGs o Sistemas de Información Geográfica**: sistemas basados en programas de ordenador que recogen la información de todos los datos que facilitan los sensores de una determinada área geográfica. Suelen estar basados en sistemas de teledetección y pueden integrar la información por capas y ofrecerla bien en formato digital, bien en forma de imágenes o mapas. Su gran utilidad está en la gran cantidad de información tratada que se suele aplicar a problemas concretos de gestión o planificación.

Entre las utilidades medioambientales de los SIG podemos destacar:

- Inventario de recursos naturales: tipos, cantidad, distribución, evolución temporal, etc.
- Estudios de impacto ambiental.
- Cartografía de riesgos naturales, que permita su correcta predicción (si es posible) o su prevención.
- Gestión de los espacios naturales, facilitando la toma de decisiones sobre áreas concretas a la vista de su valor o utilidad.
- Estudio de ecosistemas.

(Ejemplos en España pueden ser el programa CORINE de la UE que reúne datos geográficos y socioeconómicos; el SIG del INM, el Proyecto PNCTA o Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental del MMA que realiza el IGE; los SIG de riesgos, etc.)

5. RADIOMETRÍA Y SUS USOS.

La **radiometría** es la ciencia que se ocupa del estudio de la medida de la Radiación electromagnética. Su campo abarca todas las longitudes de onda del espectro electromagnético (frecuencias entre 3×10^{11} y 3×10^{16} Hz o longitudes de onda de entre 0,01 y 1000 micrómetros, al contrario que la fotometría que solo se ocupa de la parte visible del espectro, la que puede percibir el ojo humano.

La radiometría es importante, además de para las ciencias ambientales, en astronomía, especialmente en la Radioastronomía y en Geofísica. La medida cuantitativa de la intensidad de la radiación se hace por medio de diferentes tipos de

detectores que convierten parte de la radiación en calor o en una señal eléctrica, con termopares o fotodiodos.

Los satélites de recogida de información, además de contar con cámaras digitales, suelen contar con sensores de radiación, lo que permite recoger también información sobre la energía absorbida o desprendida por diferentes localizaciones. Estos datos pueden ser útiles para diversos estudios: cambio climático, estado y evolución de zonas forestales, seguimiento de la evolución de los glaciares, etc.

6. PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE SIMULACIÓN MEDIOAMBIENTAL.

Finalmente, una herramienta básica en el estudio de nuestro medio, dada su enorme complejidad, es la elaboración de **modelos informáticos de simulación**. Se trata de programas informáticos enormemente complejos que nos permiten simular el funcionamiento de un sistema concreto para analizar su comportamiento sus tendencias generales, para facilitar la predicción de pautas y la toma de medidas de gestión. Buen ejemplo de ello son los modelos de simulación del clima que permiten la predicción meteorológica y el estudio del cambio climático; los modelos de dinámica oceánica con que estudiamos el desarrollo de fenómenos como El Niño o el desarrollo de tsunamis; o modelos del funcionamiento global del planeta como el World-2 y su sucesor el World-3.

ACTIVIDADES

Para acercarnos a estos modelos, vamos a utilizar el conocido "**Daisy World**" (El mundo de las margaritas), creado por J. Lovelock y A. Watson para apoyar su teoría de Gaia. Lo haremos a partir de la página del departamento de Ecología de la Universidad de Málaga: http://uma.es/aula/ecologia/material_soft.htm