

Factores ambientales y su relación con la salud pública

ENVIRONMENTAL FACTORS AND THEIR RELATION TO PUBLIC HEALTH

Elena ESPIGARES

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. CP 18071, Granada, España.
Correspondencia: Elena Espigares Rodríguez. Correo-e: elespi@ugr.es

RESUMEN

Se analiza el concepto de ecosistema y su relación con la salud humana. Se explican los elementos del ecosistema y su funcionamiento: corriente de energía, estructura trófica, ciclos biogeoquímicos, factores físicos, y evolución y regulación del ecosistema.

Palabras clave: ecosistema, salud, medio ambiente, estructura trófica, ciclos biogeoquímicos.

ABSTRACT

The concept of ecosystem and its relation to human health are analyzed. The elements of the ecosystem and its functioning are explained: energy current, trophic structure, biogeochemical cycles, physical factors, and evolution and regulation of the ecosystem.

Key words: ecosystem, health, environment, trophic structure, biogeochemical cycles.

CONCEPTO DE ECOSISTEMA

Si denominamos *sistema* a un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de una colectividad, en el *ecosistema* la regulación ocurre en el grupo constituido por los seres vivos. Se puede definir el ecosistema como una unidad que incluye todos los organismos de un área determinada que interaccionan entre sí y con el ambiente que ocupan. Éste, denominado *medio ambiente*, incluye el lugar físico en el que se encuentran las especies, y las características y condiciones ambientales (clima, temperatura, insolación, etc.).

El funcionamiento del ecosistema exige un aporte de *energía*, que da lugar a una *estructura trófica*, como consecuencia del aprovechamiento de la energía por los organismos, y unos *ciclos biogeoquímicos*, en los que los elementos circulan alternativamente en el medio ambiente y en los organismos.

Los ecosistemas en los que la presencia de la especie humana es notable se les denomina *antroposistemas*. Es necesario entender que estos ecosistemas se rigen por las mismas leyes naturales que los ecosistemas en general, si bien la actividad humana conduce a excesos que pueden sobrepasar los mecanismos de regulación lo que conduce a una



Figura 1. Componentes del ecosistema.

regresión del ecosistema, alteración del equilibrio de las especies, y efectos negativos sobre la especie humana y su salud.

LA ENERGÍA EN EL ECOSISTEMA

La fuente originaria de energía en el ecosistema es la energía solar, que determina su temperatura, y en una pequeña parte es asimilada en el proceso de fotosíntesis en forma de compuestos orgánicos ricos en energía. Los organismos que realizan esta función se denominan *autótrofos* o *productores primarios*. La energía asimilada por estos organismos puede ser utilizada por otros organismos, denominados *heterótrofos* o *consumidores*.

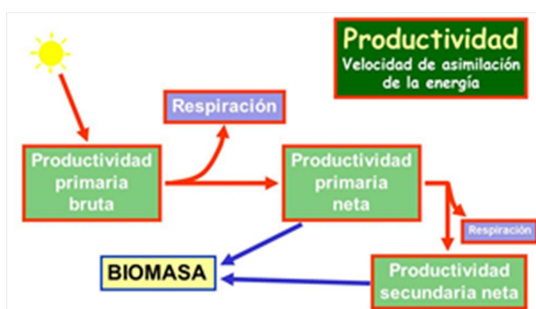


Figura 2. Corriente de energía en el ecosistema.

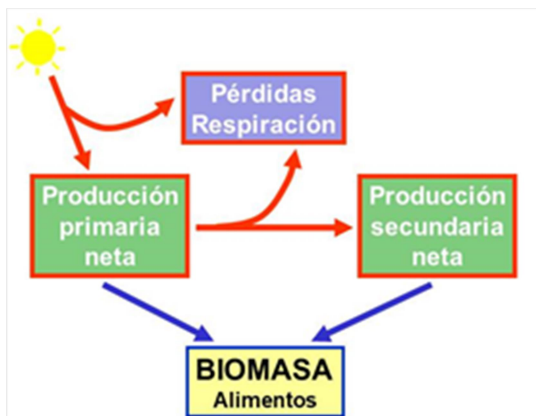


Figura 3. Producción de alimentos en el ecosistema.

La velocidad a la que es asimilada la energía en las transferencias se denomina *productividad*, que puede ser *primaria*, relativa a los productores primarios mediante la fotosíntesis, y *secundaria*, la que mide la velocidad de transferencia de la energía de los organismos autótrofos a los heterótrofos. Pero no toda la energía asimilada en la fotosíntesis estará disponible para otros organismos; las plantas, los organismos autótrofos en general, consumen parte de la energía asimilada para mantener sus funciones vitales (reproducción, metabolismo endógeno, mante-

nimiento de las constantes vitales, etc.). Este consumo de energía, que en términos ecológicos se suele denominar *respiración* o *catabolismo ecológico*, nos lleva a diferenciar entre *productividad bruta* y *neta*, siendo esta última la diferencia entre productividad bruta y respiración.

Si la energía es acumulada a una determinada velocidad, conforme transcurre el tiempo irá aumentando la cantidad de energía almacenada, que estará disponible para transferencias de energía a otros organismos. La energía almacenada se denomina *biomasa*, que se obtendría de la siguiente expresión:

$$\text{Biomasa} = \text{Productividad neta} \times \text{tiempo}$$

La producción de biomasa es muy importante ya que es el recurso energético disponible en el ecosistema. La disponibilidad de alimentos para la especie humana en el antroposistema es un proceso de producción de biomasa, si bien es un proceso focalizado a un reducido número de especies que constituyen la alimentación humana.

La cantidad de energía disponible es uno de los factores que va a condicionar el crecimiento y desarrollo del ecosistema, junto a otros factores tales como el ambiente climático o la disponibilidad de recursos materiales. Los ecosistemas naturales se ven limitados por la falta de energía y recursos disponibles, limitación que puede afectar a muchos antroposistemas. Pero el caso de la especie humana es particular, ya que a través del desarrollo tecnológico es capaz de utilizar fuentes de energía alternativas (combustibles fósiles, energía nuclear, energías renovables). Esta energía extra que sólo dispone la especie humana constituye un *subsidio de energía* en el antroposistema. Todas las especies consumen la energía necesaria para mantener sus funciones vitales, lo que se denomina *metabolismo endosomático*. La especie humana, a través de los subsidios de energía, desarrolla un gran número de actividades específicas (agricultura, arquitectura, ingeniería, electrónica, turismo, cultura, moda, etc.), no comunes al resto de especies. Estas actividades, denominadas en su conjunto *metabolismo exosomático*, suponen un elevado consumo de energía y de recursos. Considerando el consumo total de energía en los países desarrollados, el metabolismo endosomático sólo representa aproximadamente un 12 %, mientras que en el metabolismo exosomático se consume un 88 % o más de la energía. La diferencia entre metabolismo endo y exosomático se va haciendo menos notable cuanto menor es el grado de desarrollo económico-social. La mayoría de los indicadores de desarrollo económico o de salud miden indirectamente el metabolismo exosomático de un antroposistema.

Los problemas ambientales son de origen antrópico (contaminación atmosférica, del agua, efecto invernadero, etc.), y tienen como causa común el exceso de metabolismo exosomático. Éste también está relacionado con la salud, con efectos positivos y

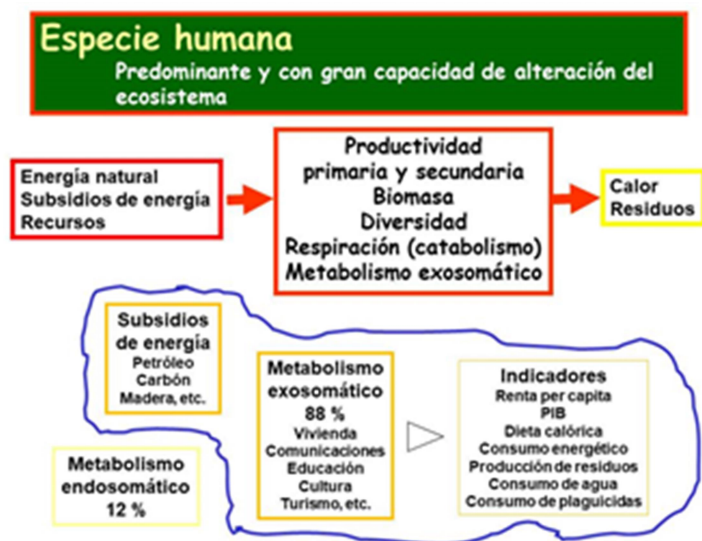


Figura 4. El metabolismo exosomático de la especie humana en el antroposistema.

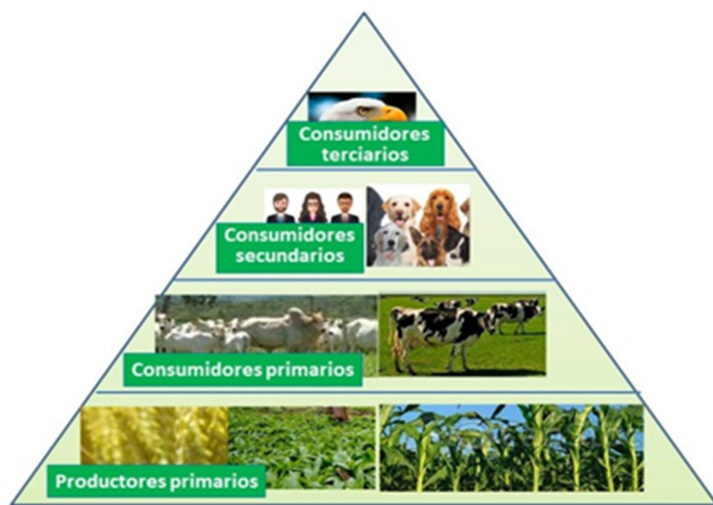


Figura 5. Estructura trófica: pirámide ecológica.

negativos. Por una parte, un mayor metabolismo exosomático significa un mayor grado de desarrollo económico y social, una mayor cantidad de recursos sanitarios disponibles, y por lo tanto un mayor nivel de salud. La producción de vacunas o las instalaciones hospitalarias forman parte del metabolismo exosomático, incidiendo en un aumento de salud de la población. Pero en sentido negativo, cuanto mayor es el metabolismo exosomático más alteraciones se producen en el ecosistema (contaminación del aire, agua y alimentos, disminución de recursos hídricos,

alteración climática, etc.), con efectos directos e indirectos para la salud.

ESTRUCTURA TRÓFICA

La energía almacenada en el ecosistema va a ser sucesivamente consumida por diferentes especies, por lo que se utiliza el término de *cadena trófica*. Ésta empieza en los organismos fotosintéticos, que asimilan y almacenan la energía solar, y por lo tanto, constituyen la base de la cadena trófica. Se les denomina *productores primarios* y constituyen el soporte a partir de la cual se construye la *estructura trófica* del ecosistema. Este primer eslabón de la cadena trófica condicionará el desarrollo de todo el ecosistema.

La energía contenida en la biomasa de los productores primarios será consumida por los *consumidores primarios*, organismos que se alimentan de los vegetales, herbívoros en sentido amplio, y estos a su vez serán consumidos por los *consumidores secundarios*, y así varios niveles tróficos.

Pero no toda la energía disponible en un nivel trófico será convertida en biomasa disponible para el siguiente nivel. La *eficiencia de producción* es el porcentaje de energía asimilada que queda como biomasa disponible. El rendimiento en la transferencia de energía de unos organismos a otros es relativamente bajo. Se establece como media un 10% de rendimiento energético de un nivel trófico al siguiente; no quiere decir que todas las transferencias tengan este valor, sino que oscilan entre valores de los que se obtiene este valor medio. Es decir, en cada transferencia de energía entre especies se pierde el 90% de la energía, y sólo se aprovecha un 10%. Por esta razón, la estructura trófica de los ecosistemas tiene un número limitado de niveles tróficos.

Los alimentos que consume la población humana se obtienen de un número limitado de especies, en función de los hábitos culturales de cada país. La agricultura y ganadería son actividades que reducen la diversidad de especies, facilitando el crecimiento de las especies que la población humana consume. La estructura trófica del antroposistema funciona según los mismos principios que los ecosistemas en general, con algunas diferencias. Así, podemos señalar que la especie humana es omnívora, por lo que ocupa

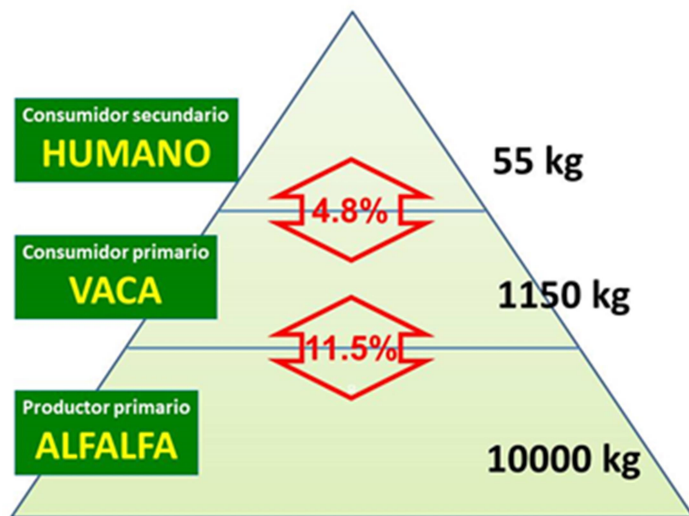


Figura 6. Ejemplo de rendimiento energético en una cadena alimentaria humana.



Figura 7. Reducción de la energía en los niveles tróficos y aprovechamiento de los detritivos.

distintos niveles de consumidores. Por otra parte, el rendimiento energético es bajo, porque sólo aprovechamos una parte de las especies que dedicamos a la alimentación (de las plantas de cereales sólo las semillas, de los animales para carne separamos piel, huesos y vísceras, etc.).

Los cambios en la producción ganadera aumentan el potencial de que surjan, crezcan y se propaguen nuevos agentes patógenos desde los animales a los seres humanos a escala mundial. La producción de alimentos de origen animal es el origen de un grupo de enfermedades que se transmiten de los animales a la especie humana, conocido como *zoonosis*. En este grupo de enfermedades, el agente causal parasita habitualmente a algunas especies animales, pero puede transmitirse a personas que están en contacto con éstas o sus productos.

Teniendo en cuenta ese valor medio de rendimiento energético del 10%, la producción de

proteínas de origen animal supone una pérdida del 90% de la producción vegetal, lo cual va a condicionar el tipo de alimentación en función del desarrollo económico. Los países desarrollados, con suficientes recursos agrícolas, pueden soportar estas pérdidas energéticas del 90% para producir productos cárnicos, y satisfacer de este modo las necesidades proteicas. En cambio, muchos países en vías de desarrollo no alcanzan una producción agrícola suficiente para su propia alimentación, por lo que no pueden perder el 90% para producir proteínas de origen animal; así se explica que la base alimentaria de la población en vías de desarrollo es principalmente cerealista (maíz, arroz, trigo, etc.), con un déficit proteico, todo ello con efectos muy importantes en el estado de salud de las poblaciones.

El concepto de eficiencia de producción también lo podemos aplicar en el metabolismo exosomático del antroposistema. Por ejemplo, producto interior bruto/energía consumida. En el caso particular de la salud humana, esta eficiencia ecológica la podemos medir mediante el recurso utilizado y la producción de salud, medida ésta mediante algún indicador sanitario. Por ejemplo, mortalidad infantil/gasto sanitario, esperanza de vida/camas hospitalarias por 1000 habitantes, etc. Teniendo en cuenta que los recursos dedicados a la producción de salud son limitados, el alcanzar la mayor eficiencia en la aplicación de los recursos es de enorme importancia.

En todos los ecosistemas, una parte de la biomasa producida muere y queda en el medio ambiente como residuos o detritus (heces, hojas caídas de los árboles, animales muertos, etc.). Existe un conjunto de organismos (bacterias, hongos, lumbrícidos, insectos, etc.) que se han especializado en el aprovechamiento de este recurso energético, y que se denominan *detritívoros*, ya que consumen estos detritos orgánicos. El papel de este nivel trófico es muy importante, ya que se encargan de limpiar el ecosistema de los restos de materiales orgánicos. La población humana produce una gran contaminación por detritos orgánicos (aguas residuales, residuos sólidos orgánicos, etc.), por lo que se necesita la acción de los detritívoros: el tratamiento biológico de las aguas residuales o el compostaje de residuos sólidos urbanos está basado en la acción de los detritívoros.

Principios

- En el desarrollo y evolución de los ecosistemas, las interacciones negativas tienden a reducirse al mínimo.
- Las interacciones recientes tienen mayor probabilidad de ser negativas.

Tipos de interacción

- Neutralismo (0 0) Ninguna población afecta a la otra
- Competición (- -) Inhibición de cada población por la otra
- Amensalismo (- 0) Una población inhibida y la otra no afectada
- Parasitismo/Depredación (+ -) Una población se beneficia y otra inhibida
- Comensalismo (+ 0) Una población se beneficia y la otra no se afecta
- Mutualismo (+ +) Ambas poblaciones se benefician

Figura 8. Principios y tipos de interacción entre especies de diversas poblaciones de la estructura trófica.

Un numeroso grupo de organismos de la estructura trófica obtienen la energía para su existencia de la especie humana mediante relaciones de comensalismo, mutualismo o parasitismo. Las bacterias del tracto intestinal mantienen una relación de mutualismo con la especie humana: obtienen la energía de los alimentos que ingerimos, facilitan la digestión de los alimentos, producen vitaminas, etc. Pero otros organismos actúan como parásitos produciendo enfermedades; los agentes causales de las enfermedades infecciosas y parasitarias forman parte de la estructura trófica del antroposistema. En las enfermedades transmisibles con elevada mortalidad la relación parásito/huésped no está bien establecida, porque la muerte del huésped impide que el parásito continúe viviendo. Por eso, en las estructuras tróficas bien desarrolladas las interacciones positivas (comensalismo, mutualismo) son las más eficaces. Asimismo, cuando aparece un nuevo parásito (enfermedad emergente), la relación con el huésped suele ser muy negativa.

CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

A diferencia de la energía, que se degrada para perderse en forma de calor, los elementos en el ecosistema circulan de forma cíclica, de forma que se presentan alternativamente formando parte de los seres vivos o en el medio ambiente. Estos movimientos se conocen como *ciclos biogeoquímicos* o *ciclos materiales*. Todos los elementos químicos tienen su ciclo, aunque algunos elementos del sistema periódico raramente los vamos a encontrar formando parte de los seres vivos, o se pueden encontrar como microelementos. Entre los ciclos más importantes tenemos los de los siguientes elementos: carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. El ciclo de algunos elementos minoritarios también tienen gran importancia para la salud, como es el caso del mercurio, plomo, arsénico, etc.

Algunos elementos tienen ciclos sencillos, en los que no cambian su estado de oxidación. Es el caso del ciclo del calcio, que se encuentra como Ca^{2+} tanto en los seres vivos como en la naturaleza (agua, suelos, rocas).

El ciclo del agua también es sencillo desde el punto de vista químico, pero de importancia trascendental como recurso para los ecosistemas, siendo un recurso que frecuentemente actúa como factor limitativo. Gracias a la energía solar se produce una destilación del agua contenida en la hidrosfera, susceptible de ser

utilizada en los ambientes terrestres, según los procesos de evaporación-condensación-precipitación. Este ciclo se ve modificado por la acción antrópica: el agua de lluvia es almacenada como recurso hídrico y potabilizada para su consumo; la utilización del agua añade una contaminación (aguas residuales), que debe ser eliminada mediante la depuración antes de su vertido. Gracias a los embalses la población humana puede satisfacer sus necesidades hídricas, incluso en las épocas del año con escasa pluviosidad, pero también debemos ser conscientes de que estamos alterando el ecosistema, ya que estamos privando a otras especies del recurso hídrico necesario en los cauces.

El ciclo del agua tiene una extraordinaria importancia en la salud humana. Como señala la OMS, más de 2000 millones de personas en el mundo se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces, siendo el mecanismo de transmisión de enfermedades como cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis. La OMS también

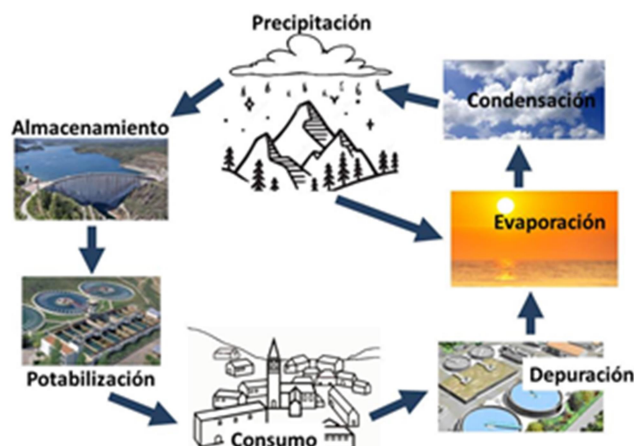


Figura 9. Ciclo antrópico del agua.

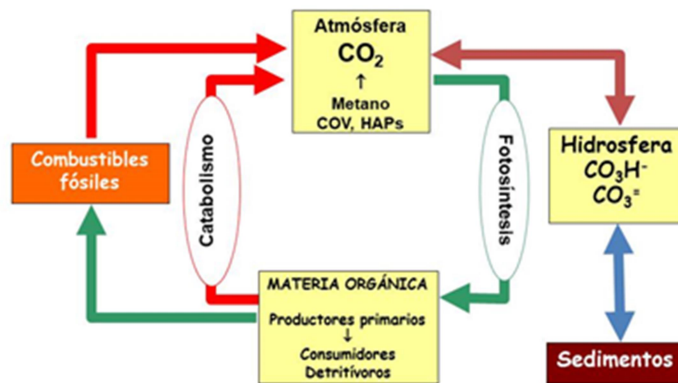


Figura 10. Ciclo del carbono.

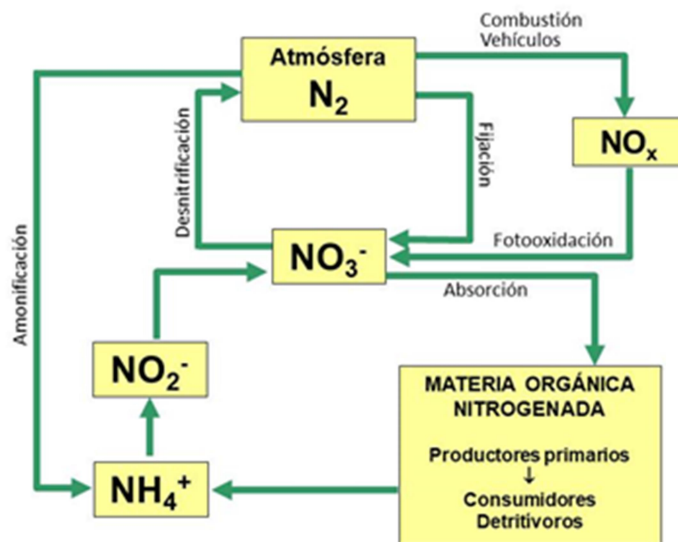


Figura 11. Ciclo del nitrógeno.

señala que en el 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua.

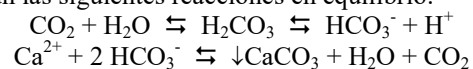
Otros elementos tienen ciclos biogeoquímicos más complejos con cambios de los estados de oxidación. Así ocurre con el ciclo del carbono, que tiene una enorme importancia cualitativa y cuantitativa en el ecosistema. Los procesos vitales de todos los microorganismos están basados en la química del carbono. En la atmósfera, los elementos mayoritarios son el nitrógeno y el oxígeno, mientras que el dióxido de carbono sólo representa el 0.033 %. Sin embargo, su importancia radica en que es el sustrato de la fotosíntesis para la síntesis de los compuestos orgánicos que forman parte de los seres vivos. Los procesos catabólicos (respiración), cierran el ciclo, devolviendo carbono a la atmósfera en forma de CO₂. Estos dos procesos, fotosíntesis y catabolismo, deben estar equilibrados para mantener unos niveles

constantes de CO₂ en la atmósfera, equilibrio que tiene además dos mecanismos de control: la acumulación de materia orgánica no consumida, que dará lugar a la transformación y almacenamiento en forma de combustibles fósiles; y la disolución en masas de agua y transformación en carbonato que puede ser almacenado en las rocas.

Además de los procesos vitales mencionados, el CO₂ juega un papel importante en el mantenimiento de la temperatura del planeta Tierra, debido que absorbe radiación infrarroja, produciendo el conocido como *efecto invernadero*. Si aumenta la concentración de CO₂ la radiación infrarroja producida en la superficie terrestre será absorbida en mayor cantidad, aumentando la temperatura, efecto que a gran escala produce un *calentamiento global*. Este efecto invernadero no sólo es producido por el dióxido de carbono, sino que es debido a un conjunto de gases, entre los que se puede destacar con gran importancia el metano o el vapor de agua. El metano (CH₄) forma también parte del ciclo del carbono, producido mayoritariamente por bacterias metanógenas, sufre en el medio ambiente una oxidación que da como producto final CO₂.

Actualmente, el metabolismo exosomático tiene una gran influencia en el ciclo del carbono. Los subsidios de energía en el antroposistema se obtienen del consumo de combustibles fósiles, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de producción de dióxido de carbono, y simultáneamente se produce una disminución de la fotosíntesis, por procesos de desertización y prácticas de deforestación.

Las masas de agua (hidrosfera) también juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono. El CO₂ se disuelve en el agua produciendo ácido carbónico, que acidifica el agua, y puede reaccionar con el Ca²⁺ y quedar en los sedimentos en forma de carbonato cálcico insoluble (CaCO₃), o permanecer en el agua en forma de ión bicarbonato (HCO₃⁻), según las siguientes reacciones en equilibrio:



Otro ciclo de gran interés es el del nitrógeno, que tiene una gran complejidad. El gran depósito del nitrógeno se encuentra en forma de gas en la atmósfera (78%). La mayor parte de las transformaciones están realizadas por microorganismos: fijación del nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter*),

oxidación del amoníaco a nitratos (*Nitrobacter*, *Nitrosomonas*), amonificación (*Clostridium*, *Acetobacter*), desnitrificación (*Bacillus*, *Pseudomonas*).

Pero muchos de los compuestos que se encuentran de forma natural en el ciclo del nitrógeno, se encontrarán en gran cantidad por la acción antrópica, por lo que adquieren el carácter de contaminantes. Es el caso de los gases NO_x atmosféricos procedentes de combustiones y vehículos a motor; el exceso de nitratos que contaminan las aguas como consecuencia de una excesiva fertilización de suelos agrícolas; o el exceso de amoníaco, nitritos y nitratos que encontramos en las aguas residuales urbanas, y que afectan a la calidad de las aguas de consumo.

A través de los ciclos biogeoquímicos podemos entender el concepto de *contaminación*, que podríamos definir como cualquier alteración de los ciclos biogeoquímicos. El dióxido de carbono, por ejemplo, se encuentra en el aire de forma natural, pero cuando se altera el equilibrio combustión-fotosíntesis se produce un incremento en la concentración, consecuencia de una alteración del ciclo biogeoquímico del carbono; en esta situación consideramos al dióxido de carbono como contaminante atmosférico. Igual se puede utilizar como ejemplo los nitratos; como consecuencia del aporte antropogénico se supera la capacidad de absorción por los organismos productores, lo que se traduce en un aumento de la concentración ambiental por alteración del ciclo del nitrógeno. El exceso de nitratos tiene un efecto directo sobre la salud humana, ya que la ingesta de nitratos y nitritos, generalmente a través del agua, producen metahemoglobinemia, siendo los lactantes la principal población de riesgo, dando lugar a la denominada metahemoglobinemia infantil.

De todos los elementos materiales que circulan en el ecosistema, algunos son necesarios para su funcionamiento y desarrollo, constituyen una exigencia para cada especie, y se les denomina *recursos*. Varios ejemplos: agua, fosfatos y los nitratos son recursos para las plantas; combustibles fósiles y asistencia sanitaria son recursos para la especie humana. Muchos recursos pueden ser escasos en el ecosistema de forma que impiden un mayor crecimiento y desarrollo de determinadas especies, y en general de la estructura trófica. Por ejemplo, el agua de las lagunas de alta montaña tiene muy poca mineralización, se denominan oligotróficas, y al carecer de nutrientes como fosfatos y nitratos el desarrollo de microalgas se ve limitado; determinadas poblaciones humanas carecen de los suficientes recursos sanitarios por lo que la mortalidad infantil es muy elevada.

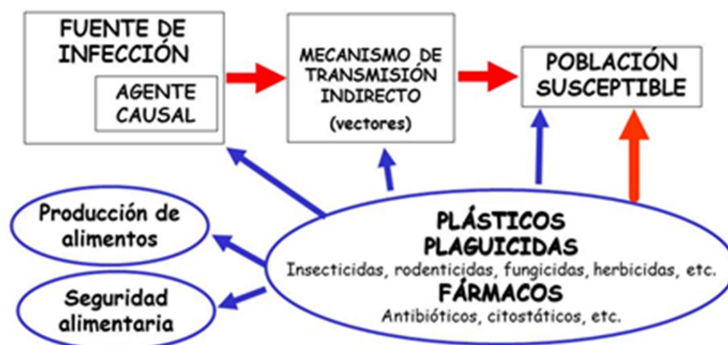


Figura 12. Las sustancias xenobióticas (plaguicidas, plásticos, fármacos, etc.) contribuyen de forma eficaz en la alimentación y prevención de las enfermedades transmisibles, pero también tienen un efecto negativo sobre la salud debido a su toxicidad aguda y crónica.

Estos recursos que se encuentran en menor cantidad que la demanda y que dificultan el desarrollo del ecosistema se denominan *factores limitativos*.

Algunos recursos son sustancias producidas exclusivamente mediante la tecnología humana y no se sintetizan de forma natural en el ecosistema, denominadas *sustancias xenobióticas* o *no biodegradables*. Como ejemplo podemos citar insecticidas, herbicidas, clorofluorocarbonos (CFCs), etc. Al ser sustancias extrañas a la naturaleza no existen procesos enzimáticos degradativos, por tanto no se pueden incorporar a los ciclos biogeoquímicos correspondientes, dando lugar a bioacumulación en la cadena trófica. Estas sustancias xenobióticas tienen efectos beneficiosos para la salud de la población humana: los insecticidas permiten la lucha contra los insectos vectores que transmiten el paludismo, fiebre amarilla, dengue, etc., los herbicidas aumentan la producción de alimentos de origen vegetal; pero muchos de ellos, poco degradables y tóxicos para la especie humana, tienen efectos negativos para la salud. Los CFCs, transportados a la estratosfera, están implicados en la reducción de la concentración de ozono, lo que produce un aumento de la radiación UV y consecuentemente un aumento de cáncer de piel. Otras sustancias, como por ejemplo el mercurio, aunque de origen natural, están presentes en el medio ambiente en mayor concentración como consecuencia de la acción antrópica; la velocidad de excreción en los organismos vivos es menor que la velocidad de absorción, por lo que se produce una bioacumulación.

FACTORES FÍSICOS

El medio que constituye el soporte de los seres vivos en el ecosistema tiene una serie de características que lo definen. De forma general se puede diferenciar distintos medios: acuático, terrestre o aéreo. Pero las características de un *hábitat* (medio ambiente físico), viene definido por una serie de

parámetros o variables que en su conjunto se denomina *clima*. Estos parámetros son de dos tipos: *factores climáticos*, tales como latitud, régimen de vientos predominantes, corrientes marinas, proximidad a masas de agua o cauces, altitud, relieve, etc., que dan lugar a los distintos tipos de clima; y *elementos climáticos*, que corresponden a variables tales como temperatura, pluviosidad, nubosidad, viento, humedad, presión atmosférica, insolación, etc., que definen el tiempo atmosférico. Por tanto, el clima se define como el valor medio y evolución de los factores y elementos climáticos a lo largo de un periodo de tiempo largo (generalmente 20-30 años).

La latitud define las 5 grandes zonas climáticas: una zona cálida o tropical, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio; dos zonas templadas, norte y sur, entre estos trópicos y los círculos polares ártico y antártico respectivamente; y dos zonas frías o polares en los polos norte y sur. En las zonas templadas se diferencian cuatro estaciones a lo largo del año: primavera, verano, otoño e invierno.

Las alteraciones del tiempo meteorológico y clima afectan a las poblaciones de las especies en el ecosistema. Años lluviosos o muy fríos cambian la estructura biótica del ecosistema, e igual ocurre con los cambios climáticos, si bien estos ocurren de forma gradual y los cambios de la biota se producen a más largo plazo.

La alteración antrópica de los ciclos biogeoquímicos y la presencia de sustancias xenobióticas pueden originar una alteración del clima, también denominada *contaminación climática*. Algunas alteraciones observadas en la actualidad ya han sido mencionadas. El calentamiento global por la presencia atmosférica de sustancias como dióxido de carbono y metano, o la disminución de la capa de ozono estratosférico por acción de los CFCs y óxido nitroso, son ejemplos de la alteración climática de origen antrópico.

Los efectos sobre la salud de la contaminación climática pueden ser importantes. Como señala la OMS, el calentamiento mundial puede tener algunos efectos beneficiosos, como una menor mortalidad en invierno en las regiones templadas y un aumento de la producción de alimentos en determinadas zonas, pero también podrá tener efectos negativos al afectar a los determinantes sociales y medioambientales de la salud, tales como calidad del aire, agua potable, alimentos suficientes y vivienda segura. Es probable que los cambios del clima alteren los periodos de transmisión de importantes enfermedades transmitidas por vectores y alteren su distribución geográfica. También la FAO señala que el cambio climático puede tener efectos en la productividad agrícola, como consecuencia de cambios en la pluviometría,

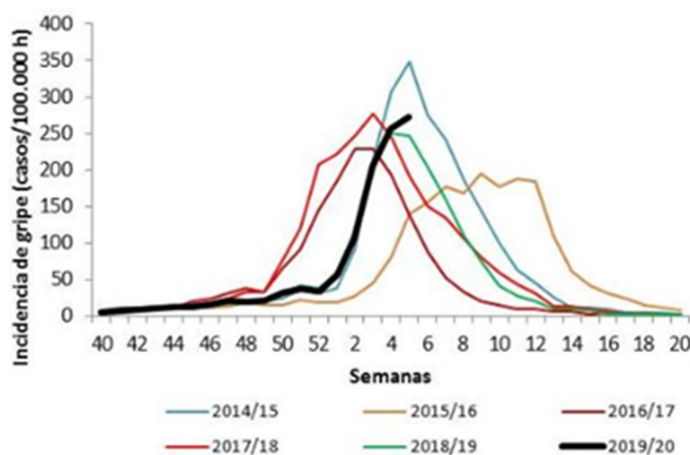


Figura 12. Incidencia semanal de gripe en España en las temporadas 2014-15 a 2019-20. Fuente: CNE, ISCIII, España, 2020.

sequías, inundaciones y redistribución geográfica de plagas y enfermedades.

En relación a la salud humana, es obvio que el tiempo meteorológico y el clima tienen un efecto sobre la salud. Las lluvias intensas o periodos de intensa sequía, pedrisco, heladas, etc., afectarán a la producción de alimentos y a la disponibilidad de recursos hídricos, con importante incidencia en la salud humana.

En relación al clima, se tiene en cuenta el concepto de *patología climática*, que es la diferente forma de enfermar en función del clima del ecosistema. El dengue, paludismo o fiebre amarilla, sólo presentan casos autóctonos en los climas tropicales y templados, en los que los mosquitos vectores pueden desarrollarse, lo que no ocurre en los climas fríos. En éstos son más frecuentes las patologías respiratorias, infecciones de transmisión aérea, avitaminosis, o procesos depresivos.

Igualmente se tiene en cuenta el concepto de *patología estacional*, como la diversa forma de enfermar en función de la estación del año en los climas templados. Por ejemplo, la gripe tiene una distribución estacional siendo la incidencia mayor durante la estación fría (diciembre, enero y febrero, en España); en cambio, las enfermedades de transmisión feco-hídrica son más frecuentes en verano.

CONTROL DEL ECOSISTEMA

Los ecosistemas tienen mecanismos de autorregulación para el control de la evolución y la estabilidad, que en su conjunto se denomina *homeostasis*. Son generalmente procesos de retroregulación que rigen el control de las poblaciones de las distintas especies, y la velocidad de los distintos eslabones de los ciclos biogeoquímicos.

Un ejemplo muy ilustrativo de estos mecanismos es el modelo que explica la relación depredador-

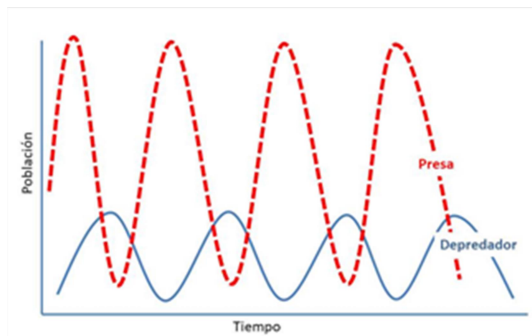


Figura 13. Modelo depredador presa como ejemplo de retroregulación en el ecosistema.

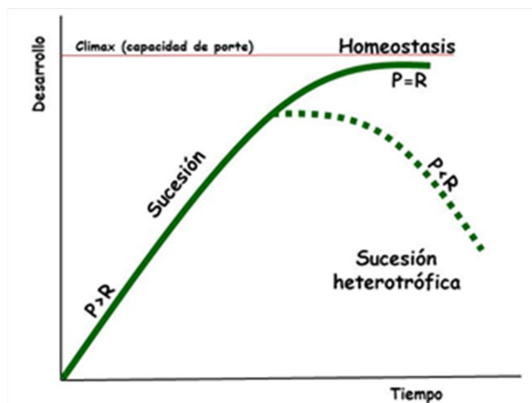


Figura 14. Evolución natural de los ecosistemas y sucesión heterotrófica.



Figura 15. Pirámide ecológica en una sucesión heterotrófica.

presa. A aumento de la población de la presa le sigue un aumento de la población del depredador, que ocasiona a continuación una disminución de la presa, y consecuentemente una disminución de depredador, y así sucesivamente en un proceso de autoregulación.

La homeostasis o *resiliencia* es capaz de neutralizar las fluctuaciones que se producen en el ecosistema, adaptando los procesos y las poblaciones en función de la modificación de las variables. Sin embargo, si las fluctuaciones son muy grandes los mecanismos de retroregulación no serán ya eficaces,

produciéndose un cambio drástico de las características del ecosistema. Esto ocurre en los antroposistemas, en los que se supera la capacidad de control, o cuando ocurren catástrofes (inundaciones, incendios forestales, etc.)

El desarrollo normal de un ecosistema se denomina *sucesión ecológica*, y comienza con una fase de crecimiento seguida de una fase estacionaria. La fase de crecimiento se caracteriza por ser la productividad mayor que la respiración, lo que origina un aumento de las poblaciones y de la biomasa. El máximo crecimiento del ecosistema vendrá determinado por los recursos disponibles, especialmente por algunos de ellos que actuarán como factores limitativos. El límite máximo de crecimiento se denomina *climax* o *capacidad de porte*. Cuando se alcanza éste, la productividad se iguala a la respiración, y en esta etapa de maduración del ecosistema aumenta la *diversidad*, que es la causa principal del mantenimiento del equilibrio. Una pérdida de diversidad ocasiona una pérdida de factores de regulación.

En el antroposistema con frecuencia se produce una alteración profunda que cambia el sentido del desarrollo normal de cualquier ecosistema natural superándose todos los mecanismos de regulación. Es la denominada *sucesión heterotrófica*, en la que como consecuencia de un aporte de materia orgánica, la respiración se hace mayor que la productividad primaria, descomponiéndose la estructura trófica y reduciéndose la diversidad biótica. Un ejemplo de esta alteración es el vertido de aguas residuales urbanas al cauce de un río, al que aporta una gran cantidad de materia orgánica que utilizarán los consumidores, que predominarán sobre los productores primarios, invirtiéndose la pirámide ecológica; las agua así alteradas no se pueden utilizar para el consumo humano sin someterlas a un tratamiento costoso.

Otra alteración intensa por acción antrópica es la *eutrofización*. En los ecosistemas acuáticos el climax se establece en función de los nutrientes, principalmente fosfatos y nitratos, que actúan como factores limitativos para los productores primarios. Si en un ecosistema acuático se inyecta un vertido con

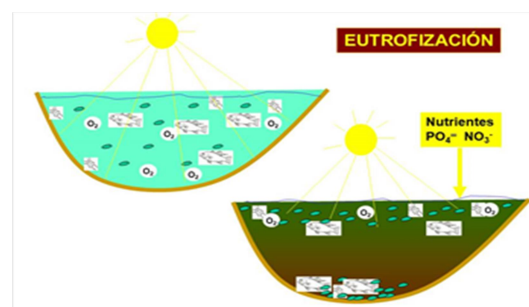


Figura 16. Esquema del proceso de eutrofización.

alto contenido en nutrientes, éstos dejan de ser factor limitativo y se produce una explosión de productividad primaria que no puede ser asimilada por los consumidores; este exceso de productividad primaria no consumida se descompone mediante oxidación, creando condiciones anóxicas que no permiten la viabilidad de los consumidores, un enturbiamiento del agua que impide la insolación necesaria para la fotosíntesis, y en definitiva, una desaparición del ecosistema inicial. Este proceso también tiene un efecto para la salud, ya que reduce los recursos hídricos disponibles para el consumo en la población humana.



Figura 17. Algunos aspectos relacionados con la diversidad biótica.

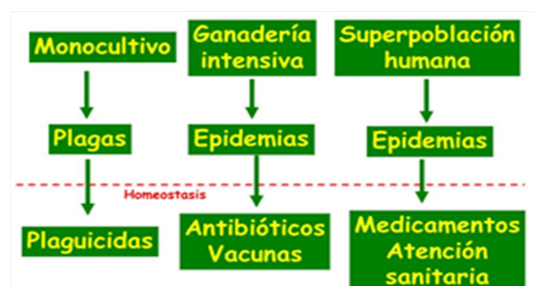


Figura 18. Reducción antrópica de la diversidad biótica y aplicación de subsidios de energía como mecanismo de homeostasis.

La homeostasis del ecosistema se basa esencialmente en la *diversidad biótica*. El proceso de maduración de los ecosistemas conduce a un aumento de la diversidad, de forma que cuanto mayor es ésta más estable será el ecosistema, mejor podrá absorber las fluctuaciones ambientales. Cuando se reduce la diversidad el ecosistema se vuelve inestable e incapaz de mantener la homeostasis. En este aspecto, la actividad humana en el antroposistema conduce a una reducción de la diversidad; la agricultura y ganadería potencian el desarrollo de un número limitado de especies, eliminando las que no interesan desde un punto de vista económico o nutricional, lo que se traduce en una pérdida de la estabilidad: aparecen plagas y epidemias que no se producen en ecosis-

temas de gran diversidad. Como señala la FAO, la roturación de tierras para cultivo y la expansión de los pastizales destinados a la producción ganadera han constituido una de las fuerzas impulsoras de la deforestación. La deforestación da lugar a importantes daños ambientales, liberando enormes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera y ocasionando la extinción de muchas especies animales y vegetales cada año. Por otra parte, las granjas industriales constituyen grandes concentraciones de animales junto a las poblaciones humanas, con efectos sobre la salud por la presencia de residuos orgánicos, antibióticos y hormonas en los alimentos de origen animal, y fertilizantes y plaguicidas utilizados para el cultivo de piensos.

Puesto que ese antroposistema poco diverso es inestable, requiere para su mantenimiento un aporte extra de metabolismo exosomático (energía, recursos), en forma de plaguicidas, antibióticos y vacunas. Igual ocurre con la especie humana, el exceso de población mantenida mediante subsidios de energía constituye un sistema inestable, en el que desde el punto de vista de la salud aparecen elementos bióticos causales de enfermedades que ven facilitada su transmisión, apareciendo epidemias y nuevos patógenos que encuentran favorable el hábitat humano (patógeno instantáneo y enfermedades emergentes). Un ejemplo reciente es el coronavirus COVID-19 que se identificó en 2019 en Wuhan, China; este es un nuevo coronavirus que no se había identificado previamente en humanos, de procedencia animal.

Una característica de las poblaciones es su distribución. La mayor parte de las especies, incluida la especie humana, muestran una *distribución contagiosa*, es decir, forman grupos más o menos numerosos de individuos. En la especie humana se observa fácilmente, la mayor parte de la población se agrupa en pueblos o ciudades, siendo cada vez mayor el grado de agregación con el desplazamiento de la población rural a las ciudades. Se ha mostrado que el nivel de agregación debe ser optimizado: la escasa agregación en las zonas rurales lleva a una carencia de servicios, pero el exceso de agregación de las grandes ciudades produce problemas como contaminación, estrés, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R. (1999). *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. 3ª ed. Barcelona, Omega.
- Odum, E., Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología*. 5ª ed. Andover (UK), Cengage Learning.
- Margalef, R. (1998). *Ecología*. Barcelona, Omega.
- Rodríguez Martínez, J. (2010). *Ecología*. Madrid, Pirámide.