

2da Parte

ECOLOGIA





LA ECOLOGIA, SU RELACIÓN CON OTRAS CIENCIAS Y SU IMPORTANCIA PARA LA CIVILIZACIÓN HUMANA.

En forma práctica, el hombre se ha interesado por la ecología desde los primeros tiempos de su historia. En la sociedad primitiva cada individuo necesitaba tener un conocimiento preciso, para subsistir, de su medio ambiente, esto es, de las fuerzas de la naturaleza y de las plantas y los animales que lo rodeaban. De hecho, la civilización empezó cuando aprendió el hombre a servirse del fuego y de otros instrumentos para modificar su medio. Y sigue siendo necesario para la humanidad conjunta, o le es tal vez más necesario que nunca, poseer un conocimiento inteligente del medio en que vivimos, para que nuestra complicada civilización subsista, puesto que las “leyes fundamentales de la naturaleza” no han sido en modo alguno derogadas, sino que han cambiado simplemente, a medida que ha ido aumentando la población del mundo, su grado de complicación y sus relaciones cuantitativas y que la capacidad del hombre de alterar su medio ambiente se ha ensanchado.

Al igual que todas las demás fases del saber, la ciencia de la ecología ha tenido, en el curso de su historia registrada, un desarrollo gradual aunque espasmódico. Las obras de Hipócrates, Aristóteles y otros filósofos de la cultura griega contienen material que es claramente de carácter ecológico. Sin embargo, los griegos no tuvieron una palabra para designarla por su nombre propio. La palabra “ecología” es de acuñación reciente y fue propuesta por vez primera por el biólogo alemán Ernst Haeckel, en 1869. Antes de esto, muchos de los grandes hombres del renacimiento biológico de los siglos XVIII y XIX habían contribuido al tema, pese a que la designación de “ecología” no se utilizará todavía. Por ejemplo, Antón van Leeuwenhoek, más conocido como precursor microscopista de principios de los años setecientos, fue precursor también en el estudio de las “cadenas de alimentos” y de la “reglamentación de la población”, dos áreas importantes de la ecología moderna. En cuanto al campo particular aceptado de la biología, la ciencia de la ecología data de alrededor de 1900, y no es sino en el decenio pasado que el término ha pasado a formar

parte del vocabulario general. Actualmente, todo el mundo se da perfecta cuenta de que las ciencias ambientales constituyen instrumentos indispensables para crear y mantener la calidad de la civilización humana. En consecuencia, la ecología se está convirtiendo rápidamente en la rama de la ciencia más importante para la vida cotidiana de todo hombre, mujer y niño.

La palabra ecología deriva del vocablo griego oikos, que significa “casa” o “lugar donde se vive”. En sentido literal, la ecología es la ciencia o el estudio de las relaciones de los organismos “en su casa”, esto es, en su medio. Por lo regular, la ecología se define como el estudio de las relaciones de los organismos o grupos de organismos con su medio, o la ciencia de las relaciones que ligan los organismos vivos a su medio. Como quiera, sin embargo, que la ecología se ocupa especialmente de la biología de grupos de organismos y de procesos funcionales en la tierra, en los mares y en el agua dulce, está más en consonancia con el concepto moderno definir la ecología como el estudio de la estructura y la función de la naturaleza en el bien entendido de que el hombre forma parte de esta, también se plantea que la ecología es el estudio de la relación entre los organismos y su medio ambiente físico y biológico. El medio ambiente físico incluye la luz y el calor o radiación solar, la humedad, el viento, el oxígeno, el dióxido de carbono y los nutrientes del suelo, el agua y la atmósfera. El medio ambiente biológico está formado por los organismos vivos, principalmente plantas y animales.

Existen otros criterios sobre la definición de ecología como los ofrecidos por Berovides:

- En su definición clásica la Ecología es el estudio de las relaciones de los organismos entre si y con el ambiente donde viven.
- La ecología es el estudio de la estructura y función de la biosfera.

Debido a los diferentes enfoques necesarios para estudiar a los organismos en su medio ambiente natural, la ecología se sirve de disciplinas como la climatología, la hidrología, la física, la química, la geología y el análisis de suelos. Para estudiar las relaciones entre organismos, la ecología recurre a ciencias tan dispares como el comportamiento animal, la taxonomía, la fisiología y las matemáticas.

El creciente interés de la opinión pública respecto a los problemas del medio ambiente ha convertido la palabra ecología en un término a menudo mal utilizado. Se confunde con los programas ambientales y la ciencia medioambiental. Aunque se trata de una disciplina científica diferente, la ecología contribuye al estudio y la comprensión de los problemas del medio ambiente.



EL AMBIENTE Y LOS ORGANISMOS:

Si la ecología estudia las relaciones de los organismos con su ambiente, debemos primero conocer que se entiende por **ambiente** para tratar después de dilucidar las relaciones que se dan entre un organismo dado y dicho ambiente.

EL AMBIENTE:

Al hacer referencia al ambiente natural se piensa, en primer lugar, en los elementos más importantes del paisaje, tales como el agua, el suelo, el desierto o la montaña. Estos ambientes pueden describirse

con mayor exactitud atendiendo a los diferentes factores físicos: diferencias de humedad, temperatura, composición de los materiales, etc, y biológicos. Pero también forman parte del ambiente otros organismos, de la misma manera que el suelo y las rocas, por lo que ningún animal puede vivir como un ermitaño, aislado de los demás, sino que, por el contrario, necesita disponer de varios otros

Organismos para utilizarlos como alimento. Los animales dependen directa o indirectamente de los vegetales verdes y muchos vegetales dependen, a su vez, de determinados animales, como, por ejemplo, los que necesitan a los insectos para la polinización. Algunos vegetales verdes pueden vivir independientemente durante cierto tiempo a expensas de la energía solar y de las materias minerales que toman del suelo, pero tan pronto como empiezan a desarrollarse los jóvenes plántulas, aparecen en dicho momento las relaciones de competición.

El ambiente de cada organismo está constituido, pues, necesaria e inevitablemente, en parte, por otros organismos. Los animales y los vegetales compiten entre si y se devoran y ayudan mutuamente, según los casos. Los organismos circundantes de la misma especie constituyen, por lo tanto, parte integrante del propio ambiente, lo que se manifiesta

claramente en un espeso bosque de árboles o en el hacinamiento que se observa en los peñascos donde establecen las aves marinas sus lugares de cría. En otras ocasiones, los efectos de la presencia de otros animales o plantas no son tan manifiestos, pero aunque no pueden fotografiarse, no por ello dejan de revestir decisiva importancia, y el ambiente debe considerarse siempre integrado tanto por los agentes físicos como por los biológicos, sean o no aparentes.

EL MEDIO:

El factor físico del ambiente que debe considerarse en primer lugar es el **medio**, entendiendo por tal la materia que rodea inmediatamente al organismo y con la cual mantiene estos sus importantísimos intercambios. A primera vista podría parecer que existen muchos medios diferentes. Unos organismos viven en el suelo, y otros en estanques; algunos prosperan en el estiércol, mientras otros disfrutan de una próspera existencia en la sangre de los vertebrados.

En cada uno de los ejemplos anteriores, el medio es, o bien un líquido, o un gas y, generalmente, se trata siempre del aire o del agua. A pesar de que los animales y plantas que viven en el suelo o en el fango pueden parecer que constituyen una excepción, la atenta observación de los mismos revela que la materia que se halla en inmediato contacto con ellos es siempre una película de aire o de agua. La observación a aumento conveniente de los pequeños animales que viven en la arena húmeda de las playas permite comprobar que verifican su intercambio esencial con el agua que se infiltra entre los granos de arena y, por consiguiente, el medio de estos animales está constituido por el agua de mar y no por la arena, como a primera vista podría parecer.

El hecho de que aire y agua constituyan los dos medios fundamentales determina la división del mundo en dos ambientes principales: terrestre y acuático. Sin embargo, la separación entre ambos medios no es absoluta; varios gases atmosféricos están disueltos en las aguas y en la atmósfera existe siempre cierto grado de humedad.

EL SUBSTRATO:

Otro factor del ambiente, casi tan importante como el medio, es el **substrato**. Constituye éste la superficie sobre la que se apoyan o desplazan los organismos, o el material sólido en cuyo interior transcurre total o parcialmente, su vida. Algunos ecólogos no establecen diferencia alguna entre medio y substrato y otro posible confusionismo es el empleo de la palabra “substrato” por los bacteriólogos para designar el medio de cultivo para los microorganismos. Es, pues, de todo punto importante establecer la distinción entre dichos conceptos, y parece más lógico emplear la palabra medio exclusivamente para designar el material que rodea al organismo de manera inmediata, y substrato únicamente para la superficie con materiales sólidos del ambiente sobre o dentro de las cuales vive el organismo.

El substrato no es ineludible como el medio. Todos los organismos se encuentran dentro de un medio determinado, aire o agua, pero alguno de ellos puede prescindir del substrato. En el ambiente acuático el plancton permanente y muchos peces pelágicos no utilizan nunca ninguna clase substrato, mientras que, en cambio, los organismos terrestres deben tener un substrato por lo menos durante parte de su vida, ya que ningún animal o planta puede permanecer durante toda su vida suspenso en el aire. Otra diferencia de carácter general entre medio y substrato es que, mientras que los organismos pasan raras veces del aire al agua o viceversa, por su propia actividad, el substrato puede ser profundamente modificado por muchos de los animales o vegetales que viven sobre o dentro de él.

INFLUENCIA DE LOS FACTORES ABIÓTICOS EN LA VIDA DE LOS ORGANISMOS

AGUA

Desde el punto de vista ecológico, el agua desempeña tres papeles fundamentales en la vida de los organismos:

- * Es uno de los dos medios universales, donde los organismos desempeñan sus funciones vitales;
- * Forma parte de las estructuras vivientes de los organismos;
- * Modifica los efectos ecológicos de otros factores.

El agua posee determinadas características físicoquímicas que influyen grandemente en la ecología de las especies. A continuación se resumen estas características y sus principales efectos ecológicos sobre los organismos.

Características	Efectos ecológicos
1- Cubre alrededor del 75% de la superficie terrestre, y es habitable en toda su profundidad.	1- Brinda trescientas veces más espacio habitable que el ambiente terrestre.
2- Tiene calor específico, calor latente de fusión y calor latente de evaporación, más elevados que cualquier otra sustancia.	2- Influye en la regulación térmica de los organismos y en los cambios de temperatura del ambiente.
3- Posee punto de congelación elevado.	3- Los océanos y lagos se hielan solo en la superficie, por lo que permiten la vida en su seno.
4- Tiene gran poder disolución y poca actividad química.	4- Permite la existencia de sustancias alimenticias en disolución y sin alteración.
5- Posee gran tensión superficial.	5- Circula en el interior y a través de los organismos; asciende desde las capas inferiores a la superficie del suelo.
6- Presenta baja densidad.	6- Influye en la estructura, el tamaño y la movilidad de los organismos.

Como medio para los organismos acuáticos, el agua tiende a penetrar o a abandonar el organismo en dependencia de la cantidad de sustancias disueltas que ella contiene, la cual, en general, es diferente a la que se encuentra en los fluidos orgánicos. Por ello, el conocimiento de la composición de las aguas naturales, es de suma importancia en los estudios ecológicos. De forma general, las aguas continentales y costeras presentan gran

variación en la salinidad, en contraste con los océanos, donde esta permanece bastante estable.

Como material constituyente del protoplasma celular, el agua posee las propiedades siguientes:

- Está presente en un alto porcentaje, con un valor máximo de 90% en el cuerpo de los vegetales y animales
- Interviene en las reacciones fotosintéticas.
- Disuelve y transporta las sustancias nutritivas.
- Es el principal constituyente de los fluidos circulatorios, excretorios y reproductores de los animales.
- Es un agente regulador de la temperatura en plantas y animales.

Para mantener la cantidad de agua requerida y realizar estas múltiples funciones, todo organismo debe conservar un balance adecuado en el intercambio de agua con el medio. Por consiguiente, la calidad como la cantidad (disponibilidad) del agua en el ambiente ejerce marcados efectos sobre la fisiología y distribución geográfica de los organismos, así como sobre el tamaño de población.

En los océanos puede haber “carencia” de agua, causada por la alta concentración de sales; en las aguas dulces, puede haber “exceso”, debido a lo contrario. En el ambiente terrestre, donde el agua no constituye un medio para los organismos, hay un ciclo cerrado, que comienza con la evaporación desagua desde las superficies líquidas o desde el suelo; de esta forma el agua pasa al aire atmosférico, y constituye lo que llamamos *humedad del aire*.

Este vapor de agua sufre *condensación*, y forma las nubes, que en un momento determinado producen las *precipitaciones* en forma de lluvia, lloviznas, nieve, escarcha o granizo, con lo cual se cierra el ciclo. En dependencia de muchos factores ambientales, todos estos procesos se llevarán a cabo de una forma tal, que harán del agua un elemento escaso-como en los desiertos, o abundante- como en las selvas amazónicas.

Para las plantas del ambiente terrestre la *humedad del suelo* constituye otro factor de gran importancia, que es necesario considerar. Cuando llueve, parte del agua se pierde, por gravedad, para el suelo, y parte es retenida por las fuerzas capilares de las partículas del suelo. Además, el suelo siempre posee vapor de agua, agua higroscópica – formando una fina película sobre las partículas del suelo- y agua combinada con otros materiales.

Todos estos estados del agua en el suelo, de una u otra forma contribuyen a regular el desarrollo de las plantas. Por debajo de un cierto contenido de agua en el suelo, las plantas tienden a marchitarse, pues la transpiración no es compensada por la absorción de agua.

La única fuente primaria de agua para el ambiente terrestre es la condensación y la precipitación; esta última, especialmente, en forma de lluvia.

La distribución especial y temporal estacional de la lluvia es muy irregular sobre la superficie de la tierra, lo cual da lugar a que en muchas zonas se divida el año en períodos de sequías y de lluvias.

Igual cambios sufre la humedad del aire, lo que es de gran importancia para los organismos en relación con la regulación de la pérdida de agua.

Para todo organismo es de vital importancia la *humedad relativa* o cantidad de vapor de agua en la atmósfera, en relación con la cantidad que esta debería contener para estar saturada a la temperatura existente. Como la saturación del aire aumenta con la temperatura, la humedad relativa disminuye cuando esta aumenta.

ADAPTACIONES DE LOS ORGANISMOS EN RELACIÓN CON EL AGUA, EN LOS AMBIENTES ACUÁTICO Y TERRESTRE.

Cuando se analizan las adaptaciones de los organismos al elemento agua, hay que tener en cuenta si se trata de organismos acuáticos o terrestres, ya que en el primer caso, el agua es el *medio* donde ellos se desarrollan y, por consiguiente, las adaptaciones vendrán condicionadas básicamente por las propiedades fisicoquímicas del agua; mientras que en el ambiente terrestre, además de estas propiedades, la disponibilidad de agua, por exceso o

por defecto, será un factor importante, ante el cual los organismos del medio aéreo deberán desarrollar adaptaciones para poder sobrevivir.

Los principales factores de adaptación en el medio acuático son: presión hidrostática, concentraciones de sales, gases y otros elementos disueltos en el agua, así como densidad.

Presión hidrostática. Al conocido aumento de la presión en el seno del agua, de acuerdo con la profundidad, los organismos han respondido con interesantes adaptaciones. A profundidades de hasta 10 500 m, frente a las Filipinas, se pueden encontrar anémonas holoturias bivalvos crustáceos. A dicha profundidad la presión es de 1 050 atmósferas (1 ton/cm²) pero dichos organismos la toleran porque han desarrollado mecanismos fisiológicos que producen una presión interna en sus cuerpos, equivalente a la externa.

Otra adaptación interesante es la carencia de espacios llenos de gases en el interior del cuerpo, lo cual no produce deformaciones con los cambios de presión, pues los tejidos embebidos en agua son muy poco comprensibles.

La interfase tierra-agua constituye un ambiente especial, en donde los organismos han desarrollado adaptaciones muy específicas. Esto ha ocurrido en especies que consiguen abandonar el agua por largos o por cortos períodos.

Las zonas donde se observan estos organismos son los pantanos y charcos temporales, así como las zonas afectadas por las mareas. En las primeras se encuentran muchas plantas anfibias que viven semisumergidas las cuales presentan raíces adaptadas a estar sumergidas y tomar las sustancias del barro mientras que las hojas son aéreas. También son de este grupo los anfibios, tales como ranas y sapos, que dependen del agua para la reproducción y para mantener húmeda la piel. Una adaptación general que presentan todos estos organismos es que durante los períodos en que se secan sus fuentes de agua, se entierran en el fango y quedan aletargados mientras dura la sequía.

Los vegetales y animales que viven en las zonas de marea, están sometidos dos veces al día a la alternancia de la desecación y de la inundación, y por esta razón, todos ellos han

desarrollado múltiples e interesantes adaptaciones, para hacer frente a las condiciones desfavorables que se presentan cuando quedan expuestos al aire al descender la marea. Muchos soportan la desecación de sus tejidos, sin efectos nocivos apreciables, como por ejemplo, las anémonas de mar; algunos están protegidos por conchas, que cierran durante la bajamar, como ocurre con percebes, mejillones y ostras; y otros buscan refugio en el interior de grietas protegidas, como por ejemplo, los caracoles y las estrellas de mar. Los cangrejos de estas zonas, que necesitan, mantener las branquias húmedas para poder respirar el oxígeno del aire durante la bajamar, poseen un menor número de estas, lo cual reduce la evaporación del agua.

Las adaptaciones en el medio terrestre se relacionan fundamentalmente con la disponibilidad de agua. las plantas terrestres a través de las raíces absorben agua, y la pierden por transpiración. Si la evapotranspiración es muy elevada en relación con el agua disponible, la planta pierde sus reservas de agua y muere por deshidratación. Normalmente el agua constituye del 60 al 85 % del peso de la planta, y muchas de las adaptaciones que se presentan en las plantas terrestres, ocurren para facilitar la economía del agua, especialmente en los lugares áridos. Entre dichas adaptaciones tenemos:

- la inactividad durante la mayor parte del tiempo, como ocurre en las algas que viven sobre piedras del desierto.
- el desarrollo del sistema radicular extenso, cutículas impermeables, estomas hundidos, hojas reducidas, espinas y pelo, transpiración limitada, como, por ejemplo, en los cactus y euforbias.
- el retardo del crecimiento, como ocurre en la salvia y la artemisia.
- el desarrollo de dispositivos para retener el agua como tal se observa en los curujeyes.

En los animales terrestres la conservación del agua del cuerpo ha de ser compatible con su utilización en la respiración y la digestión.

El cuerpo de los animales terrestres contiene una proporción elevada de agua, y cada especie ha desarrollado adaptaciones particulares que se relacionan con el mantenimiento del contenido de agua entre límites precisos, para poder llevar a cabo las funciones vitales;

en los insectos, por ejemplo, estos límites son bastante amplios, pero en los mamíferos son muy estrechos.

Especialmente en los ambientes secos puede ocurrir que el cuerpo pierda agua por debajo de un cierto límite, que le provoque la muerte; por esta razón los animales de estos ambientes han desarrollado adaptaciones que inciden principalmente en los procesos relacionados con la pérdida de agua,

El agua puede perderse por evaporación desde la superficie corporal y para limitar este proceso se han desarrollado adaptaciones como las que se presentan a continuación:

- impermeabilización mediante cutículas quitinosas, tal como ocurre en ácaros e insectos.
- revestimientos higroscópicos, como por ejemplo, la mucosa de caracoles y anfibios.
- presencia de estructuras que limitan la turbulencia del aire junto al cuerpo, tales como pelos y plumas.

También se pierde agua por respiración-ya sea esta pulmonar o traqueal- y por excreción. Dicha pérdida se reduce en el primer caso, mediante adaptaciones especiales, tales como revestimientos mucosos y húmedos; y en el segundo, por la excreción de ácido úrico o uratos, que constituyen la orina concentrada y sólida, de la cual el organismo ha recuperado el agua, adaptación características de aves y reptiles.

Efecto regulador del agua sobre los organismos.

El agua como medio de los organismos acuáticos, puede influir directamente en el tamaño de sus poblaciones y en su distribución geográfica. Uno de los principales agentes reguladores es la diferencia de presión, que aumenta con la profundidad; aunque de modo general la distribución de la mayor parte de los organismos marinos no presenta límites verticales definidos. Muchos peces y crustáceos descienden a grandes profundidades durante el día, para ascender de nuevo por la noche al nivel de partida. Las corrientes marinas también regulan las distribuciones de muchas especies de organismos marinos.

Pero el factor más importante de regulación en el medio acuático, es la salinidad. Especies de ríos con poca tolerancia a la alta salinidad, no pueden extender su área de distribución a los estuarios donde es alta la salinidad; de igual forma, muchas especies oceánicas se ven limitadas en su distribución por las aguas dulces. Sin embargo especies que pasan del agua dulce a la salada, como el salmón y la anguila, pueden regular su intercambio de agua en ambos medios.

En el ambiente terrestre, el crecimiento de las poblaciones de las plantas está afectado grandemente por el factor agua. Específicamente, la extensión horizontal de las raíces, regula a menudo el espacio entre las plantas en las regiones áridas. En esta las raíces se extienden considerablemente en las proximidades de la superficie del suelo, donde pueden absorber cualquier precipitación antes de que esta se evapore; así también limitan la presencia de otra planta en las proximidades. Entre los cactus se puede observar muy bien este fenómeno.

La distribución geográfica de las plantas también está grandemente afectada por el agua. Muchas especies están limitadas a las orillas húmedas de las corrientes de agua, lagunas y pantanos, como ocurre con el guamá (*Lonchocarpus dominguensis*) una leguminosa maderable de nuestros bosques. La capacidad para hacer frente a los períodos de sequía, desempeña también un importante papel en la distribución geográfica de las plantas.

Entre los animales, el efecto regulador del agua en forma de humedad del aire, se hace de forma indirecta, a través de la vegetación, y de forma directa, al afectar algún factor vital de su actividad, desarrollo y reproducción.

Debe destacarse en lo que respecta al papel del agua sobre los organismos, que si bien este es de primordial importancia en las plantas, el tipo de suelo y la temperatura, en interacción con el agua, también influyen grandemente. En los animales la temperatura ejerce un mayor efecto regulador que la humedad.

Otro hecho a destacar es el efecto que ejercen los bosques, a su vez, sobre la humedad relativa del aire. En las zonas de vegetación, la humedad relativa suele ser superior a la de

los sitios sin vegetación; también es mayor, y más uniforme, en los estratos inferiores que en los superiores. Este efecto modificador de la vegetación depende de muchos factores abióticos, tales como la temperatura, el viento y la evaporación del suelo; y de factores bióticos, como la transpiración y la densidad del follaje.

TEMPERATURA

La temperatura se relaciona con la intensidad de la energía calorífica, y es uno de los principales factores ecológicos de influencia universal sobre el desarrollo, el número y la distribución de los organismos. La distribución desigual de la temperatura en el agua, el suelo y el aire, obliga a los diferentes organismos a adaptarse a las condiciones de temperatura prevalecientes en su ambiente: de ahí que el conocimiento de dicha distribución desigual sea de suma importancia para el ecólogo.

En toda comunidad natural, las fuentes calóricas son de cuatro tipos: el sol, las reacciones químicas (fuentes termales, vulcanismo), las reacciones nucleares y el trabajo mecánico; pero la única fuente realmente importante es el sol. Del sol proviene la energía calorífica en forma de radiación de onda larga o por conversión de la onda corta absorbida.

La temperatura, como todo factor ecológico, sufre cambios temporales y espaciales, cuya magnitud está grandemente influenciada por el ambiente donde se encuentre, es decir, si se trata básicamente en la tierra firme, del aire o del agua.

Las variaciones temporales diarias de la temperatura son una de las que más afectan a los organismos. En cualquier ambiente la temperatura varía a lo largo del día, algo menor con respecto a la del suelo, y muy poca en relación con la del agua.

La temperatura del aire en las proximidades de la superficie del suelo es en ocasiones 17° C más elevada durante el día que durante la noche. Dicha diferencia puede presentarse también en la temperatura del suelo, pero disminuye con la profundidad, al igual que ocurre con la temperatura del agua, la que, además, solamente presenta diferencias de 1 a 4° entre el día y la noche.

Las variaciones temporales estacionales de la temperatura, también afectan grandemente a las plantas y a los animales, y de forma general, se comportan de manera similar a los cambios diarios, en el aire, el suelo y el agua. Los cambios de temperaturas estacionales en el aire y el suelo son bien conocidos, y las mayores variaciones ocurren en las áreas continentales de las zonas templadas, y con menor amplitud de los cambios en los trópicos y zonas costeras, aunque menores que estas últimas con las amplitudes de los cambios en los mares tropicales y polares a lo largo de todo el año. En los mares templados son frecuentes las diferencias de 10 – 15° C entre verano e invierno, pero dichas diferencias se acentúan con la profundidad.

Las variaciones espaciales horizontales de la temperatura, ofrecen toda la gama de valores posibles, por lo cual el promedio de varios de dichos valores para un área muy extensa (continente, isla, caverna, bosque), ofrece poca utilidad al ecólogo. Para áreas más restringidas, como, por ejemplo, un tronco hueco, o un refugio, dichos valores sí pueden promediarse para obtener una idea global de ellos.

Las variaciones espaciales verticales de la temperatura, se relacionan fundamentalmente con la disminución de la temperatura según la altitud, latitud o profundidad, del ambiente aéreo, terrestre o acuático. Generalmente existe una disminución de cerca de 1° C de la temperatura del aire, por cada 150 m de altitud, lo cual origina un calentamiento desigual tanto horizontal como vertical, de las capas de aire, y da lugar a varios tipos de movimiento en la atmósfera que originan los vientos locales y periódicos. Así como las tormentas.

En contraste con la temperatura atmosférica, la temperatura de lagos y océanos varía poco verticalmente, y presenta dos características fundamentales: en primer lugar, el intercambio térmico de estas masas de agua se realiza principalmente en su superficie, por lo que es aquí donde se dan los cambios de temperatura más importantes; y en segundo lugar, se originan un gradiente térmico permanente, con una zona de cambio relativamente rápida, por debajo de la cual la temperatura permanece constante.

ORGANISMOS POIQUILOTEMOS Y HOMOETERMOS.

De acuerdo con el modo en que reaccionan los organismos ante la temperatura del ambiente, estos pueden clasificarse en dos grandes: poiquiloterms y homeoterms.

Los poiquiloterms o ectoderms son los organismos cuya temperatura corporal interna varía con la del ambiente.

Los homeoterms o endoderms son los organismos cuya temperatura corporal interna permanece constante, independientemente de la temperatura del ambiente.

A la primera categoría pertenecen todas las plantas y los animales, excepto aves y mamíferos, que son los únicos grupos de organismos con homeotermia perfectamente desarrollada.

Teóricamente, un organismo homeotermo es mucho más independiente que uno poiquilotermo, en lo que se refiere a los cambios de temperatura del ambiente, aunque los poiquiloterms pueden mantener una temperatura corporal constante, durante determinado tiempo, mediante determinados mecanismos morfológicos y conductuales, que les permiten también hacerle frente a amplios cambios de temperatura. Así, la regulación de la cantidad de pigmentos cuya función es absorber las radiaciones caloríficas, es un mecanismo utilizado por las hidras y muchos insectos regulan su temperatura corporal variando su exposición al sol.

Tanto en las especies homeoterms como en las poiquiloterms, durante el curso de su evolución, se desarrollaron determinadas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y conductuales que les permiten aún hoy sobrevivientes entre determinados límites de temperatura, por debajo de los cuales ocurre la muerte.

Cerca de estos límites extremos, existen determinados intervalos de temperatura que no significan la muerte para el animal, pero sí una inmovilización de la que puede recuperarse. Entre estas amplitudes hay un margen de variación de temperatura en el que la vida activa es posible, y en donde se distingue un punto óptimo de temperatura, donde la

reproducción y supervivencia alcanzan los valores máximos. Este punto óptimo de temperatura para la reproducción y la supervivencia, por supuesto, también dependen de otros factores, tales como humedad y alimentación; por consiguiente, para la determinación de un valor óptimo de temperatura, han de hacerse o suponerse constantes estos otros factores.

Como es de suponer, el valor óptimo de temperatura rara vez se alcanza en la naturaleza. Por ello, una temperatura más útil para el ecólogo es la temperatura preferida, que es aquella que el organismo escoge cuando puede elegir libremente sobre un gradiente térmico (ver tabla). Precisamente esta búsqueda de la temperatura preferida es una de las causas de la periodicidad diaria en la actividad de muchos animales.

TABLA.
Temperatura preferida (tp) para diversas especies de insectos.

Especies	TP (°C)
Gorgojo de la harina (<i>Tribolium confusum</i>).	24,8 – 29
Mosquito (<i>Culex pipiens</i>).	31
Cucaracha (<i>Periplaneta americana</i>).	33
Mosca (<i>Musca domestica</i>).	33 – 34,2
Chinche (<i>Cemex lectulais</i>).	35,7

¿Por qué cada especie requiere un valor óptimo de temperatura característico, y busca la temperatura preferida? La respuesta está en la relación directa que existe entre la temperatura y las reacciones bioquímicas, que se miden a través de la actividad, el desarrollo, el crecimiento y el consumo de oxígeno por el organismo.

De forma general, y muy en especial para los organismos poiquiloterms, cuando la temperatura actúa directamente, una elevación de 10° C determina una elevación doble o triple en la intensidad de los procesos biológicos.

Entre los procesos que se aceleran con el aumento de temperatura están la actividad migratoria de las langostas, el movimiento y el canto de muchos insectos, la respiración de los crustáceos marinos copépodos, y el desarrollo y crecimiento de una gran variedad de organismos.

Múltiples son los efectos de una gran variedad que las altas y bajas temperaturas pueden ocasionar en los organismos. Cuando las temperaturas elevadas van asociadas a vientos secos, la evaporación resultante perjudica la formación de semillas en las plantas; además, la maduración de estas se ve afectada y la presencia de agentes patógenos se incrementa.

Proceso básicos en el desarrollo de plantas y microorganismos, como la germinación y la actividad bacteriana, también se afectan negativamente por alta y bajas temperaturas.

ADAPTACIÓN DE LOS ORGANISMOS A LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA AL FRÍO.

La cantidad y el estado del agua en los organismos, es lo que generalmente determina en estos la resistencia a las bajas temperaturas. De forma general, al bajar la temperatura se forman cristales dentro de las células, lo cual perjudica la estructura viva; asimismo, cuando el agua, en forma sólida, se separa de estos compuestos a los que estaba unida, aumenta la concentración de electrolitos en el agua residual, lo cual hace variar el pH y puede desnaturalizar las proteínas. El agua líquida residual puede ser insuficiente para mantener las proteínas en solución o sus enlaces en la forma adecuada.

Antes estas contingencias provocadas por las bajas temperaturas, algunos organismos han adquirido, por selección natural, adaptaciones que les permiten sobrevivir hasta -40°C (ver tabla).

TABLA.

Resistencia de algunos organismos a las bajas temperaturas.

Organismos	Temperatura mínima que resisten (° C)
Hemíptero <i>Perilus</i> sp.	- 20
Pez de Alaska (<i>Dallia pectoralis</i>).	- 20
Huevos de erizo de mar.	- 30
Plantas verdes mediterráneas.	- 10
Plantas perennes templadas.	- 20
Plantas de montañas.	- 30

Además, los insectos cuyo porcentaje total de agua no disminuye a las bajas temperatura, resisten poco el frío, por lo que escapan a su acción profundizando en el suelo, como ocurre en las larvas del coleóptero *Melolontha*. Sin embargo, aquellos insectos que disminuyen el porcentaje total de agua al bajar la temperatura, sí resisten bien los fríos, como por ejemplo, los saltamontes.

Otro mecanismo adaptativo interesante en los insectos es el hecho de que pueden cambiar la proporciones de agua libre y combinada, pues esta última se encuentra protegida de la acción nociva del frío; por esta razón, resultan muy sensibles al frío, aquellos insectos en los que el agua libre aumenta a expensas de que disminuya el agua combinada al bajar la temperatura, y muy resistentes, aquellos en que ocurre el proceso inverso.

Otro mecanismo de resistencia al frío consiste en disminuir el punto de congelación de agua. En los insectos, por ejemplo, el glicerol disuelto en la hemofilia tiene este efecto. Insectos que toleran temperaturas de 40° C por 24h, pueden tener concentraciones de glicerol de más de 20% del peso total. Semejante efecto posee la savia en las plantas, aunque la formación de hielo es menos nociva en estas últimas que en los animales. En estas plantas el descenso de temperatura del agua se logra por el aumento de la concentración osmótica, que lleva el agua al estado coloidal, con un punto de congelación más bajo. Por este mecanismo, muchas plantas resisten las heladas de invierno.

Otro método con el que se logra resistir las bajas temperaturas es la eliminación de agua de los tejidos. Las semillas secas, las esporas y los quistes, no pueden helarse, pues no contienen agua libre.

Una adaptación conductual de los animales muy conocidos, es la hibernación, la cual es común en muchos mamíferos y aves durante el invierno, y consiste en la reducción de la actividad metabólica.

RESISTENCIA AL CALOR.

Los daños provocados por las altas temperaturas a los organismos son irreversibles; fundamentalmente se trata de la desnaturalización de las proteínas, que en los organismos homeotermos comienza a 45° C. Debe de esperarse que exista una estrecha relación entre la temperatura de desnaturalización de las proteínas más importantes para el organismo, y la temperatura del ambiente donde este vive, de tal forma que la primera sea mayor en ambientes de altas temperaturas.

LA TEMPERATURA COMO FACTOR REGULADOR.

De dos formas básicas ejerce la temperatura su acción limitante sobre el número y la distribución de los individuos de una población:

A través de los límites de tolerancia de cada especie, de tal forma que aquellas zonas donde se presentan temperaturas por encima y por debajo de dichos límites, no son habitadas por la especie.

Dentro del rango de tolerancia de la especie, a través de las necesidades de temperaturas altas, bajas y óptimas que necesita la especie para su desarrollo y reproducción.

Los límites de tolerancia a las bajas y altas temperaturas suelen ser muy amplios en muchas especies (ver tabla); sin embargo, para que una especie permanezca dentro de su área geográfica, debe ocurrir que la temperatura se mantenga en todo momento dentro de los límites tolerables, y que sea lo suficientemente elevada o baja durante un período prolongado, para permitir la reproducción y el desarrollo de la especie.

En general, la acción reguladora de la temperatura se hace a través del estadio más frágil del ciclo vital de los organismos, mientras que estos en otros estadios, pueden extenderse temporalmente más allá de su área de existencia permanente. El estadio más frágil es casi siempre el juvenil. – como por ejemplo, huevos y larvas en los animales , plántulas y yemas en plantas -, mientras que otros son extremadamente resistentes; entre estos se encuentran los de semillas y de esporas.

TABLA 9
Límite superior de resistencia a las altas temperaturas para varios grupos de organismos.

Organismos	Temperatura máxima que resisten (° C)
Algas marinas.	30 – 40
Animales no cordados de las zonas entre mareas.	30 – 40
Plantas superiores terrestres.	40 - 50
Cactus Opuntia.	60
Insectos.	39 – 42
Anfibios.	37
Reptiles.	36 – 55
Aves y mamíferos.	43
Musgos.	115
Bacterias y cianofíceas de aguas termales.	58 - 60

En dependencia de las temperaturas que pueden tolerar en su ambiente, las plantas se clasifican en megatérmicas, mesotérmicas y microtérmicas, según sea la temperatura en sus zonas naturales, mayor de 20° C, entre 20 y 15° C, o menor que 15° C. Esta clasificación es aproximada, pero permite predecir la resistencia de la especie a la acción desfavorable de la temperatura.

Muchas especies necesitan un período de elevada temperatura para su reproducción, como por ejemplo, la hiedra europeos (*Hedera helix*); otras especies requieren para su desove una temperatura superior a los 15° C, como la langosta americana y las tortugas de agua dulce,

que necesitan la acción calentadora del sol estival, para la incubación de los huevos puestos en la arena.

Igualmente muchos otros organismos necesitan un período de bajas temperaturas para desarrollar por completos sus ciclos vitales. Los tulipanes solo florecen después que sus bulbos han pasado por un período invernal de bajas temperaturas. Las gémulas de las especies se desarrollan a temperatura heladas. Los huevos del saltamontes australiano interrumpen su desarrollo si no están expuestos a bajas temperaturas.

Se comprende que estas necesidades limitan grandemente la distribución de las especies. Los organismos que necesitan bajas temperaturas, están limitados a su distribución altitudinal hacia la parte baja de las laderas de las montañas, y en su distribución latitudinal, hacia el ecuador; lo contrario ocurre con las especies que necesitan altas temperaturas.

Es también conocida la influencia que la temperatura ejerce tanto sobre el tamaño absoluto de los animales, como sobre las proporciones relativas de algunas de sus partes. El hecho, de carácter general, de que entre las aves y mamíferos de la misma especie alcanzan mayor tamaño los que viven en regiones más frías y que, entre especies próximas, las mayores sean las que habiten en climas húmedos, se conoce con el nombre de **principio de Bergman**. Los animales poiquilotermos, típicamente representados por los reptiles y los anfibios, presentan la relación inversa, siendo menores las formas que viven en climas más fríos.

La observación relacionada con las anteriores, de que las extremidades como la cola, orejas y patas de los mamíferos son más pequeñas en climas fríos se conoce como la **regla de Allen**. Como ambos principios generales se aplican a las formas homeotermas, deben estar probablemente relacionados con la dificultad de conservar el calor a bajas temperaturas y a la conveniencia de perderlo a otras excesivamente elevadas. En los animales de gran tamaño la superficie del cuerpo es relativamente menor, en relación a la masa del mismo, que en los animales pequeños, y la presencia de extremidades más reducidas implica la exposición de superficies menores (fig. 6.1). Como el calor se pierde principalmente por la superficie, cuanto menor sea el área de la piel de un animal, más fácilmente podrá conservar éste su temperatura en tiempo frío. Recíprocamente, el desarrollo de grandes extremidades con amplias superficies para la irradiación, favorece la pérdida del calor y de la humedad en

climas cálidos. Estas relaciones ecológicas sencillas, junto con el principio de Bergman y la regla de Allen, explican indudablemente, por lo menos en parte, la no existencia de mamíferos o pájaros extremadamente pequeños, es decir, tan pequeños como la mayoría de los insectos.



Fig.: 6.1 Cabezas del zorro ártico; *Alopex lagopus* (izquierda), zorro rojo; *Vulpes vulpes* (centro) y zorro del desierto; *Megalotis zerda* (derecha) que muestran la gradación de las orejas

✚ La energía solar.

Prácticamente toda la energía que recibe la superficie de la tierra procede del Sol. Esta radiación solar llega a la tierra en forma de ondas. De estas ondas de luz existen diferentes tipos, que se diferencian en cuanto a su longitud (distancia de un tipo a otro de las ondas). El espectro de ondas va desde las ondas gamma, muy penetrantes y de longitud de onda muy pequeña, hasta las ondas de radio, con longitudes de onda de varios kilómetros. Como todas estas ondas viajan a la misma velocidad (299 792 km/s), la frecuencia de ellas (veces que pasan por un punto), es proporcional a la longitud de onda.

Pero la radiación solar no solamente se comporta como onda; al mismo tiempo ella está constituida por partículas discretas, cada una de las cuales con una cantidad determinada de energía que es directamente proporcional a la frecuencia de su onda. Como vimos que esta es inversamente proporcional a la longitud de onda; la radiación de onda corta lleva asociada mayor energía que la radiación de onda larga.

El 99% de la radiación solar que llega a la tierra abarca un amplio espectro de longitudes de onda; dentro de estas se pueden distinguir tres zonas:

- radiación de onda corta o ultravioleta.

- Luz visible.
- radiación infrarroja

La importancia ecológica de la radiación solar se basa fundamentalmente en la forma en que dicha radiación afecta a los órganos de los sentidos de los organismos superiores, es decir, como luz visible o como calor (radiaciones infrarrojas).

La radiación ultravioleta contiene mucha energía y puede alterar organizaciones moleculares. La radiación luminosa está formada por partículas que contienen precisamente la energía necesaria para que dicha radiación pueda ser captada con eficiencia por una estructura molecular viva. La radiación infrarroja contiene partículas de poca energía asociadas a una longitud de onda larga, no puede concentrar mucha energía en una región pequeña, y su efecto es acelerar o aumentar la movilidad molecular de una manera general y vaga.

Radiación ultravioleta:

Las fuentes de radiación ultravioleta, además de la radiación solar, son la radiación cósmica (principalmente electrones de gran energía) y las sustancias radiactivas (radiaciones X y gamma). Desde el punto de vista ecológico, esta última fuente es la más importante, ya que ha aumentado últimamente por la acción del hombre.

Las sustancias radioactivas emiten partículas de mucha energía y corta longitud de onda. Dicha energía la ceden al atravesar la materia viva, excitando (cambiando de órbita un electrón) o ionizando (expulsando electrones) las moléculas orgánicas, las cuales entonces pueden intervenir en diversas reacciones químicas. La molécula orgánica más afectada en este sentido es el ácido desoxirribonucleico (ADN), ya que ella controla todas las características estructurales y funcionales de un organismo. Teniendo todo esto en cuenta, los principales efectos ecológicos de las radiaciones ultravioleta pueden resumirse como sigue:

- *Acción bactericida*: Esto se debe a que en organismos pequeños, como las bacterias, que carecen de núcleo, el ADN está expuesto directamente a las radiaciones ultravioletas, las cuales producen en este, casi siempre, daños irreparables.

- *Acción mutagénica:* Esto puede ocurrir en todos los organismos al cambiar la estructura del ADN, por mediación de los diversos compuestos químicos producidos durante la excitación e ionización de las moléculas orgánicas.
- *Acción antibiomasa:* Esto ocurre debido a que la radiación ultravioleta afecta más la fertilidad y el crecimiento, que la longevidad de los organismos.

La sensibilidad a la radiación ultravioleta varía según determinadas características de las especies. Aquellas con núcleo de pequeño tamaño, como los hongos y musgos, son más resistentes que las especies con núcleos de gran tamaño, tales como las gimnospermas y angiospermas. Las especies más pigmentadas son también más resistentes, debido al efecto absorbente del pigmento; esta resistencia también está presente en las especies protegidas por caparazones calizos, pues estos absorben dichas radiaciones.

Luz visible.

La luz, es la que aporta, en sus partículas de radiación, la energía que puede ser captada por moléculas orgánicas como la clorofila y los carotenos. Estas moléculas tienen enlaces coordinados de tal forma que permiten que esta energía pueda ser utilizada en reacciones químicas. Estas reacciones viabilizan la síntesis de materia orgánica a partir de elementos simples del ambiente abiótico, y con ello dan lugar a la posibilidad de la utilización de dichas sustancias por otros organismos que no pueden realizar esa función. De este modo se originan las cadenas alimentarias ya conocidas por nosotros, con su característico flujo de energía de los productores a los consumidores, y de ambos grupos a los descomponedores.

Tres parámetros fundamentales deben destacarse en el estudio de la luz, en relación con sus efectos ecológicos; estos parámetros son intensidad, duración y cantidad, y varían en el espacio y en el tiempo, y en dependencia de si se trata de un medio acuático o terrestre.

Medio acuático: Al incidir sobre las superficies acuáticas, el 10 % o más de la luz no penetra en este medio, debido a la reflexión, y en el camino hacia abajo, se modifica en lo que atañe a intensidad, composición espectral, distribución angular y distribución temporal.

La intensidad de la luz en el agua disminuye tanto por absorción como por difracción. El agua absorbe la luz mucho más rápido que el aire, y determina un cambio profundo en la composición espectral de esta. En un medio acuático óptimamente puro (sin partículas en suspensión ni sustancias disueltas), las ondas de luz que más rápidamente disminuyen su intensidad, son las de los colores rojo, naranja y amarillo; las que menos la disminuyen y, por tanto, penetran más profundamente, son las ondas correspondientes al color azul. Estas pueden ser difundidas de nuevo hacia arriba, para dar el característico color azul de las aguas transparentes.

Cuando las aguas naturales contienen partículas en suspensión y sustancias disueltas en grandes cantidades, también modifican la composición espectral de la luz, así como su transparencia. De igual forma, la intensidad de la luz es reducida por las capas de algas y otras plantas marinas sumergidas o flotantes en las costas y orillas de lagos y ríos, de un modo semejante a como lo hacen los árboles de un bosque.

Medio terrestre: La intensidad de la luz que llega a la superficie de la Tierra varía según el ángulo de incidencia, el grado de absorción de la atmósfera y los factores de oscurecimiento. Cuanto menor es la altura del Sol, tanto menor es el ángulo de incidencia y más largo el camino a recorrer por la luz a través de la atmósfera, lo cual reduce la intensidad de la luz, las variaciones de la altura del Sol dependen tanto de la latitud, que es el componente espacial, como de la estación del año y la hora del día, es decir, el componente temporal. La mayor intensidad de la luz solar sobre la superficie terrestre corresponde al momento del Sol en el cenit. En las latitudes elevadas, la intensidad de la luz es cada vez menor.

La humedad, las nubes y el polvo atmosférico (agentes de absorción de luz de la atmósfera), así como las comunidades (selvas, bosques), reducen grandemente la intensidad de la luz.

En cuanto a la duración y cantidad de luz en el medio terrestre, estos vienen determinados por la duración del período de iluminación, el cual a veces es más importante que la intensidad en sus efectos ecológicos. Esto ocurre también con muchos ciclos reproductivos y migratorios en diversos animales, en los cuales el acortamiento o alargamiento de los períodos de luz, desencadenan dichos ciclos.

En el ecuador, el período de luz dura 12 h, y en las regiones polares, durante el verano, llega a ser de 24 h. Estas diferencias latitudinales ejercen un enorme efecto sobre toda la actividad de las comunidades del globo terrestre.

Comportamiento de los organismos en relación con la luz visible:

Los fenómenos biológicos asociados con la recepción de luz son la fotocinesis, el fototropismo, la fotoperiodicidad, la fotosíntesis, el fototaxismo y la visión.

La fotocinesis es el efecto directo de la luz sobre la actividad de los animales. La luz acelera los movimientos de muchos animales no cordados acuáticos y las larvas de algunos peces. En general, la velocidad del movimiento es proporcional al logaritmo de la intensidad luminosa, si se supone que la radiación absorbida se transforma en calor.

El fototropismo es la orientación de la dirección de crecimiento de las plantas, en relación con la luz. Cuando el crecimiento se realiza en busca de la fuente de luz, el fototropismo es positivo; cuando es en contra de esta fuente, el fototropismo es negativo. Para el primer caso se supone que las riboflavinas, que son vitaminas, actúan como fotorreceptores y catalizadores, determinando la destrucción fotolítica de las auxinas u hormonas de crecimiento, en la parte iluminada de la planta; la parte opuesta, por consiguiente, crecerá más, lo que hará que la planta se curve hacia la luz.

El fotoperíodo es un ciclo de 24 h. La manifestación más acusada de fotoperiodicidad es la regulación del ciclo reproductivo en muchas plantas y animales. En las plantas, por ejemplo, existen algunas especies que florecen en días largos y otras que florecen en días cortos. En los animales, el desarrollo de las alas de los áfidos, la metamorfosis de los mosquitos y los cambios de pelaje en los mamíferos, están todos influidos por la duración de las horas de luz.

La fotosíntesis se realiza a partir de la captación de luz, entre límites de longitud de onda definida, por moléculas especiales (clorofilas, carotenoides y ficobilinas), que tienen en común la característica de encontrarse en un estado semisólido y formando estructuras laminares superpuestas, cuyo conjunto constituye el cloroplasto en las células eucariotas. La intensidad de la luz incidente influye directamente en la actividad fotosintética de las plantas.

El aspecto ecológico más importante de la fotosíntesis radica en su bajísima eficiencia, es decir, en la relación que existe entre la energía absorbida y la energía realmente utilizada

para la síntesis de compuestos orgánicos. Mientras que una celda de selenio expuesta al sol tiene una eficiencia de un 6 a un 12 %, una célula vegetal tiene solo 0,13 % de eficiencia. De ello se deduce que en la evolución de la biosfera no se ha podido llegar al máximo en la utilización de la energía solar, sino utilizar solamente la necesaria para el mantenimiento de la mayor organización que permiten los otros factores limitantes de la naturaleza.

El taxismo consiste en el movimiento activo de todo el cuerpo hacia determinado estímulos o en contra de ellos. Cuando el estímulo es una fuente de luz, el fenómeno se denomina fototaxismo. Como los taxismos implican movimiento de todo el cuerpo, se presentan solamente en los animales, y, muy especialmente, en los no cordados, como los insectos, donde desempeñan un importante papel en la orientación de estos organismos. Un ejemplo bien conocido es el de la cucaracha (*Periplaneta americana*), que posee fototaxismo negativo, ya que huya de las fuentes de luz.

La visión consiste en la utilización de la luz no como fuente de energía, sino como fuente de orientación. El sistema utilizado es, en este caso, casi idéntico al de la fotosíntesis, aunque más simple, ya que aquí la energía lumínica se utiliza para liberar energía almacenada en otras células, y no para sintetizar compuestos. El sistema de visión de todos los organismos se basa en la existencia de estructuras laminares, y moléculas de carotenoides que se asocian con proteínas para constituir el pigmento visual.

En líneas generales se pueden distinguir animales adaptados a la luz intensa, o fotópicos, y a la luz débil, o escotópicos. En los primeros, el color es primordial para las relaciones dentro de la especie y entre especies diferentes; dentro de este grupo están los reptiles, las aves, algunos mamíferos, los himenópteros y los lepidópteros, entre otros. Todos estos animales se guían más por la vista que por el olfato, y al oscurecer, la pérdida de la visión los inmoviliza; son, pues, animales diurnos. Estos animales presentan diferentes tipos de coloración, que son, principalmente: epigámica, críptica, disruptiva, mimética y aposemática

La *coloración epigámica* interviene en la atracción del sexo opuesto, y es común en los machos de muchas aves y reptiles. (Ver Fig. 6.2)



Fig. 6.2.

El pavo real tiene las plumas de la cola muy alargadas. Los colores del macho sirven para atraer a la hembra durante el cortejo.

La *coloración críptica* tiene como función evitar el ataque de los predadores; con esta coloración, el animal se asemeja al sustrato. (Fig.6.3) Muchos peces de fondo, como los lenguados, aves de matorrales, como las codornices, y mariposas nocturnas que descansan por el día en algún sustrato, presentan este tipo de coloración.



Fig. 6.3.

El pez sapo ostrero intenta capturar a sus presas, que incluyen gusanos, caracoles, cangrejos, calamares y peces; acechando cerca de rocas del mismo color apagado

La *coloración disruptiva* tiene como función evitar los predadores, o permitir a estos acercarse a la presa, al confundirse el contorno del animal con el del ambiente (Fig.6.4). Las aves con coloraciones abigarradas en sus cabezas y cuellos, los peces tropicales con múltiples franjas multicolores, el cuerpo rayado del tigre y la cebra, entre otros, son ejemplos comunes de este tipo de coloración.



Fig. 6.4

A diferencia del resto de especies de cebras que viven en zonas más áridas, la cebra de montaña habita en el suroeste de África en áreas con vegetación más abundante y densa. El dibujo a rayas del pelaje ayuda a romper la línea del contorno del cuerpo, de modo que a los depredadores les resulta difícil individualizar a un animal en concreto mientras corren en grupo.

La *coloración mimética* se presenta, por ejemplo, en especies inofensivas para confundir su forma y color con los de otra especie que posee medios de defensa (por ser venenosa, por poseer un aguijón, etc), y con la cual la primera no está emparentada evolutivamente (ver fig.6.5). La inofensiva mariposa de la adelfa, por ejemplo, mediante esta coloración, se asemeja muy bien al caballito del diablo, himenóptero que posee un poderoso aguijón, con el que paraliza a las grandes arañas. La semejanza mimética ayuda a la supervivencia de la mariposa, ya que los predadores visuales aprenden a evitarla del mismo modo que hacen con el caballito del diablo.



Fig.6.5

Mimetismo en las serpientes

En áreas donde su distribución coincide, algunas serpientes imitan a otras para eludir la depredación. Por ejemplo, la serpiente de leche que aparece en la parte derecha de la imagen es muy similar a la venenosa serpiente coral. La estrategia tiene éxito, ya que algunas aves depredadoras jóvenes la rehúyen de forma instintiva por los dibujos de anillos rojos y amarillos que imita de la serpiente coral.

La *coloración aposemática*, a diferencia de las coloraciones anteriores, la poseen animales con medios de defensa (venenos, espinas, aguijones, olores), de tal forma que la coloración advierte al predador del peligro que significa atacar al animal que la presenta. La serpiente coral, por ejemplo, una de las más venenosas de Norteamérica, está adornada de llamativas franjas rojas, amarillas y azules. Los himenópteros de poderoso aguijón, tienen vistosas franjas negras y amarillas en el abdomen, y los peces coralinos de mal sabor, lucen los más vistosos colores.

Los animales escotópicos solo perciben la luz débil y suelen poseer ojos voluminosos. Son generalmente diurnos o crepusculares, y entre ellos se cuentan muchas serpientes e insectos. Los murciélagos, y rapaces, como la lechuza.

Sustancias Nutritivas

Las plantas verdes necesitan para su nutrición varias sustancias principales y una larga lista de otras más secundarias. Los principales elementos que intervienen en la formación de los tejidos vegetales son: carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Hemos considerado ya anteriormente cómo el carbono procede del CO_2 , el hidrógeno del H_2O y el oxígeno del O_2 , CO_2 y H_2O . El aire contiene una cantidad fabulosa de nitrógeno, pero el nitrógeno atmosférico no es utilizable por la mayoría de los vegetales. En este aspecto, el nitrógeno ofrece un marcado contraste con el CO_2 . Hemos visto que la cantidad de esta sustancia contenida en la atmósfera es extraordinariamente pequeña, a pesar de lo cual las plantas la utilizan directamente con rapidez. Como el nitrógeno constituye el 79 % de la atmósfera, las plantas terrestres están prácticamente rodeadas por este gas, y a pesar de ello sólo un reducido número de bacterias pueden utilizar el nitrógeno libre. De modo análogo, las plantas acuáticas no pueden utilizar directamente la gran cantidad de nitrógeno disuelto en las aguas naturales. Las plantas verdes obtienen el nitrógeno necesario de los compuestos nitrogenados, los cuales no son generalmente muy abundantes y proceden primariamente de la descomposición de materiales orgánicos. La mayoría de las plantas crecen mejor cuando se les suministran nitratos (muchas son las que únicamente pueden obtener el nitrógeno en esta forma), mientras que otras, como varias algas verdes, pueden asimilar nitritos, amoníaco y aminoácidos.

Otros dos elementos necesarios en cantidades moderadas para el crecimiento de las plantas holófitas son el azufre, que abunda en los suelos y en el mar en forma de sulfatos, y el fósforo, que se encuentra formando fosfatos, si bien con menor abundancia. Aunque cierta cantidad de fosfatos procede de la alteración de la roca madre del suelo, la fuente inmediata de estas sustancias para la mayoría de las plantas verdes es la descomposición de la materia orgánica. Aunque en pequeñas cantidades, son también esenciales el potasio, el calcio y el magnesio. El potasio procede de los silicatos potásicos que forman parte de casi todas las rocas, y la presencia del calcio ha sido ya considerada en el capítulo precedente. El magnesio, piedra angular de la estructura de la molécula de la clorofila, se encuentra generalmente en cantidades suficientes en el suelo y en las aguas naturales.

Otros elementos necesarios para el desarrollo de las plantas, por lo menos en cantidades vestigiales, son: hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno y boro. El hecho de que el desarrollo de las plantas sea afectado por una concentración de zinc del orden de 1 entre 200 000 000 demuestra la exigüidad de las cantidades en que estas sustancias pueden resultar efectivas. La sílice es empleada por las diatomeas para la construcción de sus caparazones: otros elementos como el aluminio, flúor y bromo son empleados por determinadas planta, pero parecen que no tienen valor nutritivo.

Aunque el sodio y el cloro se encuentran generalmente presentes en los tejidos vegetales, probablemente no son necesarios para la mayoría de las especie. Ciertos elementos se encuentran en las plantas y también en los animales a concentraciones muy superiores a las propias del ambiente. Ello ocurre principalmente con los elementos que se presentan en cantidades vestigiales y se manifiesta claramente en el mar, donde la composición química del agua es muy uniforme. La sílice y el hierro están muy concentrados en el cuerpo de las diatomeas, y el titanio, que se a encontrado en algunos organismos marinos, no ha sido detectado, en cambio, todavía en el agua de mar. El vanadio puede constituir casi el 0,2 % del peso seco de *Ascidia mentula*, y como esa sustancia se encuentra en el agua de mar sólo en concentraciones de 0,3 a 0,6 miligramos por metro cúbico, este elemento ha sido concentrado alrededor de cuatro millones de veces en el cuerpo de dicho animal.

Otros varios elementos, que pueden ser o no esenciales para las plantas, son en cambio importantes para los animales que se alimentan de materias vegetales, ya como elementos beneficiosos, como, por ejemplo, cobalto, yodo y níquel, o perjudiciales, como el selenio y el molibdeno. Pocas o ninguna de estas sustancias nutritivas de menor importancia se encuentran en forma de elementos en el suelo o en el agua, presentándose, principalmente, en forma de sales o iones en combinación química y en esta forma deben ser absorbidos. Concentraciones superiores a las normales de estos elementos, de los que sólo se encuentran trazas, resultan perjudiciales para las plantas, con nada más que un escaso margen de variación entre las concentraciones mínima, óptima y perjudicial. Por ejemplo, un aumento en la concentración de boro en el suelo del orden del 1 por mil mataría algunas plantas, mientras que, para otras especies, dicha concentración es óptima y resulta, en cambio, tóxica la de 5 por mil.

LEY DEL MÍNIMO DE LIEBIG.

Si alguno de los elementos nutritivos necesarios falta por completo, se inhibe el crecimiento de las plantas y, finalmente, mueren. En algunos hábitats pueden hallarse presentes todas las sustancias esenciales, pero una o varias de ellas pueden encontrarse en concentraciones tan débiles, que algunas especies no pueden absorberlas con la velocidad que requieren sus necesidades alimenticias. En estos casos, el crecimiento de las plantas está sometido a la denominada ley del mínimo de Liebig. Según esta ley, el crecimiento está limitado por la sustancia que se encuentra en cantidades mínimas con las necesidades del organismo. La ley de Liebig fue establecida primeramente para las limitaciones impuestas por las sustancias nutritivas y a ellas se refiere principalmente, pero, en ocasiones se aplica en sentido más amplio haciéndola extensiva a las limitaciones debidas a otros factores del ambiente.

Como el lector habrá intuido, la sustancia limitante es la mínima en relación con las necesidades y no necesariamente la que se presenta en menor cantidad.

Las aguas residuales vertidas por las cloacas de las ciudades a los ríos y lagos, así como otras sustancias polucionantes, proporcionan cantidades suplementarias de materias nutritivas que determinan con frecuencia un desarrollo en cantidades excesivas de algas que forman acumulaciones malolientes y antiestéticas. La aplicación de la ley del mínimo permite regular este desarrollo indeseable. Como el tratamiento de todas las aguas residuales es costoso, se ha intentado la eliminación de una sola de las sustancias nutritivas esenciales. Después de la eliminación de los fosfatos de las aguas residuales, el crecimiento de las algas fue seriamente inhibido, aun cuando todas las demás sustancias nutritivas estaban presentes con gran abundancia. Actualmente se investiga la posibilidad de aplicar este procedimiento en gran escala.

No solo den encontrarse las sustancias nutritivas en el suelo en cantidades suficientes sino, lo que es todavía más importante, deben hacerlo en forma utilizable. El hierro, el manganeso, el magnesio, el zinc, y en ocasiones el fósforo, se encuentran en compuestos no utilizables en los suelos excesivamente alcalinos. Por otra parte, en condiciones de intensa acidez, el fósforo forma fosfatos insolubles con el hierro y el aluminio, los nitratos no pueden formarse con rapidez a partir del amoniaco, y ciertos elementos pueden disolverse hasta alcanzar concentraciones tóxicas. Una de las principales razones para la adición de cal a los suelos

cultivados es para corregir la acidez desfavorable y hacer con ello utilizables para las plantas las sustancias nutritivas.

Algunos elementos y vitaminas son necesarios para los animales únicamente en cantidades vestigiales, pero si las trazas de estos elementos faltan en la dieta se originan graves trastornos e incluso la muerte. En algunas regiones, donde el suelo contiene escaso yodo, las plantas, aunque ellas no sufran ningún trastorno no contienen el yodo necesario para la alimentación de los animales. A consecuencia de ello el bocio se halla muy difundido en los animales e incluso afecta al hombre, a menos que se añada dicha sustancia a la dieta en forma de sal yodada.

El zinc, hierro, cobre y cobalto son otros elementos necesarios en cantidades vestigiales para los animales. El zinc es un componente esencial de uno de los enzimas que intervienen en la respiración, y los otros tres elementos mencionados están relacionados con la formación de la hemoglobina, cuya deficiencia produce la anemia. En algunas zonas de Escocia y de Australia, todos los intentos llevados a cabo para cría de ovejas fueron ineficaces hasta que la dificultad se atribuyó a la falta de cobalto en el suelo. Con muy escasas cantidades de cobalto añadidas como fertilizantes en las zonas de pastoreo o suministradas directamente a las ovejas, se obtuvieron resultados muy favorables en el desarrollo de los animales.

La necesidad de ingerir vitaminas con la alimentación es sobradamente conocida para que se insista aquí sobre ellas. Solo se consumen pequeñísimas cantidades de estas sustancias, pero estas son absolutamente necesarias y deben obtenerse directamente de las plantas que las producen o por algún otro medio, para que los animales puedan vivir. La regulación de la vida de los animales y de otras formas heterotróficas, realizada por la nutrición, puede radicar en la suficiencia de las cantidades de materias alimenticias, en la disponibilidad de sustancias esenciales accesorias en cantidades extremadamente pequeñas, o en algún otro aspecto necesario de la nutrición.

LEY DE LA TOLERANCIA DE SHELFORD

En cualquier parte del mundo y en todo momento, los organismos vivos producen enormes cantidades de descendientes y tratan de expandirse por fuera de los límites de su área de distribución. Una reina de comején puede poner 100 000 000 de huevos durante su vida, y

una orquídea tropical puede liberar hasta 1 750 000 semillas en una sola cápsula. Sin embargo, ni los comejenes ni las orquídeas han aumentado considerablemente su número de nuestro planeta, ni se han expandido por toda la superficie del mismo. ¿Qué factores tienen límites a la tendencia al aumento numérico y espacial que poseen todas las especies de organismos?

Sencillamente las mismas condiciones ambientales, tanto bióticas como abióticas, que imponen límite de tolerancia a cualquier organismo que se enfrenta a la complejidad del ambiente.

Para poner sus 100 000 000 de huevos, la reina de comején necesita de alimentarse de determinados árboles maderables y éstos no se encuentran en todas partes, ellos también están limitados por los factores del ambiente; necesita ,además, determinadas condiciones de luminosidad, temperatura, y humedad que sólo se dan en ciertos lugares y en momentos específicos, por último los comejenes son devorados por muchos otros organismos insectívoros, que acaban por delimitar aún más, el número y distribución de estos en la naturaleza.

Todo el problema estriba en la magnitud de tolerancia que posea el comején para todos los factores que hemos citado (y muchos otros que hemos omitido); es decir, en los límites “hacia arriba” y “hacia abajo” que presenta esta especie para escasez o abundancia de árboles maderables; altas y bajas temperaturas y luminosidades; escasez o exceso de humedad, y poca o intensa tolerancia a la predación.

Si por ejemplo, los comejenes resistieran temperaturas entre 3° C y 45° C, obviamente podrían ser mucho más abundantes y vivir en muchos más lugares, que si solo resistieran entre 20° C y 22° C. En el primer caso, decimos que el límite de tolerancia es amplio, y en el segundo caso, que es estrecho.

La acción controladora de cualquier factor se ejerce a través de la actividad, desarrollo, supervivencia y reproducción del organismo, de tal forma que cualquiera de estos índices

puede servir como medida para determinar los límites el organismo sobrevive, y lleva a cabo sus funciones vitales de una forma normal.

Dentro de valores máximos y mínimos muchos más estrechos, hay un valor óptimo, donde actividad, desarrollo, supervivencia y reproducción son máximos (fig.6.6).

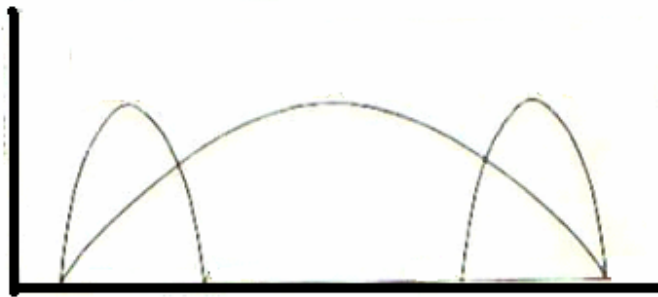


Fig. 6.6

Esquema general de la tolerancia ecológica de los organismos. En el eje Y, medidas de la tolerancia, y en el eje X, factores ecológicos a los que es o no tolerante. Las curvas representan tres especies diferentes:

- a) La primera, tiene una tolerancia para bajos valores del factor ecológico.
- b) La segunda, posee una amplia tolerancia.
- c) La tercera, tiene una tolerancia intermedia para altos valores del factor ecológico.

Se podría nombrar una infinita cantidad de ejemplos sobre determinados factores que de una forma u otra ponen un límite al tamaño y expansión de las poblaciones y por cuya razón reciben el nombre de factores limitantes mencionaremos aquí solo los más conocidos.

El calcio de las aguas marinas, por ejemplo, es un factor limitante para los moluscos de este hábitat, ya que con el mismo elaboran sus conchas.

Para las plantas, la presencia en el suelo de fósforo, calcio y potasio, pueden constituir factores de primera importancia, cuya carencia limita su crecimiento.

Las orquídeas caso siempre las encontramos en regiones húmedas y sombrías, y es que el efecto del calentamiento de la luz solar directa no puede ser tolerado por estas plantas, y actúa dicho factor como limitante en la vida de éstas.

Muchas zonas áridas no son invadidas por especies de plantas y animales de zonas vecinas, porque para dichos organismos, la escasez de agua en muchas zonas constituye un efectivo factor limitante que afecta su dispersión.

TABLA

Efecto de algunos factores limitantes abióticos en el tamaño y distribución espacial de algunas plantas y animales de nuestras comunidades.

Factor limitantes	Especie	Limitación
Suelo	Cedro (<i>Cedrela odorata</i>).	Distribución. Requiere suelos ricos en materia orgánica y calcio, con un pH de 6,9 a 7,7.
Luz.	Majagua (<i>Hibiscus tiliaceus</i>).	Numérica. Bajo sombra fuerte no se regenera.
Temperatura.	Jicotea (<i>Pseudemys decussata</i>).	Distribución. Necesita temperaturas del suelo elevadas para la eclosión de los huevos.
Sales.	Abanico de mar (<i>Gorgonia velleum</i>).	Poblacional. Tiene un esqueleto formado por carbonato de calcio que extrae del agua.

La existencia y la prosperidad de un organismo dependen del carácter completo de un conjunto de condiciones. La ausencia o el desmedro de un organismo podrán ser debido a la deficiencia o al exceso cualitativo o cuantitativo con respecto a uno cualquiera de diversos factores que se acercarán tal vez a los límites de tolerancia del organismo en cuestión

No sólo la exigüidad de algo podrá constituir un factor limitativo, como lo propuso Liebig, sino también el exceso de algo como en el caso de factores como sol, luz y agua. Así, pues,

tienen los organismos un máximo y un mínimo ecológico, con un margen entre uno y otro que representa los límites de tolerancia.

Algunos principios subsidiarios de la “Ley de tolerancia” pueden enunciarse como sigue:

- 1) Los organismos pueden tener acaso un amplio margen angosto, en cambio, para otro.
- 2) Los organismos con márgenes amplios de tolerancia para todos los factores son los que tienen más probabilidades de estar extensamente distribuidos.
- 3) Cuando las condiciones no son óptimas para una especie con respecto a un determinado factor ecológico, los límites de tolerancia podrán acaso reducirse con relación a otros factores ecológicos. Por ejemplo, Penman (1956) informa que cuando el nitrógeno del suelo es limitativo, la resistencia de la hierba a la sequía se reduce. En otros términos, encontró que se requería más agua para prevenir el marchitamiento con niveles bajos de nitrógeno que con niveles altos.
- 4) Con mucha frecuencia se descubre que los organismos no viven efectivamente, en la naturaleza, en las condiciones óptimas (averiguadas experimentalmente) con respecto a algún factor físico particular. En tales casos se encuentra que algún otro factor, o algunos, poseen mayor importancia. Algunas orquídeas tropicales, por ejemplo, se desarrollan de hecho mejor en pleno sol que a la sombra, a condición que se las mantenga fresca (veáse Went, 1957) en la naturaleza, en cambio, sólo crecen en la sombra, porque no pueden soportar el efecto caluroso de la luz solar directa. En muchos casos, acciones recíprocas entre la población.
- 5) El período de la reproducción suele ser un periodo crítico en que los factores ambientales tienen más probabilidades de ser más limitativos. Los límites de tolerancia suelen ser más angostos entonces para los individuos reproductores (semillas, huevos, embriones, retoños y larvas) que para los animales o las plantas adultas que no se reproducen. Así, por ejemplo, un ciprés adulto crecerá acaso en terreno alto y seco, o sumergido continuamente en agua, pero no puede reproducirse a menos que sea en un terreno húmedo pero no inundado, donde los retoños puedan desarrollarse. Los cangrejos azules adultos, por otra parte, así como muchos otros animales marinos, toleran el agua salobre o agua dulce con un alto contenido de cloruro de modo que algunos de sus individuos se encuentran en ocasiones a cierta distancia río arriba. Pero sus larvas, en cambio, no pueden vivir en dichas aguas y, por

consiguiente, la especie no puede reproducirse en el ambiente del río ni se establece nunca en éste con carácter permanente. La extensión geográfica de las aves de casa la decide a menudo el efecto del clima sobre los huevos o las crías, más bien que sobre los adultos.

Para expresar los grados relativos de tolerancia se ha generalizado en ecología el empleo de una serie de términos que se sirven de los prefijos “esteno”, que significa angosto, y “euri”, que tiene el significado de amplio así por ejemplo,

Estenotermal - euritermal se refiere a la temperatura.

Estenohídrico - eurihídrico se refiere al agua.

Estenohalino - eurihalino se refiere a la salinidad.

Estenofágico - eurifágico se refiere a los alimentos.

Estenoesio - euriesio se refiere a la elección del habitat.

A título de ejemplo, comparemos las condiciones que se producirán y empollarán huevos de la trucha de arroyo (sarvelinos) y los de la rana leopardo (rana pipiens). Los huevos de la trucha se desarrollan entre el 0 °c y los 12 °c, con una temperatura óptima alrededor de 4 °c. Los de la rana por su parte se desarrollan entre los 0 °c y los 30 °C, con una temperatura óptima alrededor de 22 °c. Así, pues, los huevos de la trucha son estenotermes, tolerantes de baja temperatura, frente a los de la rana, que son euritermales y toleran temperaturas tanto altas como bajas. Las truchas en general, tanto los huevos como los adultos, son relativamente estenotermes, aunque algunas especies son más euritermales que la trucha de arroyo. *Trematomus bernacchi*, pez del antártico, y el pez del desierto *Cyprinodon macularius* presentan un contraste extremo en cuanto a los límites de tolerancia en relación con los ambientes muy distintos en que vive. En efecto, el pez del antártico tiene un límite de tolerancia de temperatura de menos de 4 °c, en el margen de - 2° a + 2°, y está así adaptado al río de modo sumamente estenotérmico. Al subir la temperatura del agua a 0o la intensidad del metabolismo aumenta, pero decrece, luego, ha medida que la temperatura del agua va aumentando hasta + 1.9°, en que el pez se queda inmóvil, postrado por el calor. En contraste, el pez de desierto es euritérmico y también eurialino y tolera temperaturas entre los 10° y los 40 °c, así como salinidades que van desde el agua dulce hasta una salinidad mayor que la del agua de mar. Por supuesto, la actividad ecológica no es la misma

en todo este margen, sino que la conversión del alimento, por ejemplo, es máxima a 20 °c y 15 por 100 de salinidad.

ADAPTACIÓN Y SISTEMAS DE POBLACIONES

Fenómeno de la adaptación.

Todos los organismos están provistos de diversos medios que le posibilitan su interrelación con los ambientes abióticos y bióticos donde normalmente se desarrolla.

Los animales acuáticos poseen apéndices en forma de remo para el desplazamiento adecuado en el ambiente acuático. Las plantas del desierto poseen dispositivos especiales, como tallos carnosos y hojas espinosas que le permiten una eficaz obtención y almacenamiento del agua. Las plantas trepadoras poseen otros tantos dispositivos especiales en sus hojas, tallos y raíces, con lo que se adhieren a objetos y otras plantas y pueden elevarse y obtener la luz que necesitan para vivir. Las especies parásitas poseen complicados mecanismos que las capacitan para vivir a expensas de otras especies sin ser destruidas por estas.

La adaptación entonces puede definirse como un proceso llevado a cabo por selección natural a través del cual los miembros de una población sufren ciertas transformaciones que los hacen más aptos que las generaciones precedentes en cuanto a supervivencia y reproducción, este proceso incrementa el nivel de adaptabilidad (capacidad para adaptarse al ambiente) de los miembros de la población. Una adaptación es también una estructura o función de un organismo o población que permite lograr la adaptabilidad de dicho organismo o población. Esta estructura o función es adaptativa, debido a que poseen una función adaptativa, y constituye la vía específica por la cual se incrementa la supervivencia y la reproducción.

Por ejemplo, la sustancia tóxica en las hojas de una planta es una adaptación; su función adaptativa o significado adaptativo es reducir el herbivorismo y evolucionó por un proceso que, presumiblemente, incrementó la adaptabilidad de las poblaciones de dicha planta.

Como principio general, podemos postular que todos los cambios adaptativos heredables son cambios evolutivos. Lo contrario de este postulado, sin embargo, no es cierto, ya que no

todos los cambios evolutivos son necesariamente adaptativos, como observamos al estudiar los efectos de la deriva genética.

Adaptación y variación son dos fenómenos biológicos íntimamente relacionados, pues para que ocurra la primera, debe de estar presente la segunda. Y de la misma forma que la variación puede afectar caracteres morfológicos, fisiológicos y conductuales, igualmente la adaptación ocurre en cualquiera de estos tipos de caracteres.

Las adaptaciones surgen como consecuencia de la interacción organismo-ambiente, de tal modo que representan la respuesta de los organismos a los estímulos del ambiente al cual se adecuan. Fig.6.7



Fig. 6.7 Manatí (*Trichechus manatus*), adaptado a la vida acuática en estuarios y ríos, con cuerpo fusiforme y miembros anteriores convertidos en aletas.

La adaptación de cada organismo permite la realización de su nicho ecológico, es decir, de la función que realiza dicho organismo dentro de un ecosistema específico. Las adaptaciones que poseen las plantas verdes para captar la energía solar y transformarla en energía química, les posibilita llevar a cabo la función ecológica de productores dentro de los ecosistemas. El nicho ecológico consumidores secundarios o función ecológica de devorar a otros organismos no productores, como el que llevan a cabo los insectos carnívoros y los grandes depredadores de aves y mamíferos, se realiza gracias a las innumerables adaptaciones de estos organismos que les facilitan acechar, abatir y devorar sus presas.

El nicho ecológico de una especie se refiere a la descripción de un conjunto de elementos abióticos de un ecosistema dado, denominados recursos y al modo de vida específico de la especie en cuestión, en relación con la utilización de dichos recursos. De acuerdo con el modo de utilización del recurso, la especie desempeñará una función específica en el ecosistema.

Los recursos del medio utilizado por las especies son: la temperatura, la humedad, el alimento, otros organismos de la misma especie o de otras especies con fines no tróficos. etc. Los recursos determinan modos de vida tales como preferencias por ambientes húmedos y fríos o secos o cálidos, hábitos alimentarios carnívoros o herbívoros, determinadas organizaciones sociales y asociaciones cooperativas entre especies diferentes, ciclos de actividades, etc.

Los nichos están determinados por los organismos, de tal modo que los recursos del ambiente y los organismos forman una unidad indisoluble; no se concibe un organismo que no utilice algún recurso del medio y que, por consiguiente, carezca de nicho, ni un nicho vacío, en el sentido de que este no tenga un organismo. Existen recursos del ambiente vacantes para algunos organismos, como el océano para los roedores (no existe ningún roedor marino) o las hojas para las aves (no existe ningún ave fitófaga), a los cuales no han podido o han tenido necesidad de acudir, para adaptarse a ellos y realizar un nuevo nicho.

Los organismos que viven en la actualidad, son precisamente los que han logrado sobrevivir gracias a sus adaptaciones. Una especie que no esté adaptada en lo absoluto a su ambiente no puede existir. Una especie cuya adaptación ya no se corresponde con nuevas condiciones ambientales, tarde o temprano llega a desaparecer, bien extinguiéndose, o transformándose en una nueva especie adaptada a las nuevas condiciones.

Toda adaptación es relativa, en el sentido de que no adecua al organismo a todas las condiciones ambientales que existieron, existen o existirán en cualquier lugar de la tierra. Cualquier adaptación representa solamente la respuesta de un organismo a una serie de factores ambientales específicos, variables en el espacio y en el tiempo.

De lo anterior se deduce que las adaptaciones nunca son completas, ya que el ambiente nunca es simple ni uniforme. Ningún organismo se encuentra perfectamente adaptado a las condiciones de su ambiente, pero sus adaptaciones pueden ser teóricamente mejoradas. Ni

aun la maravillosa estructura del ojo es un instrumento óptico perfecto. Posee retina invertida y no está capacitado para corregir las aberraciones cromáticas.

¿Por qué entonces los organismos no perfeccionan sus adaptaciones?

Un análisis más detallado de las adaptaciones explica por qué éstas no son completas.

Realmente representan un “compromiso” entre adaptaciones antagónicas, de tal modo que las mismas se desarrollan hasta un punto tolerable por el conjunto, pero no hasta un punto máximo, pues ello comprometería la existencia de otras adaptaciones antagónicas. En las aves, por ejemplo, existe la adaptación de la coloración críptica para ocultarse de los depredadores y la adaptación de las coloraciones llamativas para atraer a la pareja, especialmente en los machos. Ambas adaptaciones son antagónicas y deben de equilibrarse en su desarrollo para permitir la supervivencia de la especie.

La adaptación es un hecho real. La realidad de la adaptación se demuestra por la existencia de grupos animales no emparentados que responden a presiones selectivas similares, con adaptaciones similares. Los ejemplos más conocidos son las adaptaciones para el desplazamiento en el agua, que han adquirido grupos tan lejanamente emparentados como cetáceos, pinnípedos, pingüinos peces y serpientes de agua. La existencia de estas adaptaciones paralelas confirma la realidad objetiva de los agentes ambientales que la provocan.

Dentro de un mismo grupo sistemático (especie, familia, orden, etc), las soluciones adaptativas para los mismos problemas ambientales, pueden darse por diferentes vías. En la especie de plantas indeseables *Camelina sativa*, que infecta los campos de lino de Europa, se ha resuelto el problema de mantener sus semillas en dichos campos (para que se confundan con las del lino y puedan ser también sembradas), aumentando el tamaño de sus cápsulas y semillas, ya que las formas primitivas no parásitas poseen cápsulas y semillas pequeñas, fácilmente separables de las del lino. Sin embargo, el aumento del tamaño de las cápsulas y semillas, como adaptación a las nuevas condiciones se ha logrado por diferentes vías. En algunos casos se ha hecho incrementando la altura de la cápsula y en otros reduciendo el número de semillas por cápsula, lo que automáticamente aumenta su tamaño.

TIPOS DE ADAPTACIÓN EN RELACIÓN CON EL AMBIENTE

Todos los organismos poseen un sinnúmero de caracteres adaptativos, ya que los adecuan a los medios abióticos, biótico externo, o biótico interno. Pero debe tenerse presente que un carácter dado puede estar adaptado a uno solo o varios de estos tipos de ambientes y que el organismo como un todo siempre posee adaptaciones a los tres tipos de ambientes, ya que ellos siempre están presentes durante todo el desarrollo del organismo.

Adaptaciones extremadamente llamativas ocurren en las plantas de zonas secas, como en los cactus (Fig. 6.8). Dichas plantas están expuestas a los peligros de la desecación, por lo que representan adaptaciones, tales como: reducción de las hojas y, por consiguiente, disminución de la superficie, además, las hojas tienen una cubierta cerosa y las ramas son más delgadas todo lo cual disminuye considerablemente la pérdida de agua por evaporación. Estas adaptaciones al ambiente abiótico, se acompañan a menudo con adaptaciones al ambiente biótico externo, ya que las hojas se convierten en agudas espinas, que protegen a las plantas de los depredadores.

Otro caso de adaptación en las plantas en el cual se mezclan factores abióticos y bióticos externos, lo tenemos en los mecanismos de dispersión de las semillas. La dispersión de semillas en amplias áreas es un factor importante en la supervivencia de las especies vegetales, ya que posibilita que las poblaciones aumenten en número sin competencia. Entre los factores utilizados se encuentran los abióticos como el agua y el viento y factores bióticos como las aves frugívoras y los mamíferos, las primeras comen las frutas y distribuyen las semillas en sus excrementos y los segundos dispersan los frutos que quedan enganchados en sus pieles.



Fig. 6.8

Cactus

Las adaptaciones fisiológicas de los organismos acuáticos a las concentraciones de sales en este medio, constituyen otro ejemplo interesante de respuesta a los estímulos abióticos del ambiente. Cuando la presión osmótica de un animal es diferente de la del agua que lo rodea, el animal tiene que regular la entrada y salida del agua y de las sales, de afuera hacia adentro y de viceversa.

La sangre de los peces óseos de agua dulce posee una presión osmótica mucho mayor que la del agua del río, por lo que esta penetra en sus cuerpos a través de las membranas de sus agallas y boca; dichos peces eliminan este exceso de agua mediante sus riñones que extraen agua casi pura de la sangre, la cual eliminan en forma de orina muy diluida.

Los invertebrados marinos adquirieron adaptaciones fisiológicas que hicieron igual la presión osmótica de su sangre a la del agua del mar. En los peces óseos marinos, por el contrario, la presión osmótica de su sangre es menor que la del agua de mar, por lo que el agua del animal tiende a pasar al mar. Estos peces regulan su contenido de agua, tragando continuamente agua de mar y absorbiendo agua y sales a través de la pared del intestino. Sus riñones segregan una orina muy diluida. Mediante células secretoras especiales en sus agallas, evitan la acumulación del exceso de sal.

En el mar los tiburones que tienen el mismo problema que los peces óseos marinos, controlan la pérdida de agua con una adaptación fisiológica muy diferente. La sangre de estos animales contiene gran cantidad de urea, por lo cual poseen una concentración salina y ligeramente mayor que la del agua de mar. Por ello, el agua tiende a penetrar en su cuerpo y el exceso de ella se elimina en forma de orina diluida.

Las adaptaciones al medio biótico externo pueden ser de naturaleza intraespecífica, cuando constituyen la respuesta a los estímulos de organismos de la misma especie e interespecífica, si responde a los estímulos de organismos de diferentes especies, sean parásitos, depredadores, simbiosis, etc. Estas últimas incluyen adaptaciones tales como: mecanismos de alimentación, comunicación, protección, persecución, reacción contra enfermedades, etc, de naturaleza morfológica, fisiológica o conductual. Son estas las adaptaciones más llamativas y complicadas y las que con mayor frecuencia aparecen como maravilla de la naturaleza.

Como ejemplo de adaptación intraespecífica pueden citarse aquellas relacionadas con la atracción de la pareja y el cuidado de la prole en muchas especies de animales; alguna de

ellas de naturaleza conductual. Otras adaptaciones de este tipo posibilitan la emisión y recepción de señales visuales, auditivas, químicas y táctiles, que sirven de comunicación a los organismos para el mantenimiento de los grupos con específicos. Además, se consideran aquellas adaptaciones de muchas plantas, las que mediante sustancias bioquímicas inhiben el crecimiento de individuos de su propia especie en su vecindad.

Las adaptaciones de carácter interespecífico implican la interacción de individuos de diferentes especies y el surgimiento de adaptaciones correlacionadas. En algunos casos, los organismos obtienen mutuos beneficios de tales adaptaciones correlacionadas; en otros casos, el resultado es un beneficio unilateral (para una sola especie) o perjudica a ambas especies.

Adaptaciones correlacionadas con beneficio mutuo se presentan en todos los casos agrupados bajo el término simbiosis, y en el caso de la polinización de las flores por los insectos, las flores hermafroditas poseen numerosas adaptaciones que aseguran la polinización cruzada.

En Madagascar, la orquídea *Agraecum esquipedale* posee un nectario que toma la forma de un agujón de 29 cm de longitud. La mariposa nocturna *Xanthopan morgani* posee una proboscis adaptada para llegar hasta el fondo de dicho nectario, condición necesaria para que los paquetes de polen que se desprenden de la flor queden enganchados en el insecto, el cual los transporta a otras flores para fecundarla, asegurando así la fecundación cruzada.

Relacionado con la alimentación, están los numerosos casos de formas y coloraciones protectoras, en donde muchas especies animales presentan un notable parecido con objetos y con el fondo sobre el que normalmente descansan; tales como hojas, ramitas y cortezas de árboles.

Estas formas y coloraciones son adaptativas, ya que si se trata de la presa esta obtiene protección por la incapacidad de sus depredadores para verlos y si se trata del depredador, este no es visto por sus presas. Las rayas de las cebras y los tigres son ejemplo de las dos situaciones anteriores. Entre los insectos estas adaptaciones llegan al extremo, pues existen insectos con forma de hojas y de palos (ver fig. 6.9), orugas que se parecen a ramitas que retoñan, hemípteros que imitan espinas y polillas que se asemejan a excrementos de aves sobre hojas. En algunas especies de peces y reptiles, un parecido

con el sustrato se obtiene a voluntad, cambiando el color y la distribución de las células pigmentarias de la piel.



Fig.6.9

Insecto hoja o insecto palo

Similares a palos u hojas secas, tienen colores parecidos a los de las plantas sobre las que viven. Algunas especies ponen incluso huevos similares a semillas. La mayoría son depredadores de insectos

Las adaptaciones al medio biótico interno son adaptaciones de naturaleza esencialmente fisiológicas, las cuales aseguran el mantenimiento y control de los procesos internos del organismo. Entre ellas tenemos la coordinación general neuroendocrina de todos los procesos fisiológicos, la regulación del pH, sales y presión osmótica de los fluidos corporales, la regulación de los procesos reproductivos, el desarrollo de estructuras y procesos bioquímicos en el tracto digestivo, de acuerdo con el tipo de alimentación, la autonomía y muchos otros.

TIPOS DE ADAPTACIÓN EN RELACIÓN CON EL ORIGEN.

Se ha señalado que la variación y la adaptación son fenómenos relacionados, en el sentido de que muchas de las variaciones fenotípicas son adaptativas. Dicha variación adaptativa obedece a los mismos agentes causales que la variación en general, pues las variaciones adaptativas pueden ser causadas directamente por el genotipo o por el ambiente.

Las adaptaciones de origen genético son aquellas producidas por mutación y recombinación de los genes y mantenidas en la especie por selección natural. Por supuesto, ellas son heredables y ningún tipo de uso o desuso de dicha adaptación, o

ninguna acción de factores ambientales, puede cambiarlas. Casi todos los ejemplos que discutimos en la sección anterior, caen dentro de esta categoría.

Las adaptaciones de origen ambiental son aquellas producidas por la norma de reacción del genotipo, es decir, son variaciones ambientales de naturaleza adaptativa que solo afectan al producto del genotipo y no al genotipo en sí. Todo lo planteado acerca de las variaciones ambientales es válido aquí, es decir, estas adaptaciones no se heredan, solamente se hereda la capacidad del genotipo para responder, en este caso específico adoptivamente, a los cambios ambientales.

Existen dos tipos de adaptaciones no genéticas: las ontogénicas y las fisiológicas. La primera obedece a una flexibilidad del desarrollo ontogenético del individuo y la segunda, a una flexibilidad fisiológica, ambas se encuentran enmarcada dentro de la norma de reacción del genotipo.

Las adaptaciones ontogénicas se desarrollan cuando un organismo es criado en nuevo ambiente donde sufre cambios graduales, hasta que finalmente se adapta a las nuevas condiciones.

Los ejemplos clásicos de adaptaciones ontogénicas se dan en el aumento del nivel de glóbulos rojos en sangre, cuando pasamos de las zonas bajas a las montañosas; en las callosidades que se desarrollan en las manos cuando se lleva a cabo de forma continuada un trabajo manual rudo y en los innumerables casos de aclimatación que se dan en plantas y animales, cuando se traslada de un clima a otro. Todos estos cambios son evidentemente adaptativos, pero no se heredan; ellos solo son parte de la norma de reacción del genotipo de la especie que los sufre.

Las adaptaciones fisiológicas son cambios rápidos que surgen como ajustes a las condiciones cambiante del ambiente, ya sea cambiándose el fenotipo del carácter, como los cambios de color que sufren muchos lagartos para regular su temperatura o escapar de sus depredadores; ya sea manteniendo constante del fenotipo del carácter, a través de otros cambios fisiológicos como ocurre, por ejemplo, con la sudoración, mediante la cual mantenemos constante nuestra temperatura corporal, aumentando el funcionamiento de las glándulas sudoríparas.

Esta última situación es lo que se conoce como homeostasis fisiológica. Al igual que las adaptaciones ontogénicas, las fisiológicas no se heredan por ser, como ellas, producto de la norma de reacción del genotipo.

ADAPTACIÓN Y EFICACIA BIOLÓGICA

La selección natural aumenta la frecuencia de los genotipos que tienen mayor eficacia biológica. Tales genotipos, por supuesto, incrementarán su frecuencia a través de las generaciones pero además, eficacia biológica y adaptación están correlacionadas, es decir, que por regla general los genotipos con eficacia biológica superior también proporcionan adaptaciones útiles a sus portadores. Si eficacia biológica y adaptación no están correlacionadas, la selección natural no podría ser una explicación adecuada de la adaptación de los organismos.

Una adaptación es algo que resulta útil, que sirve para alguna función, tal como las alas para volar, los ojos para ver y los riñones para regular la composición de la sangre. Por lo tanto eficacia biológica (como una medida de la eficacia reproductiva) no es lo mismo que adaptación. Sin embargo, eficacia biológica y adaptación van juntas en todo proceso evolutivo, ya que de otra manera la vida sobre la tierra se hubiera extinguido hace tiempo. Ello tiene razón de ser, ya que por regla general, los organismos portadores de adaptaciones útiles producen más descendencia (tienen mayor eficacia biológica) que los organismos que no las poseen.

EL AMBIENTE COMO PRODUCTO DEL ORGANISMO

El problema más profundo del concepto de adaptación es la idea de un ambiente dado al que se adapta el organismo. Aunque el mundo físico exista independientemente de los organismos que lo habitan, el ambiente de un organismo y específicamente su nicho ecológico no existe sin el organismo que lo define, es decir es imposible precisar el nicho de un organismo antes de que él exista, ya que es justamente él quien precisa ese nicho. Entonces, ¿Cómo adaptarse a un ambiente que no existe antes de adaptarse al él? Esta es la contradicción de la adaptación.

A fin de resolver esta paradoja es necesario comprender las formas de interrelación del organismo y el ambiente, interrelación que crea el nicho ecológico y que se resume en 4 premisas básicas.

1. Los organismos seleccionan su ambiente. Las superficies superior e inferior de las hojas, por ejemplo, son dos ambientes diferentes, que son seleccionados por diferentes especies de insectos.
2. Los organismos modifican su ambiente. Consumen los recursos, excretan y secretan sustancias y cambian físicamente la estructura del ambiente. Con frecuencia estas transformaciones físico-químico, destruyen las condiciones necesarias para la propia vida del organismo. Por ejemplo, los abetos comunes al crecer producen una sombra tan espesa que los nuevos arbolitos de esta misma especie no pueden sobrevivir. La negación de las condiciones necesarias para su propia vida es tan común entre los organismos como lo inverso.
3. Los organismos transforman la estructura estadística de su ambiente. Con frecuencia las variaciones temporales son amortiguadas por un mecanismo de acumulación, como por ejemplo, la acumulación de alimentos en forma de grasa en los animales o en las raíces tuberosas en las plantas. Pero también puede suceder que las señales débiles del ambiente sean amplificadas en el organismo en el sistema óptico y , sobre todo, el sistema nervioso central son mucho más sensibles que una máquina óptica para distinguir dos formas muy parecidas.
4. Los organismos cambian las formas físicas de las señales ambientales al penetrar dentro del ambiente. El hígado humano detecta las radiaciones de la temperatura ambiental como variaciones químicas y no de temperatura, a causa de los mecanismos fisiológicos de la homeostasis. A la inversa, una hormiga que no puede forrajear a temperatura elevada experimentará el calor en forma de hambre.

Si la evolución no es la adaptación de las especies a ambientes preexistentes, entonces, ¿qué es y como explicar la adecuación entre los organismos y el mundo externo?

Los organismos están siempre construyendo y reconstruyendo sus nichos. En todo momento hay variaciones hereditarias (mutaciones), que son aleatorias y permiten a sus portadores entrar en nuevas relaciones con el mundo externo. Las especies no son exploradoras de

nichos preexistentes, sino constructoras de nuevos nichos, la mayor parte de los cuales son inferiores desde el punto de vista de la supervivencia y la fecundidad. Ocasionalmente el organismo crea un nuevo nicho favorecido por la selección natural, ya que los organismos que se hayan en esta nueva relación con el mundo externo tienen un mayor número de descendientes. Pero puede también ocurrir que a medida que aumenta la frecuencia de tipos nuevos en la población, este nuevo nicho se haga menos ventajoso, por tal efecto, la construcción de un nicho por y para una especie continúa durante la evolución de la población.

Así la evolución del organismo y del ambiente son procesos acoplados. Los cambios de frecuencia genotípica resultan de la presión de selección, que depende del ambiente, pero al mismo tiempo los cambios del medio son resultado de las modificaciones de la población biológica. Ambos procesos, organísmico y ambiental, son al mismo tiempo causa y efecto, en un acoplamiento dinámico de uno con el otro.



POBLACIÓN

Comenzamos el estudio de una formación biológica de gran importancia ecológica, en cuyo estudio se ha desarrollado técnicas y métodos muy diversos debido a que ha sido objeto de interés por parte de muchas generaciones de ecólogos, economistas, pecuarios, médicos, etc.: la población.

Esta formación es una unidad estructural de suma importancia en la biosfera, y en las poblaciones donde las especies se perpetúan y evolucionan.

La palabra población se deriva del vocablo latino “populus” que significa pueblo en el sentido de habitantes de una nación o región determinada.

Sin embargo el concepto se emplea en ecología con un sentido más amplio.

Algunas de las definiciones formales que aparecen en la literatura de algunas disciplinas incluyen lo siguiente:

1. Número total de habitantes de un país, región o área determinada (Demografía)
2. Los organismos colectivamente considerados, y habitan una región o área (Biología)
3. Un grupo de individuos vivientes dispuestos en forma tal que están delimitados y definidos, tanto en espacio como en tiempo (Biología: Pearl, 1937)
4. El conjunto de organismos del cual se toman muestras para llevar a cabo determinadas mediciones (Biometría).

Leyendo estas definiciones, podemos apreciar que están incluidos los siguientes aspectos:

- a) la condición de que los elementos constituyentes de la población son organismos vivos.
- b) La semejanza entre los miembros enumerados
- c) El número finito de individuos que componen la población
- d) La limitación de la población en el espacio y en el tiempo.

En cuanto a su primer aspecto, es importante que se aclare su naturaleza viviente: siempre que hablemos de poblaciones nos estamos refiriendo a organismos vivos. Algunos especialistas utilizan el término en objetos limitados (libros, piezas, viviendas, etc), pero este corresponde a conveniencias para la aplicación de determinadas técnicas estadísticas, que son de suma importancia en el control de estos elementos.

La homogeneidad dimensional de cualquiera de los postulados propuestos es proporcionada por la semejanza entre los miembros enumerados, ya se trate de seres humanos o de otros organismos. Consecuentemente, los organismos constituyentes de una población tienen que ser de la misma especie, aunque algunos autores hablen de poblaciones multiespecífica. Así por ejemplo, no podemos incluir en la misma población a individuos de la especie *Littorina zigzag* junto con ejemplares de las especies *L. Lineada* y *L. lineolata* a pesar de ocupar un área casi común en las costas rocosas de las grandes semejanzas morfológicas que tienen estas especies.

El número de individuos es un aspecto esencial en la definición de población, y una de las primeras preguntas que formularon los estudiosos de la población fue “¿cuántos?”.

Este problema no es solucionable de forma subjetiva: una población tiene tantos individuos como lo que en realidad tenga, aunque, si este número es pequeño, cosa perfectamente posible, no sean confiables algunos parámetros estadísticamente determinados. En otras palabras la población no se define en función de un número preestablecido de individuos componentes, sino en atención a su funcionabilidad objetiva.

La limitación de espacio y tiempo, en cuanto a la población significa que se debe definir en términos de lugar y de tiempo (o intervalo de tiempo). En cuanto al lugar no solo es importante el aspecto dimensional, es decir la limitación del área o del volumen sino también la situación del espacio considerado. Es necesario definir en las investigaciones poblacionales tanto el espacio. (en términos de situación y área o volumen) como el tiempo - fecha o (fecha en que se ha realizado el muestreo).

Con todos estos antecedentes, puede decirse que una **población** es un conjunto de organismo de la misma especie que se encuentra ocupando un espacio determinado en un tiempo o periodo dado. Dentro de la población se establecen relaciones genéticas típicas, tendientes a asegurar su perpetuación en el tiempo.

Por esta razón, no es conveniente delimitar el “espacio determinado” con un criterio subjetivista; al definir una población en la naturaleza se debe tratar de hacerla coincidir con aquel grupo de individuos que realmente constituyen una población: Grupo que tiene un fondo común de genes y en el que se establecen nexos reproductivos entre todos sus componente.

Por ejemplo sería incorrecto establecer como una población el grupo de peces de una especie que vive en el remanso de un río, porque indudablemente, estos mantienen nexos reproductivos con los individuos de la misma especie que encontramos un río arriba y río abajo. Por otra parte siguiendo el hipotético ejemplo de los peces, sería incorrecto definir como una población a todos los peces de la misma especie que viven en los diferentes lagos de una región. En el primer caso no se está tomando toda la población, sino solo una parte de ella. En el segundo caso sería mejor considerar cada lago habitado por una población diferente puesto que las posibilidades de establecer nexos reproductivos entre los grupos de cada lago son casi nulas: cada grupo de cada lago tendría un fondo común de genes, independientemente de los lagos cercanos.

ORIGEN DE LOS GRUPOS POBLACIONALES

Un grupo de individuos de una misma especie debe tener su origen en tres causas fundamentales; estas causas son, a saber:

1. A consecuencia de la reproducción
2. Debido al transporte pasivo
3. Como resultado de la locomoción activa

Al menos una de estas causas está presente en el origen de un grupo; aunque pueden ser más de uno, es una de ellas la que se nos presenta más aparente.

Reproducción: Un grupo puede originarse a partir de la reproducción de un solo individuo (reproducción asexual mayormente, aunque pueden considerarse también las plantas hermafroditas que producen esporas o semillas). La reproducción de una pareja (reproducción sexual) puede formar un grupo. Para la formación de dicho grupo basta que los descendientes permanezcan asociados a un área común a todos ellos.

Esta asociación al área puede ser de dos formas básicas: cuando se mantienen unido entre si a través de su morfología o cuando no ocurre esta unificación física, pero mantiene el grupo.

En el primer caso son típicas las plantas criptógamas y algunas especies de plantas superiores, como es el caso de buen número de gramíneas forrajeras, que extienden estolones bajo la tierra que van enraizando y formando brotes aéreos a medida que van creciendo. Las plantas con rizomas como el plátano, responden perfectamente a este patrón.

También algunos animales tienen la característica de tener formado el cuerpo con nexos morfológicos originados en la reproducción.

Un buen ejemplo de ello constituye las colonias coralinas y otros celenterados cuando forman yemas germinativas. Fig.: 7.1



Fig. 7.1

Los corales son en realidad una colonia de individuos muy pequeños llamados pólipos. Estas colonias se consideran de coral duro, ya que tienen un esqueleto de carbonato de calcio. Sus colores brillantes se deben a la presencia de algas simbióticas, que viven en sus tejidos corporales y producen la mayor parte del alimento que necesita el coral para sobrevivir

En el segundo caso (sin nexos morfológicos) los individuos permanecen juntos, pero la importancia de la reproducción como causa del origen del grupo es menor. Generalmente son individuos de vida libre y por el hecho de moverse su antojo muchos de ellos pueden abandonar el “grupo familiar”, mientras que otros que no son “parientes” pueden incorporarse a la familia. Estos organismos que inicialmente formaron un grupo por causas reproductivas,

lo pueden mantener posteriormente por todo un conjunto de factores entre los que puede encontrarse el inicial. Ejemplo de estos grupos son las manadas, rebaños o bandadas que forman algunos vertebrados superiores. Fig.7.2



Fig.7.2
Rebaños de ovejas

Transporte pasivo: El transporte pasivo realizado por el medio puede determinar agrupaciones de individuos de la misma especie de forma completamente diferente a la anterior. Este fenómeno es posible observarlo tanto en ambiente acuático terrestre.

Los movimientos del agua (corrientes, remolinos, etc) suelen agrupar los organismos acuáticos en determinadas zonas de concentración. Este efecto se fortalece en el plancton a causa de la acción del aire sobre la superficie del agua. De esta forma el fitoplancton superficial de las lagunas de oxidación (conocidas también como lagunas de estabilización) sufre acumulaciones de este tipo, llegándose a precisar una gruesa costra verde con repliegues perpendiculares a la dirección del viento: estas costras son conocidas como mazamorra por nuestro pueblo.

En las grandes presas del país es común observar grandes “balsones” de la conocida malangueta o jacinto de agua en las orillas contrarias al punto de donde viene el viento. Esta especie puede enraizar en lugares de poca profundidad (las orillas), pero sus débiles raíces se rompen con facilidad por la acción del viento. Esto, unido a la característica que tiene la

especie de poder vivir sin relación con el fondo, facilita la existencia del fenómeno explicado. La malangueta constituye una de las plagas más indeseables en los embalses del mundo. El efecto de “pantalla) que hace a la luz incidente provoca una sensible disminución de la fotosíntesis realizada por el fitoplanetón y las plantas subacuáticas. También en los embalses destinados a riegos, provoca notables estancamientos de agua con significativas pérdidas económicas. Fig.7.3



Fig.7.3
Jacinto de agua

En el fitoplancton marino se observa un fenómeno similar al explicado para las lagunas de oxidación, aunque las células que en esta ocasión no llegan a formar una costra. En las plantas superiores pueden apreciarse estos casos cuando el viento o el agua acumula semillas en una región determinada; estas germinarán después y formarán un grupo poblacional.

La formación de grupos por el movimiento del medio se puede apreciar en animales cuando éstos tienen un movimiento débil con respecto al del medio. Tal es el caso de las acumulaciones de mosquitos, guasazas y otros insectos.

De forma general, este mecanismo formado de grupos es manifiesto en relación con aquellas entidades biológicas (organismos, semillas, esporas, etc.) que carecen de una locomoción

activa o la poseen en grado no representativo con respecto a la acción que el medio tiene sobre ellas, en este sentido .

Locomoción activa: En este aspecto es necesario distinguir dos variantes fundamentales:

1) desplazamiento de los organismos hacia un mismo lugar a consecuencia de respuestas orientadas hacia determinados estímulos inanimados del ambiente.

2) por la atracción de los organismos hacia otros de su misma naturaleza (gregarismo).

Esta es una causa de formación de grupos donde predomina, lógicamente, el ejemplo de los animales. Sin embargo, también está presente en algunos organismos vegetales como algas móviles y enjambres de esporas de vegetales acuáticos.

Así pues tenemos dos formas fundamentales en su manifestación: la orientación común y el gregarismo.

Orientación común: Los organismos responden a la atracción que representa determinado estímulo del ambiente. Conocida por todos es la agrupación de algunas especies de insectos alrededor de un foco luminoso. También algunas especies de peces e invertebrados marinos tienden a este agrupamiento.

Esto se ha aprovechado con fines pesqueros, con buenos resultados.

Un lugar húmedo es la causa de agrupación de las cochinillas de humedad (isópodos terrestres)

Un organismo muerto es la causa de formación de grupos de especies desintegradoras y descomponedoras como moscas, escarabajos, aves de rapiña (carroñas), etc.

Es importante destacar que la reacción de los organismos es individual y la formación del grupo es una consecuencia secundaria.

Atracción mutua: La atracción mutua o gregarismo en la formación de grupos es un caso presente tanto en animales inferiores como superiores.

Si se distribuyen isópodos (cochinillas) uniformemente sobre una superficie, estos agruparán formando un cúmulo. Lo mismo hacen las estrellas de mar en un acuario despoblado, pero no reaccionan de esta forma si existen algas dispersas, o simplemente varillas de cristal que las simulen. Estos animales sólo buscan sus necesidades de humedad o de contacto.

En otros casos la atracción se efectúa sobre bases más específicas como los cardúmenes de peces, bandadas de aves y manadas de mamíferos, donde puede no existir 'parentesco alguno entre los individuos.

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LAS POBLACIONES

El estudio del área de distribución de la población considerada puede tomarse como una finalidad en sí misma (extensión de la población). Por ello sucede que el problema es algo más complejo ya que la especie posee un área general compuesta por áreas pormenorizadas. Esta es la causa principal de que la noción de población puede tomarse en un sentido amplio, limitado o intermedio.

Se llama área global a la compuesta (en determinada especie) por áreas cada vez más pequeñas; estas áreas pequeñas son las que denominamos colonias mientras que nombramos clan a aquel sector en cuyo seno los individuos pueden aún estar agrupados de diferentes maneras (Duvigneaud, 1978)

Podemos distinguir tres (3) patrones básicos de distribución espacial de las poblaciones: 1) Al azar, 2) Uniforme y 3) Por grupos. En este último caso pueden considerarse también tres (3) variantes: al azar, uniformes y agregados. Una representación esquemática de estos patrones pueden observarse en la figura 7.4.

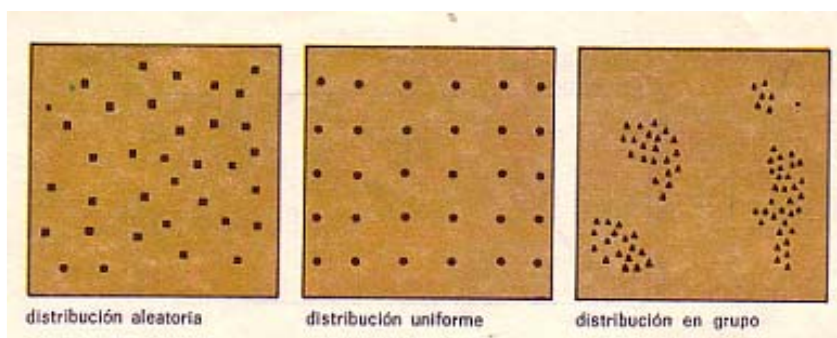


Fig. 7.4.
Esquema de distribución
espacial de las poblaciones

La **distribución aleatoria** es aquella en la cual los individuos se encuentran distribuidos al azar, es decir, no dependen de ley alguna.

Esta distribución se presenta raras veces en la naturaleza y puede observarse donde las condiciones del hábitat son muy uniformes. Casi siempre que la encontramos se trata de una

población en vías de extinción o, por el contrario, que inicia su adaptación. Es típica en poblaciones de animales solitarios como lombrices de tierra, arañas, etc.

En la **distribución uniforme** los individuos se encuentran ordenados en forma regular, y se puede observar cuándo la competencia entre ellos es elevada, lo que conduce a la formación de espacios iguales, como sucede en las plantas de maíz en un campo de cultivo, en las poblaciones sésiles como en las colonias de corales y en los grupos temporalmente sedentarios como las aves marinas que nidifican en los islotes.

La **distribución en grupo** suele ser heterogénea con densidades variables y mayores en unos puntos que en otros, y se presenta en las poblaciones muy móviles, como las de insectos, aves en vuelo o rebaños en marcha. Esta distribución se explica si tenemos en cuenta la tendencia gregaria que manifiestan estos animales.

En cuanto a las plantas, resulta fácil comprender que los elementos reproductores, ya sean esporas o semillas, se desarrollan con frecuencia en las cercanías de los organismos que les dieron origen.

La agregación puede aumentar la competencia entre los individuos por el alimento y el espacio, pero a menudo éstos se agrupan porque ello incrementa la supervivencia del grupo. Los individuos aislados suelen presentar una mortalidad más elevada durante los períodos desfavorables o durante los ataques por parte de otros organismos, que los individuos agrupados.

A veces el grupo modifica el ambiente o las poblaciones tienen mejores condiciones para resistir un factor adverso. Por ejemplo, un grupo de plantas se enfrenta mejor a la acción del viento que un organismo aislado.

El modo como están distribuidos los miembros de una población es de gran importancia para la dinámica poblacional, puesto que la dispersión individual contribuye a estabilizar la curva de crecimiento de una población.

PROPIEDADES DE GRUPO DE LAS POBLACIONES.

La población a fin de cuentas, es un grupo de animales o plantas y como grupo tendrá una serie de atributos propios; solamente observables en este nivel de organización.

Así por ejemplo, un individuo tiene nacimiento y muerte, mientras que la población tiene natalidad y mortalidad. El individuo tiene una edad y un tamaño, mientras que la población tendrá una composición por edades y una composición por tamaño, en un momento determinado. En este sentido son variados los ejemplos que podemos citar para corroborar cuan diferentes son las propiedades del grupo de los del individuo.

Las propiedades de la población más estudiadas y por lo tanto las importantes son: 1) La densidad, 2) La natalidad, 3) La mortalidad, 4) La composición por edades, 5) El potencial biótico, 6) La dispersión y 7) La forma de desarrollo. No se dejan de reconocer la existencia de otras propiedades menos importantes.

DENSIDAD.

La densidad es una magnitud de la población en relación con alguna unidad de espacio (Odum, 1972). Así entonces, se puede expresar como el número de individuos o la biomasa, por unidad de superficie o volumen.

Consideremos, por ejemplo, la actual población de *Pinus caribaea* en un pinar de 20 ha y supongamos que existen 22 000 árboles.

Para determinar la densidad (D) se cuenta el número de individuos (N) y se divide éste por el número de unidades de espacio (E), donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$D = \frac{N}{E}$$

En el ejemplo anterior el cálculo sería:

$$D = \frac{22000}{20} = 11000 \text{ pinos por hectáreas}$$

Las unidades de espacio que se utilizan dependen del propósito requerido y del tipo de organismo; pueden ser unidades de superficie, volumen o capacidad; por ejemplo, 500 caobas por hectárea, 5 000 000 de diatomeas por metro cúbico, 10^8 bacterias por mililitro, etc.

La densidad bruta consiste en considerar la unidad de espacio total en que le es dado vivir a la especie a lo largo del tiempo y en el segundo caso se considera la unidad de espacio de habitáculo (superficie o volumen que la población puede efectivamente colonizar). Esto equivale a decir que la densidad es la que casi siempre tomamos en cuenta, la que existe realmente, porque cuando medimos la densidad tenemos en cuenta el área total que ocupan los individuos en ese momento y no la que ocupa en el momento de su máxima expansión. Por ejemplo, en un charco el volumen de agua es variable en el tiempo; si queremos conocer como se comporta la densidad de larvas de odonatos durante un año, entonces podemos “jamear” y contar las larvas capturadas. Conociendo el diámetro de la boca del jamo y la distancia recorrida por él en su trayectoria en el agua, podemos hacer el cálculo del volumen barrido. Con estos datos podemos dar la densidad en números de larvas por unidad de volumen. Esta sería la densidad ecológica.

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD.

En la práctica se han empleado numerosas técnicas para determinar la densidad. Sin embargo, todas ellas pueden ser enmarcadas en cinco (5) categorías generales. A saber:

1. Cuentas totales o censos
2. Muestreo de cuadrados
3. Captura, mercado y recaptura
4. Muestreo de supresión o depredación selectiva, y
5. Métodos sin parcela.

Los censos son posibles en organismos grandes, conspicuos o agregados en pocas colonias (p.ej. el ave guanera). Es un estimador de la densidad ideal, por cuanto nos dice el total de individuos con que realmente cuenta la población. Cualquier otro método solo llega a darnos

un estimado, perneado de una inferencia matemática, con el consecuente error implícito. Desgraciadamente en la inmensa mayoría de los casos no es posible usar este método.

Los muestreos de cuadrados son los más comunes en la práctica. Consisten en tomar un grupo de muestras en espacios conocidos, en número y tamaño estadísticamente apropiados, contar los individuos en cada cuadrado, determinar la densidad de los otros organismos en cada muestra e inferir el promedio de estos valores para el espacio total que ocupa la población. Las muestras son tomadas al azar. El método es empleado con organismos de especies de poca movilidad (moluscos, pequeños animales de los suelos, infauna bentónica, etc.) o para aquellas especies completamente sésiles (plantas superiores, hongos corales, gongonia, cirripedios, anémonas de mar, etc.)

Los métodos de captura marcado y recaptura son usados ampliamente y son recomendados para especies de gran movilidad, resultan adecuados para poblaciones de amplia distribución como peces y aves. El método consiste en tomar una muestra de individuos de la población, marcar todos los ejemplares de la muestra tomada, devolver los individuos marcados al medio del que han sido tomados y esperar a que estos individuos se homogenicen en el resto de la población. Este tiempo estará en correspondencia con la movilidad de la especie y sus hábitos de vida. Posteriormente se procede a tomar una segunda muestra con condiciones de captura semejante a la primera (arte, esfuerzo, etc) y se realiza el cálculo numérico a partir de la proporción de individuos marcados y capturados en la segunda muestra.

En este cálculo se utiliza la siguiente fórmula (Margalof, 1977)

$$N_p = \frac{N_m \times N_c}{N_n}$$

Donde :

Np - Población total

Nm - Total de ejemplares tomados en la primera muestra

Nc - Total de ejemplares de la segunda muestra

Nn - Total de ejemplares marcados en la segunda muestra

El coeficiente Nm/No es llamado índice de recaptura o de Lincm (1930).

Para ganar en exactitud, generalmente se prefiere poner

$$N_p \frac{N_m(N_c + 1)}{N_c + 1}$$

Este método tiene su principal objeción en la mortalidad, producida a consecuencia del marcaje (en los peces, puede ser drástica) pero en la actualidad se han desarrollado técnicas muy ingeniosas que emplean para marcar pinturas, colorantes celulares, amputaciones, etc, llegándose hasta el uso de marcadores radioactivos (cada vez más empleados), pasando por los marcadores metálicos intramusculares empleados en anchovetas y sardinas, que se recuperan magnéticamente en la industria.

Cuando el marcaje puede asegurar la identificación del individuo en la recaptura, entonces puede aportar valiosos datos de migraciones y crecimiento.

El método no funciona bien cuando la densidad está sometida a cambios rápidos o cuando la población tiene una alta tasa de renovación.

El método de supresión o de depredación selectiva consiste en una toma sucesiva de muestra. Se auxilia de un sistema de ejes de coordenada. En el eje de las "y" se plantea el número de individuos eliminados en un área de muestras sucesivas, denominándose a este valor como captura en el momento. Por otra parte en el eje de las "x" se plantea el número de individuos eliminados hasta la vez anterior, los cuales se conocen como captura acumulada. "Si la probabilidad de captura permanece razonablemente constante, los puntos quedarán en una recta que puede prolongarse hasta el punto cero, lo que indicaría una supresión teórica del 100% del área considerada (Odum, 1972, p.184)

Equivalente a lo anterior (Margalef, 1977) puede tomarse lo siguiente. Si N_p la consideramos población inicial, la primera captura (D_1) guarda N_p la misma proporcionalidad que cada una de las capturas siguientes (D_t) con lo que quedaba en la población antes de efectuarla, que era igual a:

$$N_p - D_{acum} \cdot t$$

Donde $D_{acum} \cdot t = \sum_{i=1}^t D_i$

y de esta forma llegamos a:

$$N_p Dacum \bullet t / \left[1 - \left(\frac{Dt}{D1} \right) \right]$$

El resultado gráfico es una recta decreciente que corta el origen de las coordenadas en el valor del total inicial de la población.

Los métodos sin parcela se aplican en los organismos sésiles (árboles, balanos, esponja, etc), son métodos donde no se llega a la densidad a partir de la distancia entre los individuos. Por ejemplo de una colección de puntos tomados al azar se mide la distancia al individuo más cercano en cada uno de cuatro cuarteles distintos. La densidad por unidad de área se toma a partir del promedio de estas distancias (Odum, 1972 p. 184).

INDICE DE ABUNDANCIA RELATIVA.

En ocasión resulta práctico determinar un índice de abundancia relativa en lugar de la densidad. Estos no son referidos al espacio, sino que están en relación con el tiempo, en última instancia.

Por ejemplo, los entomólogos usan para estimar la abundancia de mosquito un índice que consiste en el conteo del número de estos animales que atacan al hombre durante una hora (mosquitos/hombre/hora). Para insectos fotófilos se suele utilizar el número de insectos que captura una trampa lumínica funcionando en una noche (ejemplares/trampa/noche) y así otros parecidos.

Los ornitólogos acostumbran a usar el número de aves vistas durante una hora (aves/hora), el cual es un índice muy eficiente en el control de las vedas y cuotas de caza. Los biólogos pesqueros utilizan ampliamente la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), considerando como unidad de esfuerzo el lance de un anzuelo, un pelangre, una red, o cualquier otro arte de pesca.

Otro grupo de índice de abundancia relativa agrupa a aquellos que se establecen por convenio, como lo es el índice de recubrimiento (para organismos incrustantes) y otros. El anteriormente mencionado está permeado de cierto subjetivismo, aunque se da una escala de seis valores como se muestra a continuación:

4; individuos abundantes

3; individuos medianamente abundantes

2; individuos poco abundantes

1; individuos muy poco abundantes o raros

0; no existen

EFFECTOS BENEFICIOSOS Y PERJUDICIALES DE LA DENSIDAD

Cuando una población incrementa el número de individuos, cualquiera sea la causa, se originan importantes consecuencias para dicha población y para las poblaciones restantes. Dichos efectos pueden considerarse, en un relativo corto plazo, como desfavorables unos y como beneficiosos otros. A largo plazo estos efectos no pueden ser analizados de igual forma, pues la mayoría de ellos implican una selección natural beneficiosa a la especie.

Efectos perjudiciales: de forma general el efecto perjudicial que produce un aumento del número de individuos, es la competencia. Esta competencia, a su vez, es posible encontrarla de forma directa e indirecta.

En ocasiones se observan poblaciones, como es el caso de los dinoflagelados, que cuando aumentan de tamaño acumulan gran cantidad de metabolitos, que posteriormente frenan el desarrollo de la población en determinadas áreas.

Los casos más comunes de este tipo de competencia se manifiesta por el oxígeno, el alimento, el espacio, la pareja, la luz, etc. en algunas especies esta competencia es indirecta pero en otras puede adquirir un carácter directo que, en ocasiones, deviene en canibalismo.

Los árboles que crecen muy juntos (alta densidad) entran en una gran competencia por la luz, los nutrientes, etc, que incluso se llega a reflejar en el diámetro del tronco. Por tal razón los silvicultores, aprovechan este fenómeno para lograr diferentes objetivos; así; se desean obtener troncos muy largos y rectos, plantan las posturas muy cerca de otras, logrando que los árboles alcancen una gran altura como consecuencia de una constante competencia por la luz. Si por el contrario desean obtener troncos de gran diámetro, el plantel se realiza con una baja densidad (más espaciados los árboles) y de esta forma eliminan o disminuyen considerablemente la competencia por la luz y los efectos ya explicados.

La manifestación más común de estos efectos perjudiciales ocurre en la reproducción: generalmente la natalidad disminuye considerablemente. El mecanismo por el cual la natalidad desciende puede ser variado y deberse a causas fisiológicas que se derivan de una mala nutrición (competencia por el alimento), canibalismo de los padres sobre huevos y juveniles que se hacen abundantes en un lugar donde existe poco alimento del que normalmente comen, etc.

Efectos beneficiosos: en el caso anterior observamos los efectos perjudiciales que acarrea llegar a ciertos valores de la densidad, pero antes de llegar a estos valores la agrupación puede resultar beneficiosa; recalamos que nos referimos a aumentos moderados.

Estos beneficios pueden ser de tres tipos: protección mutua, influencia sobre la reproducción y división de funciones (mal llamada división del trabajo).

- Protección mutua: Puede observarse tanto en animales como en vegetales.

Un grupo denso de árboles conserva mejor humedad, resiste mejor la acción del viento y del agua (erosión), la acumulación de hojas que no “viajan” favorece la formación de humos y mantiene la humedad del suelos.

Un grupo de animales se halla a menudo protegido por sus depredadores por el simple efecto de su número.

- Reproducción: El aumento de la densidad también se refleja favorablemente en la reproducción. Generalmente estos aumentos de densidad moderada se traducen en un aumento de la natalidad, producto de que aumenta las fecundaciones al aumentar el número de cópulas; esto a su vez aumentó como consecuencia del aumento de la probabilidad de encuentro entre individuos de distintos sexos. Un análisis semejante puede realizarse en aquellas especies que lanzan sus gametos al medio acuático, donde se realiza la fecundación: a mayor densidad de la población, mayor número de gametos en el seno de las aguas y mayores probabilidades de fecundación.
- División de funciones: cuando se vive en grupos puede existir una división de las funciones, que debe realizar la población, entre los diferentes individuos que la componen. Este ha sido llamado con regularidad “división del trabajo”, de una forma errónea.

En grupos de animales inferiores con vida colonial, como los celenterados pólipos, se observan una división de funciones en cuanto a nutrición, defensa, reproducción, etc. y en otras como *Physalia* se distinguen las funciones de flotación y locomoción.

Posiblemente la primera función dividida en el grupo sea la de los sexos separados. Se puede distinguir división de funciones 1) sin adaptaciones morfológicas especies, 2) con adaptaciones morfológicas especiales.

Un buen ejemplo del primer caso el reconocimiento de las guías en las manadas y del predominio "social" en algunas aves (Orden de picotazo).

El segundo caso se manifiesta en su máxima expresión en insectos (abejas y termites) así como en los celenterados ya mencionados (dactilozoides, gonozoides, etc)

PRINCIPIO DE ALLE

Como ya podemos instruir, tanto la densidad demasiado alta como la densidad baja podrán constituir factores limitativos al desarrollo normal de una población. En esto consiste el principio de Alle: el grado de agregación, tanto su falta como su exceso, podrá ser limitativo.

Los valores concretos que pueden resultar limitativos son propios para cada especie en determinadas condiciones ambientales.

Este principio tiene dos casos fundamentales: Algunas especies solo muestran limitaciones en sus poblaciones en valores altos de la densidad mientras que otras la muestran tanto para valores altos como para bajos.

Se ha especulado mucho en relación con este principio biológico al pronosticar el tamaño de la población humana máxima que puede sostener la tierra pero el análisis de este problema requiere un enfoque global que incluya a los factores sociales. Esto es, precisamente, el enfoque que falta en la mayoría de estos análisis.

AMBITO DEL HOGAR. TERRITORIALIDAD.

Son muchas las especies que acostumbran a desarrollar su vida dentro de un área determinada. En esa zona encontrarán todo lo necesario para su supervivencia: alimentos, agua, refugio, pareja, etc. A esta zona se le va a llamar ámbito del hogar.

Sin embargo, muchos de ellos durante todo el año o en determinada estación, que corresponde generalmente con la época de cría o de invierno, van a defender esforzadamente una parte de ese ámbito, de aquellos individuos de su misma especie. Este defensor, por regla general es un ejemplar macho. Esta parte defendida del ámbito es el territorio, y la propiedad será la territorialidad.

Las condiciones en que se presentan la territorialidad a dado a pensar que se corresponde con una necesidad de “reservación particular” de un área, donde se pueden encontrar las condiciones mínimas para garantizar la supervivencia de los individuos y/o su progenie durante épocas críticas de la vida de estos animales. Comer y criar son las grandes causas de la territorialidad. Desaparecidas las condiciones adversas, se deja de defender el territorio. Sobre todo, el hecho de que en la mayoría de los casos se observa repulsa a los de la misma especie, nos obligas a pensar en la defensa del nicho ecológico, que es específico.

NATALIDAD.

Es conveniente dejar bien establecido que la reproducción tiene como consecuencia el aumento en número de una población; este número tiende a disminuir a consecuencia de la muerte de los individuos.

La natalidad es uno de los atributos poblacionales que están sujetos a ritmo o velocidad. Esta velocidad se obtiene siempre dividiendo el cambio entre el período de tiempo transcurrido durante el mismo: es la rapidez como que se varía algo en el tiempo. Así, definimos la natalidad con la frecuencia de nacimiento, por lo que es una propiedad de aumento inherente a una población. La natalidad, como frecuencia al fin es dada a expresarse en forma de índice. Es conveniente diferenciar dos tipos de natalidades: natalidad fisiológica o potencial y natalidad real o ecológica.

El primer caso se corresponde a aquella que ocurriría en condiciones ideales, donde no existen factores ecológicos limitativos. Se puede considerar como una constante y se calcula generalmente a partir del análisis de laboratorio (conteo del número de huevos totales en los ovarios, etc). También suele denominarse natalidad máxima o absoluta.

La natalidad ecológica es el aumento por reproducción de la población en condiciones ambientales reales y específicas, en la que afectan factores ecológicos limitativos que pueden ser desde la no fecundación de los huevos, hasta la depredación de estos. Se denominan como natalidad realizada o simplemente natalidad.

A diferencia de la anterior, la natalidad ecológica no es una constante, sino que se presenta como una función de parámetros tan cambiantes como el tamaño de la población, su composición por edades, su espacio disponible, el alimento, el clima, etc.

Para que cumpla una función práctica real, la natalidad se acostumbra a expresar a manera de índice. Estos índices tienen dos formas más generales que son: la velocidad de natalidad absoluta (o natalidad simplemente).

$$B \frac{\Delta N_o}{\Delta t} \quad \text{Donde: } \Delta N_o \text{ es número de individuos producidos y } \Delta t \text{ es período de tiempo}$$

Y el índice de natalidad específico (o natalidad por unidad de población)

$$b \frac{\Delta N_n}{N \Delta t} \quad \text{Donde: } \Delta N_n \text{ es número de individuos producidos, } N: \text{ unidad de población y } \Delta t \text{ es período de tiempo}$$

donde N puede ser la población total o solo la parte reproductiva y N_n es la producción de nuevos individuos en la población.

MORTALIDAD.

Ya habíamos dicho que la muerte de los individuos de la población tiende a disminuirlas en número. Esta disminución por muertos es rítmica, tiene su velocidad. Al igual que la natalidad, la mortalidad es una intensidad: la intensidad con que se suceden las muertes.

También aquí es conveniente diferenciar una mortalidad fisiológica (mínima o teórica) de una mortalidad ecológica real.

La primera es solo teórica y representa la pérdida de individuos en condiciones ideales, donde no existen limitaciones ambientales (factores ecológicos limitativos)) donde, podría decirse así, los individuos mueren solamente de “viejos”. Esta mortalidad puede considerarse una constante propia para cada especie.

La mortalidad ecológica se da en condiciones ambientales reales (donde existen factores limitativos) y en ningún sentido puede considerarse una constante, ya que es función de la depredación, accidentes, alimentos, clima etc.

En algunas gestiones de ecología aplicada se fracciona el estudio de la mortalidad ecológica. Por ejemplo, en pesquerías se diferencian dos partes:

La mortalidad natural, que ocurre por causas naturales y la mortalidad por pesca, que corresponde a los individuos que mata el arte de pesca en cuestión. Quizás fuese de gran interés de muchos casos médicos, diferenciar la mortalidad de un parásito por causas naturales de las que tiene sus causas en un medicamento suministrado a la población hospedera, o en el control de plagas, diferenciar, en la mortalidad natural aquella que se provoca por relaciones con parásitos y depredadores del resto, ya que se abrirían perspectivas de gran interés en relación al control biológico de las plagas.

En ocasiones es más conveniente el índice de supervivencia que el de mortalidad.

M: Índice de mortalidad

1-M: índice de supervivencia

La mortalidad puede expresarse en índice o en tasa. El índice de la mortalidad específica es el por ciento de la población inicial que muere en un período determinado.

Las tasas (o coeficiente como está ahora en boga) no son otra cosa que medidas de la intensidad con que un fenómeno ocurre referidas, de modo relativo, a una cantidad base (100, 1000, 100 000,) o de unidades de observación o experimentación, según la conveniencia. Cabe diferenciar dos tipos usuales de tasas: tasas brutas (suele llamarse ahora “cruda”) y tasa específica.

La tasa bruta se determina referida la total de componentes de la población, mientras que las tasas específicas se hayan en referencia de una parte de esa población con quien se quiere

hacer una distribución, como por ejemplo la tasa de mortalidad infantil, la tasa de mortalidad de mineros, la tasa de mortalidad de atacados del cólera, etc., en las poblaciones humanas.

MOVIMIENTO DENTRO DE LAS POBLACIONES Y ENTRE ELLAS.

El otro fenómeno espacial común a todas las poblaciones es la **movilidad** de sus individuos. Esta movilidad ya sabemos que puede ser activa o pasiva, y cuando se analiza más a fondo, descubrimos que existen muchos tipos de movilidades. Las más estudiadas son la **dispersión y la migración de retorno**.

En la dispersión, también llamada **migración**, los individuos abandonan la población natal, no regresan más y se incorporan a una nueva población o se quedan solitarios toda la vida. Para una población dada, los individuos que la abandonan por dispersión, se dice que sufren **emigración**, y los que ella recibe de otras poblaciones por la misma causa, se dice que sufren **inmigración**. Obsérvese que la condición de emigrado o inmigrado es relativa; si estamos en la población **A** y llega un individuo **X** de la población **B**, para **A** el individuo **X** es un inmigrante, pero para **B** es un emigrante.

¿Qué motiva la dispersión de los individuos de una población?

En primer lugar, la dispersión puede ser causada por los continuos cambios ambientales del clima, del suelo, de la vegetación, etc.; especialmente aquellos cambios producidos inconscientemente por el hombre, han provocado la dispersión espectacular de muchas especies de plantas y animales, sin contar las miles de especies que el hombre conscientemente ha propagado muy lejos de las áreas naturales. En nuestro país aún existen campos extensos de marabú, planta improductiva originaria del África, que fue traída a Cuba con fines ornamentales; también constituye una verdadera plaga la **rata parda**, especie traída inconscientemente al inicio del período colonial, desde la lejana Europa.

Pero el ambiente cambiante y el hombre no son las únicas causas de dispersión; aun en ambientes relativamente homogéneos por mucho tiempo, ocurre dispersión, ya que esta es necesaria para mantener un número constante de individuos en cada generación, una vez

que la población ha llegado a un equilibrio con su ambiente, es decir, que se ha convertido en una población estacionaria. Por esta razón, las plantas dispersan lo más lejos posible sus semillas, y en los animales, muchos individuos tienen una tendencia innata a la dispersión, es decir, su constitución genética determina que, independientemente de las condiciones ambientales, ellos se dispersen.

En casi todas las poblaciones animales, los individuos jóvenes son los que poseen un mayor poder de dispersión. Por ejemplo, cada año en nuestro país, nacen miles de pichones de especies forestales, tales como carpinteros, zorzales, tocororos, pitirres, arrieros y otras. En todos ellos, al inicio, ocurre gran mortalidad, pero una vez que pueden abandonar el nido, muy pocos se quedan en el territorio de sus padres; comienza entonces la llamada dispersión posjuvenil, que llevará al individuo a una nueva población, o a una nueva área aún no poblada por la especie. Esto es válido también para muchas especies de insectos, peces, anfibios, reptiles y mamíferos. (Tabla).

Tasa de dispersión de algunas especies animales.

Espece	Origen	Área de expansión.	Velocidad (Km./ año)
Gorgojo de la papa (Leptinotarsa decemlineata)	América del Norte	Europa	70
Cangrejo Chino (Eriocheir sinensis)	Extremo Oriente	Europa y América del Norte	30 – 300
Estornino (Sturnus vulgaris)	Europa	América del Norte	43
Rata almizclera (Ondatra zibethica)	América del Norte	Europa	10 - 25

Entre los mamíferos, son famosas las dispersiones en masa del roedor **lemming**, de la tundra ártica, las cuales se ha demostrado que ejercen un control regulador sobre el tamaño de las poblaciones de esta especie.

La migración de retorno, especialmente en aves y peces, es un fenómeno tan espectacular, que es virtualmente conocido aun por personas no entendidas en ecología; en este fenómeno se le han dedicado muchos estudios.

La diferencia de este movimiento con respecto a la dispersión, es que siempre está relacionado con un cambio ambiental; prácticamente toda la población realiza la migración, y regresa a los sitios iniciales, una vez que cambian las condiciones ambientales que motivaron tal movimiento en masa.

Además de las aves y los peces, muchas especies de mamíferos, así como de cangrejos y mariposas, realizan estas migraciones de retorno, las cuales no solo están confinadas a los cambios transcontinentales de zonas templadas – cálidas – templadas; sino que también dentro de áreas relativamente más pequeñas, como las sabanas africanas, ocurren migraciones de retorno, como las llevadas a cabo por los grandes perisodáctilos que habitan en la misma; y en nuestro país, el pitirre abejero, por ejemplo, realiza migraciones de retorno hacia Suramérica en los meses más calurosos del año.

El fenómeno de la migración de retorno plantea un sinnúmero de problemas al investigador, pero son dos los que principalmente han interesado al ecólogo: ***¿qué causas motivan las migraciones? ¿Cómo se orientan los animales para encontrar los mismos sitios de dónde partieron?***

Hoy sabemos mucho más sobre estas cuestiones que hace escasamente unos 5 años, y esto se debe a ingeniosos experimentos de confinamiento por los que se logró descubrir muchos de los misterios de la migración de retorno.

Ya sabemos que la migración se “dispara” por un “reloj biológico interno” del organismo, que parece como si avisara: “se acercan condiciones adversas, debes marchar al Sur, donde son mejores”. Es decir el “reloj” está de tal manera diseñado, que capta determinadas señales que sirven de aviso anticipado de las condiciones que se avecinan. En las aves esta señal es el acortamiento de las horas de luz, señal anticipada del invierno que se aproxima.

De igual manera, existencia de un “reloj biológico interno” del organismo explica el mecanismo por el cual se guían los animales en sus migraciones de retorno. Existe una variada gama de combinaciones de puntos de referencia, tales como el Sol, las estrellas, la topografía, etc., que permiten a los animales, a través de su “reloj biológico interno”, encontrar el camino a “casa”.

POTENCIAL BIÓTICO. RESISTENCIA AMBIENTAL.

Si una población se encuentra en ambiente favorable se desarrollará a un ritmo tanto más acelerado cuanto más favorable sean las condiciones, hasta lograr un límite. Esta característica inherente de una población para aumentar en número, bajo condiciones ideales del ambiente, se denomina **potencial biótico** y es diferente para cada especie; es decir, bajo tales condiciones, algunos tipos de organismos producen mucho más descendientes que otros, puesto que esta potencialidad está relacionada con el desarrollo biológico que caracteriza a cada especie. Por ejemplo, la mosca doméstica tiene un potencial alto, se reproduce rápidamente bajo condiciones favorables y puede producir 120 huevos por puesta. Si todas viviesen y se reprodujeran durante cuatro generaciones habría más de 25 000 000 de moscas.

Por otra parte, las poblaciones de grullas tienen un potencial biótico bajo; producen solamente uno o dos descendientes por pareja cada dos años.

El conjunto de los factores físicos y biológicos que impiden la reproducción de una especie al máximo recibe el nombre de **resistencia ambiental**. Por ejemplo, limitación de alimentos, competencia con otros organismos, prelación o efectos del clima, etc.

La resistencia ambiental se puede medir como la diferencia entre la velocidad (teórica) de crecimiento de una población bajo condiciones ideales de la velocidad de crecimiento observada en la naturaleza. Por ejemplo, bajo condiciones óptimas un par de *Drosophila melanogaster* puede dar 3 368. 10⁵² descendientes en un año. Según cálculos de Darwin una pareja de elefantes tendría 19 000 000 de descendientes vivos al cabo de 750 años. El hecho de que ni las moscas de las frutas ni los elefantes se incrementen a este ritmo, es el resultado de la resistencia ambiental.

Si una población de organismos se introduce en un territorio nuevo en donde las condiciones del ambiente son favorables, la población crece rápidamente. Esto no implica aumento en la velocidad de reproducción de un par de individuos, sino la supervivencia de un número mayor de descendientes (baja mortalidad). Así ocurrió al introducir el conejo en Australia y la mangosta en Cuba.

A medida que el número de individuos aumenta la resistencia ambiental empieza a aumentar proporcionalmente. La competencia por el alimento entre los miembros de la misma población, el descenso en la cantidad de alimentos por organismos, la prelación, el parasitismo, etc., son factores del ambiente que reducen el número de descendientes que sobreviven.

La figura 7.5 muestra las posibles curvas de crecimiento de la población. La curva de trazo continuo muestra el crecimiento real de la población, tal como se observa en la naturaleza, y la línea interrumpida indica la forma que seguiría la curva si no existiera la resistencia ambiental.

Los mecanismos reguladores del equilibrio dinámico son los que mantienen la constancia relativa de las poblaciones, por medio de la acción de dos fuerzas antagónicas: el potencial biótico, que tiende a aumentar la masa de una población, y la resistencia ambiental, que opera en el sentido de disminuir la población. Sin estas dos fuerzas opuestas no existiría población. Ellas constituyen el motor propulsor de su desarrollo.

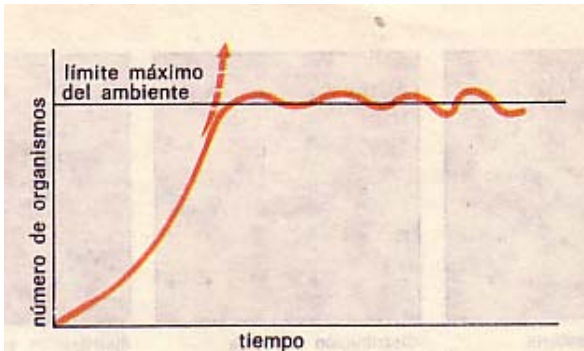


Fig. 7.5

Gráfica de crecimiento de la población. El tamaño de la población (trazo continuo) fluctúa, primero por encima del valor límite y, después por debajo de éste. Cuando la línea sobrepasa el límite máximo, la velocidad de muerte aumenta y la población disminuye, pero cuando queda por debajo del valor límite, la población comienza a aumentar.

RELACIONES DENTRO DE LA POBLACIÓN.

Cuando los individuos de una especie se agrupan para formar una población, lógicamente ha de esperarse que se presenten determinados tipos de interacción entre ellos, de tal forma que se logre una armonía entre todos los componentes, y cada individuo pueda llevar a cabo normalmente su desarrollo y reproducción.

En primer lugar, debido a que los individuos de una población pertenecen a una misma especie, entre ellos será más aguda la lucha por la obtención de los recursos del ambiente, ya que necesitarán los mismos, y se producirá una competencia entre dichos individuos, que es una de las formas más comunes de relación dentro de las poblaciones. ¿Cómo enfrentan los individuos esta competencia dentro de su misma especie? Precisamente al dar solución a este problema, es que los organismos han conformado determinados patrones de relaciones, entre los cuales están: la inhibición bioquímica, la territorialidad y la dominancia social.

Inhibición bioquímica. En este caso los individuos segregan a los medios determinados productos, casi siempre metabolitos secundarios, que inhiben el crecimiento de los individuos cercanos.

Este tipo de relación es muy común entre organismos sésiles, donde la competencia por el espacio es vital, tal como ocurre en las plantas y en muchos hongos; también es común entre los microorganismos, y en forma poco móviles, tales como los gorgojos de la harina, que al estar en grandes cantidades, llegan a hacer impropio para la reproducción el medio donde viven.

Territorialidad. Este tipo de relación entre los miembros de una especie es muy común en no cordados superiores (artrópodos y moluscos) y en vertebrados. En este caso, dentro del área de distribución de la población, un individuo, una pareja, una familia o determinados grupos, delimitan un área denominada territorio que defienden activamente de otros miembros de su propia especie. Las señales que delimitan este territorio pueden ser visuales, olfativas y acústicas. Entre las visuales se encuentra la del animal parado en el centro del territorio; entre las olfativas, las marcas olorosas y las excretas, y entre las acústicas, los cantos y rugidos.

La defensa puede ser desde posturas de amenaza hasta cruentas luchas, y el área del territorio variará en dependencia del ambiente y del tamaño del animal.

La ventaja de la territorialidad para disminuir los efectos de la competencia, es evidente, ya que cada animal posee una propiedad asegurada, donde puede utilizar adecuadamente los recursos existentes, para el crecimiento y la reproducción; y como cada individuo “reconoce” perfectamente al dueño o a los dueños del territorio, casi nunca se dan encuentros de luchas entre propietarios.

Dominancia social. Se pensará que, de todos modos, la territorialidad no resuelve satisfactoriamente los efectos adversos de la competencia en el caso de grandes grupos de animales sociales, que defienden en conjunto un territorio común, o que no defienden ningún territorio. Esto realmente es cierto, y ha dado lugar a que los animales desarrollen otro mecanismo, el de la dominancia social, que permite la convivencia ordenada de los miembros de dichos grupos, reduciendo a un mínimo los efectos de la competencia.

En la dominancia social se establece el “orden de picoteo”, llamado así por haber sido estudiado por primera vez en las gallinas. Consiste en que uno o varios individuos determinados dentro del grupo, dominan al resto, lo que se manifiesta en el sentido de que asumen el liderazgo, tienen prioridad en el acceso a los recursos de alimento o de descanso, entre otros, pueden atacar a otros miembros del grupo sin ser ellos atacados, y generalmente guían en sus correrías a la manada y la defienden de los predadores.

A su vez, por debajo de estos individuos existen otros de menor categoría que tienen prioridades con respecto a otros de categoría inferior, y así, sucesivamente, hasta el último miembro de la cadena, que recibe las agresiones de todos los que están por encima de él, y que no tiene ningún subordinado.

La jerarquía social, al igual que la delimitación del territorio, se manifiesta por determinadas señales y privilegios, tales como posturas características, picoteos, mordidas, empujones y acceso exclusivo a las hembras, si se tratara de un individuo dominante macho. La posición dentro de esta jerarquía social se delimita por luchas ficticias o reales, y puede cambiar continuamente, de tal forma que una situación inesperada puede hacer líder a un miembro del grupo que hasta ese momento era el individuo inferior.

Con la existencia de la dominancia social, cada individuo conoce la posición que tiene dentro del grupo, se reducen las luchas a un mínimo y se logra una división del trabajo, todo lo cuál reduce los efectos adversos de la competencia dentro de la especie.

GENÉTICA POBLACIONAL

La genética poblacional es una rama de la genética que estudia el comportamiento de los genes en las poblaciones. Hace énfasis fundamentalmente en los procesos genéticos *que mantiene la variación genética* y en aquellos que promueven su *cambio* de generación en generación. Las poblaciones estudiadas pueden ser de laboratorio, plantas cultivadas, animales domésticos, naturales o humanos.

Para predecir el destino de los genes se debe tener conocimientos acerca de las poblaciones tanto como de los organismos, ya que el destino de muchos genes se decide en las poblaciones. Así, la capacidad reproductiva de individuos portadores de un gen específico puede depender de la frecuencia de dicho gen en la población, del resto de los genotipos y de muchos otros factores genéticos y ambientales.

Si no se dice otra cosa los individuos que forman estas poblaciones son *diploides*, y sin ellas se cumplen los principios de Mendel, son mendelianas con cruce al azar.

La variación fenotípica dentro de una población es la accesible al estudio del genetista poblacional. Esta puede ser cualitativa o cuantitativa, pero casi todos los modelos teóricos

de la genética poblacional y los estudios de campo más detallados, se basan en la variación cualitativa, cuya herencia casi siempre es controlada por unos pocos loci con dos o pocos alelos.

La constitución genética de la población y el ambiente donde esta se desarrolla, son los factores que condicionan la variación fenotípica observada en la misma. Por constitución genética se entiende el arreglo de los genes en los gametos y los genotipos en los individuos que forman el genofondo, acervo de genes o patrimonio génico de la población. Los vehículos efectivos de ese patrimonio génico son dichos gametos; a partir de los cuales se derivan muestras al azar para formar los cigotos de la siguiente generación. Esta tendrá una constitución genética determinada, dada por ejemplo, por ciertos tipos alelos y genotipos en altas y bajas frecuencias, y que en cierta medida se han heredado de la generación anterior, vía el acervo de genes.

La constitución genética de la población cambia con la evolución. La microevolución o cambio evolutivo elemental, puede definirse a nivel genético, como el cambio en el acervo de genes (frecuencia de los genes) de las poblaciones. Pero el número de loci y su posición en los cromosomas no permanece necesariamente constante en la evolución, por lo que la evolución en total, no consiste sólo de cambios en las frecuencias de los genes, sino también en la cantidad y la organización del material genético. Estos cambios se involucran con procesos evolutivos más complejos, denominados especiación (origen de nuevas especies) y macroevolución (origen de nuevas generaciones biológicas).

Para conocer la constitución y cambios genéticos de una población, es necesario determinar las frecuencias genotípicas y las génicas de los genotipos y los alelos que integran su acervo de genes. Los cálculos de dichas frecuencias se hacen utilizando básicamente polimorfismos genéticos.

FRECUENCIAS GENOTÍPICAS Y GÉNICAS.

La frecuencia genotípica se refiere a la cantidad de un genotipo determinado, en relación con el número total de genotipos de la población; es pues, una proporción y una probabilidad. También se denomina frecuencia cigótica. Cuando existe codominancia es equivalente a

frecuencia fenotípica, es decir, a la proporción de cada fenotipo en la población. Las frecuencias genotípicas se generan de los genotipos portados por cada individuo de la población, pero estos genotipos no son estables, sino que se reorganizan en cada generación.

La frecuencia génica o alélica se refiere a la cantidad de un alelo determinado, en relación con el número total de alelos de la población; es también una proporción y una probabilidad. Las frecuencias génicas se derivan de los alelos portados por los gametos que se transmiten de una a otra generación; por ello, los alelos individuales tienen una continuidad a través de las generaciones, a diferencia de los genotipos individuales que se reorganizan en cada generación.

El cálculo de las frecuencias genotípicas y génicas es como sigue:

La situación más simple se da para un locus autonómico con dos alelos codominantes. Tomemos por ejemplo, una muestra de población humana de 104 individuos, a los que se les determinaron los antígenos M y N, controlados por los alelos L^M y L^N . Aquí el fenotipo coincide con el genotipo, y se tiene:

Fenotipos = Genotipos

	MM	MN	NN	Total(N)
Cantidades	61	36	7	104
De forma general	d	h	r	-
Frecuencias genotípicas	$61/104=0,59$	$36/104=0,34$	$7/104=0,07$	1,00

De forma general $\frac{d}{N} = D$ $\frac{h}{N} = H$ $\frac{r}{N} = R$

Estas frecuencias son también probabilidades, es decir, la probabilidad de ocurrencia del genotipo MM en esta posibilidad es de un 59%.

Las frecuencias génicas se determinan por dos métodos:

Conteo directo de genotipos.

$$\text{Frecuencia p de M} = \frac{61.2 + 36}{2.104} = 0,76$$

$$\text{Frecuencia de q de N} = \frac{7.2 + 36}{2.104} = 0,24$$

Error estándar

$$S_p = \sqrt{\frac{pq}{2N}} = S_q$$

Estas frecuencias son también posibilidades de ocurrencia de los alelos en la población.

Observe que $p+q=1$ \therefore $p=1-q$ y $q=1-p$

Por las frecuencias genotípicas

$$P_M = \frac{2d + h}{2N} = \frac{2d}{2N} + \frac{h}{2N} = D + \frac{1}{2} H$$

$$q_N = \frac{2r + h}{2N} = \frac{2r}{2N} + \frac{h}{2N} = R + \frac{1}{2} H$$

Las frecuencias génicas no dependen de la denominación o recesividad de los alelos involucrados o lo que es lo mismo no hay ninguna relación entre los procesos fisiológicos de los genes que determinan su dominancia o recesividad, y la ocurrencia de los mismos en las poblaciones. Anomalías dominantes tales como retinoblastoma (cáncer de la retina) y acondroplasia, son sin embargo, extremadamente raras en las poblaciones humanas.

Una población queda así caracterizada por sus frecuencias genotípicas y génicas, que le dan una estructura determinada. Dichas frecuencias pueden ser comparadas dentro de una población en diferentes generaciones o lugar, o entre poblaciones para una misma generación y lugar. Estas comparaciones origina cuestiones tales como: ¿A que se deben las diferencias? ¿Es ventajoso para una población tener frecuencias alélicas diferentes a otra población?

Por ejemplo, en un estudio electroforético se detectaron tres genotipos de la albúmina en una población lagarto verde (*Anolis porcatius*), en dos hábitats diferentes. Se quiso averiguar si los mismos difieren entre hábitats. A continuación se presentan los datos agrupados en la tabla de contingencia:

Hábitats	Genotipos			Total
	AA	AB	BB	
Bosque O	41	77	32	150
E	(55,5)	(74,0)	(20,5)	
Ciénaga O	70	71	9	150
E	(55,5)	(74,0)	(20,5)	

Donde:

O – Cantidades observadas;

E – Cantidades esperadas, si no existiera asociación genotipo – hábitat.

Se aplica $\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} = 20,72 \text{ p } 0,001 \text{ g.1} = 2$

Las diferencias entre hábitats son estadísticamente significativas, lo que se debe al exceso de animales con genotipo AA en el hábitat de ciénaga, en comparación con el del bosque, ocurriendo lo contrario para el genotipo BB.

El algún caso puede darse la situación de que dos o más poblaciones tengan iguales frecuencias génicas, pero diferentes frecuencias genotípicas. Por ejemplo para dos poblaciones I y II:

Población	I			II		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Genotipos Frecuencias Genotípicas	0,36	0,48	0,16	0,25	0,70	0,05
Frecuencias Génicas	A= 0,60 B= 0,40			A= 0,60 B= 0,40		

EQUILIBRIO GENÉTICO Y PRINCIPIO DE HARDY - WEINBERG

En 1908 , Hardy en Inglaterra y Weingberg, en Alemania, postularon que bajo ciertas condiciones, las frecuencias génicas y genotípicas en una población se mantienen constantes de generación en generación Los genes y los genotipos bajo esa condición como los caracteres que ellos determinan, se dice que están en equilibrio genético.

Para demostrar el principio de Hardy – Weinberg tomemos de nuevo la situación más simple, un locus con los dos alelos, A y a. Partamos de una posición inicial cuyas frecuencias genotípicas son: AA= 0,40, Aa = 0,40 y aa = 0,20. Las frecuencias génicas serán, por tanto, $P_A = 0,40 + \frac{1}{2} 0,40 = 0,60$ y $1-P_A=0,40$. Para que ocurra equilibrio genético deben darse las condiciones siguientes:

- 1- El apareamiento es al azar, o panmíctico.
- 2- El tamaño de la población es infinitamente grande.
- 3- La población no está estratificada, o sea, formada por subgrupos.
- 4- El carácter dado por estos alelos no afectan la viabilidad ni la fertilidad (no existe selección natural).
- 5- Existe igual frecuencia génica para ambos sexos.
- 6- No ocurren mutaciones ni migraciones.
- 7- La herencia del carácter es mendeliana simple.

Si todas estas condiciones están operando al aparearse al azar los diferentes genotipos se tiene:

	AA	Aa	aa
♂			
♀	0,4	0,4	0,2
AA 0,4	0,16	0,16	0,08
Aa 0,4	0,16	0,16	0,08
Aa 0,2	0,08	0,08	0,04

Progenitores Apareamiento	Frecuencia	AA	Descendientes	
			Aa	aa
AA x AA	0,16	0,16	-	-
AA x Aa	0,32	0,16	0,16	-
AA x aa	0,16	-	0,16	-
Aa x aa	0,16	-	0,08	0,08
Aa x Aa	0,16	0,04	0,08	0,04
aa x aa	0,04	-	-	0,04
		0,36	0,48	0,16

Frecuencias génicas en los descendientes:

$$P_a = 0,36 + \frac{1}{2} 0,48 = 0,60$$

$$q_a = 0,16 + \frac{1}{2} 0,48 = 0,40$$

Las que son iguales a la de los progenitores.

Estas frecuencias génicas darán lugar a las genotípicas de la siguiente generación, que serán iguales a $AA = 0,36$; $Aa = 0,48$ y $aa = 0,16$; con frecuencias génicas de nuevo iguales a 0,60 y 0,40. Se aprecia que, después de una sola generación en el apareamiento al azar se alcanza el equilibrio genético.

De forma general, sean p y q las frecuencias génicas en la generación parental; como la unión de individuos al azar, es equivalente a la unión de gametos al azar, se tiene:

	♂	A	a
♀		P	q
A		AA	Aa
P		p^2	pq
a		aA	aa
q		qp	q^2

Entonces:

$$P^2 + 2pq + q^2 = (p + q)^2$$

Y

$$P^2 = D. 2pq = H.q^2 = R$$

Donde:

D,H y R – frecuencias genotípicas de AA , Aa y aa respectivamente.

Por las anteriores ecuaciones tenemos que las frecuencias genotípicas de los descendientes se obtienen por el desarrollo del binomio $(p + q)^2$ y son una función de la frecuencias génicas d la generación parental y no de las genotípicas.

Las frecuencias génicas en estos descendientes serán

$$p^1 = D + \frac{1}{2} H = p^2 + \frac{1}{2} \cdot 2pq \quad p^1 = p^2 + pq$$

$$p^1 = p^2 + p(1 - p) = p^2 + p - p^2 = p$$

o sea, es igual a la frecuencia de la generación parental; y lo mismo sucede con q. Así las frecuencias génicas de una generación dada, depende de la generación anterior. Utilizando las frecuencias genotípicas parentales se puede llegar a la misma conclusión.

♂	AA	Aa	aa
♀	p^2	$2pq$	q^2
AA p^2	p^2	$2p^3q$	p^2q^2
Aa $2pq$	$2p^3q$	$4p^2q^2$	$2pq^3$
aa q^2	p^2q^2	$2pq^3$	q^4

**Progenitores
Apareamiento**

Frecuencia

AA

**Descendientes
Aa aa**

AA x AA

p^4

p^4

-

-

Aa x AA	$4 p^3 q$	$2 p^3 q$	$2 p^3 q$	-
aa x AA	$2 p^2 q^2$	-	$2 p^2 q^2$	-
Aa x Aa	$4 p^2 q^2$	$p^2 q^2$	$2 p^2 q^2$	$p^2 q^2$
aa x Aa	$4 pq^3$	-	$2 pq^3$	$2 pq^3$
aa x aa	q^4	-	-	q^2
		p^2	$2 pq$	q^2

la misma de la generación parental.

	Genotipos					
	MM	MN	N	Total	p	q
Cantidades Observadas.	61	36	7	104	0,76	0,24
Cantidades esperadas por equilibrio genético.	60	38	6	104	-	-

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} = 0,29 ; p > 0,05,$$

por lo cual se concluye que existe equilibrio genético.

El problema se limita al cálculo de las cantidades esperadas se la población estuviera en equilibrio genético, las que se obtienen a partir de las frecuencias génicas, asumiendo que estas son las mismas en los progenitores de la población que se estudia.

En nuestro ejemplo concreto se tiene:

$$\text{Genotipo esperado MM} = p^2 \cdot N = (0,76)^2 \cdot 104 = 60$$

$$\text{Genotipo esperado MN} = 2 pq \cdot N = 2 \cdot 0,76 \cdot 0,24 \cdot 104 = 38$$

$$\text{Genotipo esperado NM} = q^2 \cdot N = (0,24)^2 \cdot 104 = 6$$

Estas cantidades esperadas se comparan con las observadas, mediante una prueba Ji – Cuadrado.

Este método es válido para N grandes o q altas: no es válido si $q^2 \cdot N < 1$.

Si no existe equilibrio genético, es que no se cumple algunas de las condiciones antes mencionadas, pero la prueba para el equilibrio genético no nos dice cual en específico. Incluso en algunos casos pueden estar actuando algunas de las condiciones antes señaladas (como selección natural por ejemplo) pero la prueba de Ji- Cuadrado no detecta esta situación. Por lo tanto, en la actualidad se han diseñado métodos matemáticos más complejos y sensibles para determinar el equilibrio genético.

Cuando se detecta desequilibrio genético, este puede deberse a un déficit a un exceso de individuos heterocigóticos. En el primer caso, ello puede ser consecuencia de una baja viabilidad y/ o fertilidad de ese genotipo (selección natural) o a la que la población muestreada contiene dos o más subpoblaciones parcialmente aisladas. Por su parte, una diferencia en frecuencia génicas entre los sexos, el apareamiento no panmítico entre los fenotipos o genotipos diferentes, o la superioridad en viabilidad y / o fertilidad de los heterocigotos, producen un exceso de individuos heterocigotos.

RUPTURA DEL EQUILIBRIO GENÉTICO.

Cuando se da el equilibrio genético en las poblaciones para un determinado carácter, se asumen que no ocurren fenómenos tales como mutaciones, migraciones, y selección natural, que el tamaño de la población es infinitamente grande y que los apareamientos son al azar. En poblaciones naturales difícilmente se den estas condiciones. ¿Cómo, sin embargo, las poblaciones se encuentran en equilibrio genético? Esto se debe fundamentalmente, no a la ausencia de dichos fenómenos, sino que estos se encuentran contrarrestados en sus efectos, dentro de ellos mismos entre sí, de tal modo que las magnitudes se igualan, y el resultado es una constancia en las frecuencias génicas y genotípicas. Estos fenómenos son conocidos como fuerzas perturbadoras del equilibrio genético, y que al producir cambios en las poblaciones, también se denominan fuerzas evolutivas. Como fuerzas evolutivas se citan entonces la mutación, la migración, la selección natural y la deriva genética.

Esta última manifiesta sus efectos cuando el tamaño de la población es pequeño. Los apareamientos no al azar pueden romper también el equilibrio genético, pero alteran sólo las frecuencias genotípicas.

Un análisis de las condiciones bajo las cuales se da el equilibrio genético, permitirá conocer en que circunstancias este se rompe.

APAREAMIENTO ENTRE INDIVIDUOS EN LA POBLACIÓN.

El apareamiento al azar se da para un carácter, cuando tanto los machos como las hembras no tienen en cuenta dicho carácter a la hora de aparearse. Por ejemplo, en una población de aves de colores negro y castaño, los machos negros se aparean igualmente con hembras negras que con las que tienen color castaño y lo mismo ocurre con los machos castaños. Tal tipo de apareamiento se dice que es panmítico y si para la gran mayoría de los caracteres la población posee este tipo de apareamiento, constituye una unidad poblacional panmítica.

De lo anterior se deduce que cualquier tipo de apareamiento que no sea el azar dentro de la población, rompe el equilibrio genético de ella. Los apareamientos más comunes en las poblaciones que no ocurren al azar son:

- 1- Los consanguíneos, que resultan de la autofecundación y del apareamiento de individuos emparentados (hermanos x hermanos, padres x hijos, primos x primos).
- 2- El apareamiento selectivo asociativo, cuando existe la preferencia entre los individuos de aparearse con fenotipos iguales, como sería el caso del ejemplo donde las aves negra se cruzan sólo con aves negras y las de color castaño con los de ese mismo color.
- 3- El apareamiento selectivo disociativo, contrario al anterior, donde los individuos prefieren a las parejas de fenotipo opuesto para el cruzamiento.

Los dos primeros tipos de apareamientos tienden a incrementar la homocigosis de la población, y el último a incrementar la heterocigosis. Estos efectos, sin embargo, sólo alteran las proporciones genotípicas de la población, pero no las génicas.

TAMAÑO DE LA POBLACIÓN.

Estrictamente hablando, el equilibrio genético sólo se da en poblaciones infinitamente grandes, pero cualquier población, por muy grande que sea, siempre es de tamaño finito. Esto simplemente implica que el equilibrio genético nada más ocurre en poblaciones muy grandes.

En poblaciones pequeñas, se rompe el equilibrio genético porque los gametos que pasan a la siguiente generación son muy pocos y quedan bajo la influencia de las fuerzas evolutivas fortuitas que se verán más adelante.

Cuando se habla del tamaño de la población, puede ser que esto se refiera a la cantidad total de individuos que la forman o al tamaño efectivo de la población. Esto surge debido a que el número total de individuos de una población nunca es idéntico al número de individuos sexualmente estériles o viejos que no hacen tal contribución. Por lo tanto el tamaño efectivo de una población (N_e) es la cantidad de individuos que realmente pueden contribuir a sus genes a formar la próxima generación.

Las poblaciones de casi todas las especies varían numéricamente de generación en generación, a menudo dentro de límites muy amplios. Tales variaciones están relacionadas con los cambios cíclicos de las estaciones, el clima y las fluctuaciones en la abundancia de depredadores, y parásitos. El valor de N_e en estos casos estará muchos más cerca del número de individuos que hay en el momento de la concentración máxima de la población.

La relación entre N_e , el tamaño de la población es bastante compleja, pues depende de la ecología de la especie, de su tipo de reproducción y del grado de dispersión y migración de los individuos. A pesar de ello se han hechos algunos intentos por calcular N_e , y casi siempre se ha encontrado que dicho valor queda muy por debajo del tamaño total de la población.

EFFECTOS DE LAS FUERZAS EVOLUTIVAS.

Una población está en equilibrio genético, cuando las fuerzas evolutivas se encuentran equilibradas y también suelen decirse cuando están ausentes, pero este último es solo una idealización, pues las fuerzas evolutivas actúan siempre, aunque no siempre provoquen la ruptura, del equilibrio genético de la población.

Las fuerzas evolutivas pueden dividirse en dos grupos fundamentales:

Fuerzas deterministas: Siguen una determinada dirección, por lo cual se puede predecir la frecuencia de los genes en cualquier generación, siempre y cuando se conozcan las presiones que dan origen al cambio.

Fuerzas fortuitas: estocásticas o aleatorias no siguen una determinada dirección, por lo que la frecuencia de los genes en cada generación es indeterminada y únicamente se pueden prever las fluctuaciones de dicha frecuencia.

Las causas deterministas del cambio de frecuencia de los genes son: la mutación, la migración y la selección natural. Las dos primeras provocan el surgimiento de la variación genética y la tercera es una fuerza determinista que produce el ordenamiento de dicha variación.

Las *mutaciones* son alteraciones en el material genético y, por consiguiente, heredables producen cambios en las frecuencias de los genes al hacer que el gen C, por ejemplo, cambien por mutación y dé lugar al gen c, disminuyendo, por lo tanto, la frecuencia del primero y aumentando la del segundo. Al actuar como fuerza evolutiva, las mutaciones provocan el surgimiento de nuevas variaciones de origen genético en la población.

En una población pueden seguir nuevas variaciones no sólo por mutación, de modo que los genes previamente que han sufrido una mutación, pueden recombinarse de diferentes formas y hacer con ellos que surjan muchos genotipos; esta *recombinación genética* es una fuente adicional y de variación genética.

Los efectos de las migraciones o *flujo genético* entre poblaciones (intercambio de individuos y gametos) son similares a los de las mutaciones. A una población homocigótica CC pueden arribar por inmigración individuos homocigóticos cc; esto es similar a la mutación de C a c, pues las frecuencias génicas cambiarán (se romperá el equilibrio genético) y la

migración habrá actuado como una fuerza evolutiva generadora de la nueva variación genética traída por los individuos cc.

La variación introducida en la población por la mutación y el flujo genético es ordenada de tal forma, que aquellos individuos son variaciones controladas por genotipos que adecuan a la población al ambiente local, son los que sobreviven y dejan más descendientes, mientras que aquellos están en desarmonía con el ambiente, dejan mucho menos descendientes o ninguno. A este proceso es al que denominamos *selección natural*. De esta forma, aumentan las frecuencias de los genes que controlan las variaciones beneficiosas y disminuyen las que controlan las variaciones perjudiciales, rompiéndose así el equilibrio genético.

Las causas fortuitas de cambio de frecuencia génica son las fluctuaciones al azar de las tasas de mutación y migración, de las intensidades de selección y de las frecuencias de los genes al pasar los gametos de una generación a otra. Este último efecto es el mejor estudiado y recibe el nombre de deriva genética al azar o simplemente *deriva genética*.



COMUNIDAD BIOTICA

Concepto de comunidad biótica.

Para definir la comunidad biótica (o comunidad a secas, como se dice en la práctica cotidiana) nos servirá de base el concepto que ya tenemos de población. Decíamos que una población no vive sin relacionarse con su entorno. En dicho entorno se encuentran los factores físicos y otras poblaciones. Si en un lugar tomamos una población, y averiguando con cuáles otras poblaciones ella se relaciona, vamos sumando nuevas poblaciones a la lista, y continuando la investigación de relaciones, lo hacemos con las nuevas poblaciones que encontramos, tendremos al final una colección de poblaciones interrelacionadas que ocupan un espacio que será el totalizado por superposición de los espacios de distribución de las poblaciones individuales. Esta colección de poblaciones interrelacionadas es una comunidad biótica. En otras palabras: una comunidad biótica es el total de poblaciones que ocupa un lugar determinado, en el cual se establecen nexos entre las poblaciones que concurren. Al menos esto es así en teoría.

Cabe hacerle algunas observaciones a la definición antes expuesta y que es el resumen de las definiciones que ofrecen muchos autores.

En primer lugar, en la práctica nunca vamos a completar la lista de poblaciones relacionadas entre sí porque los puentes de relación establecidos nos llevarían muy lejos si lo lográramos tendríamos toda la biota mundial en la lista.

En segundo lugar, en la práctica no existe un método de muestreo, o de otro tipo, que permita resolver el problema de censar todas las poblaciones de un lugar.

Pero aunque las definiciones teóricas contribuyen, sin duda alguna, a desarrollar el pensamiento ecológico y perfeccionar los métodos de trabajo tendientes a interpretar

fielmente la realidad circundante , es necesario operar en la práctica con unidades que permitan su manejo teórico práctico.

Por lo tanto en la práctica una comunidad es el total de poblaciones posibles de muestrear en un espacio determinado, que como es lógico, debe corresponderse lo más posible en un espacio biológicamente homogéneo. Algunos autores como Odum (1972) consideran equivalente el concepto de comunidad biocenosis, más utilizado en la literatura europea. Otros como Margalef (1977) consideran algunas diferencias entre uno y otro basándose en aspectos del muestreo teórico y haciéndose un análisis de la evolución que ha tenido el concepto de biocenosis. Consideran biocenosis como la biota total de un habitáculo amplio en el que se puede considerar que no existe un intercambio de sustancias y energía con los sistemas adyacentes, como pudiera ser un lago, un pastizal, etc. Dentro de esta formación “grande” (la biocenosis) entonces distinguen agrupaciones más pequeñas (asociaciones) que se caracterizan biológica y físicamente del resto : en el caso del lago, el bentos , el plancton , el necton , las comunidades litorales de interfase, etc.

Reuniendo los criterios, de varios autores y analizando el tratamiento que ambos conceptos le dan diferentes investigadores de prestigio nos atrevemos a considerar que la comunidad biótica constituye una construcción teórica, mientras que la biocenosis es un vocablo que refleja el primero en la práctica. Así, la biocenosis es la representación de la comunidad en el muestreo, es la parte de la comunidad dada a ser muestreada con determinada técnica aplicada y es, de hecho, el elemento (o conjunto de elementos) a través de lo cual es posible conocer la comunidad biótica.

Resumiendo, la biocenosis es el reflejo de la comunidad biótica en la muestra , pero no es siquiera una parte de la comunidad , estrictamente hablando , pues en la muestra desaparecen las relaciones entre las poblaciones, la cual es un momento importantísimo en el concepto de comunidad.

La comunidad biótica, no obstante tienen una extensión variable en el sentido práctico de su estudio. De tal forma una pequeña charca contiene una comunidad de la misma forma que todo un bosque puede considerarse una comunidad. A fin de cuentas el investigador delimita “su comunidad” y ajusta a ella el muestreo. También sucede que la unidad física

del ambiente a la que se asocia una comunidad es relativa y ello por lo tanto, hace relativa la extensión de las comunidades. Es así que podríamos inferir que en un lago se asiente una comunidad, como que la biota asociada a sus riveras, el fondo o el seno de las aguas, pueden constituir comunidades diferentes, pues existen condiciones físicas que difieren de un lugar a otro.

Lo anterior no justifica el subjetivismo a la hora de delimitar las comunidades para su estudio, sino que debemos recordar siempre que tenemos que ajustar el muestreo a las características objetivas que tiene la biota a estudiar, teniendo siempre en cuenta que una comunidad es más o menos homogénea en su manifestación, correspondiéndose a cierta homogeneidad del ambiente físico en que se desarrolla.

Para resolver el problema que esta situación plantea, es conveniente el concepto de asociación. Fue Alejandro de Humboldt (1805) quien introduce el vocablo asociación con referencia a una composición florística determinada. Algunos ecólogos no pronuncian nunca este vocablo a pesar que constantemente hacen empleo implícito del concepto. Ello se debe a la necesidad de utilizar un termino intermedio entre población y comunidad biótica, pues es imposible llegar al conocimiento de la comunidad de forma directa en su estudio. Se hace necesario estudiar sus partes (análisis) para integrar el conocimiento de la comunidad (síntesis). Es así que la asociación, con la amplitud que ha tomado el concepto hoy en día, es la parte que se analiza para síntesis de estos estudios, llegar a conocer la comunidad.

Por ejemplo al estudiar la ecología de un lago no se realiza un muestreo integrado del plancton y bentos, sino que ambos se estudian por separado a partir de técnicas de muestreo apropiadas a cada caso. Sin embargo las conclusiones sacadas del estudio por separado en ambas partes permiten inferir las relaciones ecológicas que se establecen en el lago. En el plancton comprobaremos una dominancia de elementos productores, fotosintetizadores, mientras que en el bentos encontraremos una preponderancia de consumidores. La dependencia del bentos al plancton es obvia. Todo este análisis nos permite arribar a una conclusión que observamos continuamente "la unidad del trabajo para

el ecólogo, será generalmente la asociación y la biocenosis o comunidad biótica tienen la categoría de construcción teórica” (Margalef, 1977).

Una comunidad se presenta por una mezcla de taxocenosis, por lo que se entiende un tipo de asociación, más exactamente, el grupo de poblaciones relacionadas taxonómicamente que se encuentran en una muestra. Es un caso particular de asociación.

Como casi siempre el ecólogo tienen un grupo en que es sistemáticamente fuerte”, la referencia a taxocenosis es común en literatura ecológica especializada.

Al final, insistimos, es necesaria la síntesis de las gestiones sobre las asociaciones, porque pueden considerarse escasísimas las comunidades tan sencillas o los muestreos de calidad tan amplios, como para que toda la comunidad quede reflejada en una asociación. Salvando las distancias, podrían compararse comunidad biótica, con un organismo la asociación con un tejido.

ASPECTO FUNCIONAL Y ASPECTO DESCRIPTIVO DE LA COMUNIDAD.

La definición funcional tratada tiene un doble aspecto funcional y descriptivo. Partíamos de delimitar las relaciones (funcionales) que establecían las poblaciones de un área entre sí para delimitar las comunidades. En algunos casos es fácilmente definible el límite de una comunidad atendiendo a un criterio funcional. Este es el caso en que las comunidades ocupan un medio bien delimitado con respecto a los alrededores, como son un estanque, una pequeña isla, etc. En otros casos los individuos de una comunidad interfieren tan obviamente con los de otra, que es difícil establecer límites específicos entre ambas.

Descriptivamente, la comunidad va a tener una composición más o menos definida en lo que se refiere a las especies que la integran. La diferencia de este tipo entre dos comunidades adyacentes puede ser, en ocasiones, muy acusadas, sobre todo en las principales especies. En estos casos la línea de demarcación entre ambas comunidades es muy nítida.

En otros casos existe una graduación lenta e irregular entre dos comunidades. En aquellos lugares donde varía definitivamente la composición de especies (que nos indica un cambio

de una comunidad a otra) ha ocurrido algún cambio importante en el ambiente. Este cambio puede ser de varios tipos: topográfico, hídrico, edáfico, etc.

Descriptivamente se puede reconocer una comunidad:

- 1) basándose en el habitáculo que ocupa.
- 2) basándose en las especies animales o vegetales que la componen.

Como se observa, generalmente se inicia el estudio de una comunidad partiendo del criterio descriptivo, para llegar luego a conocer las características funcionales de la misma. Pero también sucede que cuando la composición por especies de una comunidad no se manifiesta apreciable a simple vista, es necesario un tanteo por muestreos semicualitativos preliminares que lleguen a esclarecer los posibles límites de la comunidad que nos interesa.

BIOTOPO:

El vocablo biótopo deriva de dos raíces: “bio” (vida) y topo (lugar), por lo que etimológicamente significa “lugar donde se vive”. Pero sobre esta etimología se tienen dos conceptos diferentes.

El primer concepto de biotopo (Margalef, 1977) lo señala como “El lugar físico de residencia de una comunidad, el espacio ocupado por una comunidad”. Otros autores como D’Ancona (1975) se adhieren a la definición de Pear1, que en esencia no difiere del anteriormente expresado cuando lo definen como la “unidad de ambiente en los que vive una población”, A pesar de que el primero toma la comunidad como referencia y el segundo la población, no son disímiles entre sí las definiciones dado el caso que una determinada población vive en condiciones naturales, formando parte de un determinado tipo de comunidad. Por ejemplo, en las comunidades “tipo arrecife coralino lo más seguro es que encontremos los llamados loros (Scarus).

Los patrones generales para la composición por especie de algunas comunidades son bien conocidos. Salvada esta aparente discordancia entre las dos enunciadas, salta a la vista una gran similitud: ambos se refieren al lugar específico de habitación. De tal forma dos lugares (supongamos que con iguales características ecológicas) habitadas por dos comunidades semejantes constituirían dos biotopos distintos.

El segundo concepto de biotopo (Clarke, 1956) ha tenido una mayor acogida en nuestro país, sobre todo en los biólogos marinos.

Dicho concepto presenta mayores conveniencias metodológicas al investigador ya que se refiere al biotopo como un tipo de lugar donde regularmente se asienta un tipo de comunidad o comunidades ecológicamente equivalentes. Nos consideramos defensores de este criterio.

Así podemos referirnos a un biotopo de Mangle, un biotopo de pradera, un biotopo de esponjas, un biotopo de árbol seco, un biotopo de arrecifes coralino, etc. La gran conveniencia radica en que a pesar de la biosfera tienen una organización sumamente heterogénea, en ellas se repiten numerosas partes con características semejantes, validas de estudiar como unidades receptibles. Estas unidades en su aspecto físico y principalmente aspecto metodológico conveniente para la investigación.

PREDOMINIO ECOLÓGICO

No todas las especies son de igual importancia a la hora de caracterizar una comunidad. A pesar del gran número de poblaciones con que suele contar una comunidad, solo unas pocas ofrecen el grueso de la influencia en virtud de su número, tamaño y/o sus actividades, en relación con el control de la comunidad.

Por regla general, las comunidades tienen productores, macroconsumidores y micro consumidores. Dentro de cada uno de estos grupos aquellos por las cuales pasa la mayor parte de la corriente de la energía, se denominan dominante ecológicos.

En este caso puede aclararse mucho con el siguiente ejemplo: realizamos un censo cualitativo de una pequeña granja que quedaría de la siguiente forma.

gramíneas de pasto	carneros
arbustos mayores	pavos
árboles de Mango	gallinas
naranjos	caballos

vacas
cabras

perros
gatos

Solo hemos hecho una relación “taxonómica” que no nos da, en modo alguno, una visión clara de la granja.

Pero si añadiéramos algunos datos cuantitativos a nuestra anterior observación, como por ejemplo:

gramíneas de pasto	10 hectáreas	carneros	7 ejemplares
arbustos mayores	163 ejemplares	pavos	15 ejemplares
naranjos	6 ejemplares	caballos	2 ejemplares
vacas	30 ejemplares	perros	2 ejemplares
cabras	5 ejemplares	gatos	4 ejemplares

Entre los productores, las gramíneas son las dominantes, mientras que en los consumidores las vacas juegan el papel predominante. Como es lógico se ganaría mucha visión si se conocieran más datos como la producción de pastos y leche, la tasa de renovación y valores de la mortalidad del ganado.

En ningún sentido hemos querido plantear que las especies escasas no sean importantes. Todo lo contrario. Ellas son las encargadas de mantener una alta diversidad y servir como “piezas de repuesto” en el caso de que llegue a faltar una población dominante, cosa que causaría cambios drásticos en la comunidad biótica e, inclusive, en su asiento físico.

DIVERSIDAD DE ESPECIES EN LAS COMUNIDADES:

La expresión diversidad integra tanto el número de especies como las abundancias relativas de la misma. Diversidad como concepto ha sido utilizado desde hace mucho tiempo. Los viejos naturalistas (siempre deseosos de encontrar una especie nueva) se referían a lugares donde se encontraban pocas especies y decían que estos tenían “una baja diversidad de especies”

Por el contrario cuando hacían alusión a lugares donde se hallaban gran cantidad de especies, lo hacían diciendo que tenían una alta diversidad de especies”. El número de

especies de una comunidad tienen una estrecha relación con respecto a la dominación de algunas especies dentro de la misma. En aquellas que son pobres especies, se pueden encontrar unos pocos que son dominantes: y en aquellas comunidades que son ricas en especies, a penas se puede concebir la idea de encontrar especies dominantes o que sobresalgan del resto, aunque nos la podemos encontrar sin duda alguna.

Lo anterior podemos resumirlo de la siguiente manera: una comunidad con diversidad baja tendrá pocas especies y el número de ejemplares por especies será muy variable de una u otra llegando al extremo en que una o pocas especies son dominantes ecológicos indiscutibles. Por el contrario una comunidad con diversidad alta tendrá un gran número de especies en su seno y el número de individuos de cada especie es poco variable de una u otra especie, de tal forma que esta homogeneidad no permite distinguir dominantes ecológicos.

Debido a lo anterior, una comunidad de baja diversidad tendrá una baja estabilidad ya que la afectación de las especies dominantes cambiaría el aspecto de la comunidad de forma drástica. En otras palabras, tiene una baja entropía y un gran orden interno, que se traduce como una poca estabilidad. Este tipo de comunidades es dominante en regiones templadas. Por otra parte, una comunidad de alta diversidad tendrá una alta estabilidad, ya que la afectación en una especie no representa un cambio drástico en el conjunto, pues esta no era (cosa casi segura) una especie dominante y, en segundo lugar, su lugar ecológico es ocupado por otras de las abundantísimas especies de la comunidad. Dicho de otra forma, tiene una alta entropía y un gran desorden interno, que le garantizan la alta estabilidad. Son comunidades más maduras y evolucionadas que las anteriores, que se encuentran principalmente en las regiones tropicales.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES

En el estudio de las comunidades se usan diversos índices ecológicos, que pueden resultar de gran valor.

Un índice ecológico es una cuantificación de algunos elementos, tomados del trabajo de muestreo directo en la comunidad. Estos datos se integran de diferentes formas, según la expresión matemática utilizada.

Todos ellos deben aplicarse a nuestra aleatorias y cuantitativas.

*Índice de predominio: el índice más usado para reflejar el predominio es de Simpson (1949), que se expresa de la siguiente forma.

$$C = (N_i/N)$$

Donde N_i = número de individuos en la especie.

N = total de individuos en la muestra

* Índice de similitud: Sirve para cuantificar el grado de semejanza que existe entre dos muestras o comunidades.

Presentamos el índice de Sorensen (1948), empleado casi universalmente.

$$S = \frac{2C_{pq}}{C_p + C_q} \times 100\%$$

Donde: C_{pq} = # de sps comunes en p y q

C_p = # de sps en P

C_q = # de sps en q

* Índice de diversidad: Los índices de diversidad son varios. Generalmente han sido tomados de la teoría de informática (diversidad de información), por lo que han sido creados casi siempre por matemáticos. Algunos de ellos requieren para su aplicación que se cumpliera una serie de requisitos matemáticos, más o menos engorrosos de comprobar, por lo que daremos solamente los dos más usados y que solo requieren que los datos sean de muestra cuantitativas aleatorias y ... una buena computadora.

* Índice de Shannon y Weaver (1944)

$$H = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad \text{o bien} \quad H = -\sum P_i \log P_i \quad \text{Algunos utilizan el logaritmo de base 10}$$

Donde n_i = valor de importancia para cada especie.

N = total de valores de importancia.

P_i = probabilidad de importancia para cada especie = n_i/N .

* Índice de Brillouin (1915)

$$B = \frac{1}{N} \log \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_3!}$$

Cuando $S = 1$ $B = 0$ (mínimo)

Si $S = N$ $B = \log. N$ (Máximo)

RELACIONES INTERESPECÍFICAS.

Las mutuas relaciones entre dos especies diferentes pueden resultar beneficiosas para ambas partes, perjudiciales para las dos o bien benéficas o perjudiciales para una de ellas e indiferente para la otra. Entre estos casos extremos pueden presentarse todos los grados intermedios. El efecto beneficioso de la presencia de otra especie es, en ocasiones, una necesidad vital, pero, en otros casos, en los que solo proporciona una ligera ventaja, es difícil decidir a menudo, si la relación es efectivamente beneficiosa o simplemente indiferente.

Teniendo en cuenta las precedentes consideraciones, podemos agrupar las relaciones entre las especies en dos categorías principales (según G. Clarke): 1) simbiosis, en la que una o ambas especies resultan beneficiadas y ninguna perjudicada, y 2) antagonismo, en cuyo caso una por lo menos de las dos especies resulta perjudicada. Algunos autores hacen extensiva la denominación simbiosis a todos los tipos de interrelaciones de carácter perjudicial, otros autores, por el contrario, limitan este termino a las relaciones entre una planta y un animal, o a aquellas relaciones que son mutuamente beneficiosas.

La definición de simbiosis, que literalmente significa (vida en común), dada anteriormente, parece más lógica y está más de acuerdo con su uso corriente. Las asociaciones simbióticas se dividen a su vez en mutualismo (ambas especies beneficiadas) y comensalismo (solo una especie beneficiada). Las relaciones de antagonismo ente diferentes especies comprenden la antibiosis, la explotación (incluyendo el parasitismo y la depredación) y la competición.

En este esquema (+) indica un aumento en el proceso vital benéfico como resultado de la asociación, (-) significa una disminución del daño, y (o) señala la ausencia de todo efecto. Como estas relaciones pasan gradualmente de unas a otras y en ocasiones cambian, y como quiera que resulte a menudo difícil determinar si el efecto sobre una de las dos especies es verdaderamente diferente, los intentos para clasificar muchas de las acciones existentes dentro de estas subdivisiones pueden resultar infructuosos. El esquema sirve, principalmente, para recordar los diferentes tipos de relaciones que deben tenerse en cuenta cuando se examinan las reacciones interespecíficas.

Especie A	Especie B	Relación	
+	+	Mutualismo	
+	0	Comensalismo	Simbiosis
0	0	Neutralidad, tolerancia	
0	-	Antibiosis	
+	-	Explotación (incluyendo el parasitismo y la depredación)	Antagonismo
-	-	Competición	

SIMBIOSIS

Cuando los miembros de dos especies están relacionados simbióticamente, el beneficio recibido por uno o por ambos consiste principalmente en la obtención de alimentos, pero puede también consistir en la obtención de albergue, substrato o transporte. La asociación puede ser continua o transitoria, obligada o facultativa. Ambos simbiosistas pueden estar en estrecho contacto, con sus tejidos mezclados, o uno de ellos puede permanecer en una

cavidad del otro o fijo sobre su superficie. En algunos casos el contacto entre los dos individuos es transitorio, mientras que en otros las dos especies pueden influirse mutuamente, sin ningún contacto efectivo. Las asociaciones en las que ambas especies resultan beneficiadas reciben el nombre de mutualismo, y aquellas en las que solo es una la especie beneficiada y ninguna perjudicada se califican de comensalismo.

MUTUALISMO.

El tipo más íntimo de mutualismo se observa en aquellas asociaciones en las que el contacto entre los simbioses es muy cerrado y a menudo permanente, así como también obligatorio. Un ejemplo clásico de este tipo de relaciones lo constituyen los líquenes, constituidos por un hongo dentro del cual están dispersas las células de un alga. El hongo conserva la humedad y permite el aprovechamiento de los minerales a los dos componentes, a cambio de lo cual el alga, portadora de clorofila, fabrica hidratos de carbono para sí y también para el hongo, desprovisto de pigmento. El hongo de un líquen no puede desarrollarse en la Naturaleza sin estar asociado a un alga, y las algas, aunque semejantes a otras especies independientes, dependen probablemente del hongo en condiciones naturales. Fig.8.1



Fig.8.1 Líquenes en la zona intermareal

Los líquenes tipifican el mutualismo, una de las tres formas de relaciones simbióticas. Los dos organismos que conforman el líquen (un hongo y un alga) dependen uno del otro por completo y no pueden vivir de forma independiente. El alga es fotosintética y produce los nutrientes que necesita el líquen, mientras que el hongo absorbe nutrientes esenciales y agua

Algunos simbioses residen en cavidades de sus huéspedes en vez de hacerlo en sus tejidos. Los rumiantes y otros animales que se alimentan con una dieta muy rica en celulosa serían incapaces de digerir esta sustancia sin la acción enzimática de una celulosa producida por los microorganismos que viven en sus intestinos. Las bacterias simbióticas cumplen esta misión en el ganado y en otros rumiantes. Ciertas cucarachas y termites pueden digerir la madera únicamente con ayuda de un tipo especial de flagelados albergados en sus intestinos. En estos casos la simbiosis es mutuamente beneficiosa y obligatoria para ambas partes. Algunas de las bacterias que viven en los intestinos de los animales producen también varias vitaminas B y otras sustancias determinadas.

Otra manifestación del mutualismo en la que los simbioses se hallan permanentemente en contacto, pero en el cual el contacto es puramente externo, es la fijación de ciertas esponjas y celentéreos sobre los caparazones de los cangrejos. Los animales fijos se benefician con el transporte hacia los lugares donde encuentran alimentos con mayor facilidad y evitan su confinamiento en la zona sometida a la acción de las mareas o en el agua estancada, así como también obteniendo trozos de alimentos procedentes de la comida del huésped. El cangrejo, por su parte, queda bastante enmascarado debido a la presencia de los animales fijos sobre su espalda, siendo muchas veces protegido por ellos frente a los ataques de sus enemigos.

En muchos casos de mutualismo los miembros asociados no están ligados mutuamente, el contacto es intermitente o únicamente se produce durante un corto espacio de tiempo. En la mayoría de los casos, el beneficio de estas asociaciones se relaciona con la alimentación, por lo menos para una especie, pero la otra especie, y en ocasiones ambas, pueden obtener un tipo de ventaja completamente diferente. Fig.8.2.



Fig. 8.2 Hormigas apacentadoras cuidando a sus áfidos

Las hormigas apacentadoras cuidan a sus áfidos y los 'ordeñan' cada cierto tiempo golpeándolos con suavidad con las antenas; así les extraen sus secreciones dulces. Los protegen con agresividad e incluso los trasladan a un nido nuevo o a un cobijo provisional en caso de peligro. Este tipo de comportamiento simbiótico se llama mutualismo, porque beneficia a los dos organismos: las hormigas reciben azúcares de los áfidos y éstos reciben protección de aquéllas.

En el mundo subterráneo hallamos varias relaciones recíprocas extremadamente complejas, entre las diferentes especies. Varias especies de hormigas mantienen una población de pulgones en su nido. Las hormigas obtienen de éstos una exudación nutritiva del extremo posterior del tubo digestivo acariciando el abdomen del pulgón con sus antenas. Basándose en ello, la gente afirma que las hormigas (crían vacas) y las (ordeñan). Los pulgones se alimentan de las raíces de las plantas, o son transportados por las hormigas fuera del nido a fin de que puedan alimentarse en los pecíolos de las hojas. Los huevos de los pulgones son depositados en las partes aéreas de las plantas y, aunque no son de inmediata utilidad para las hormigas, son transportados, sin embargo, al nido, donde quedan protegidos durante el invierno hasta que hacen eclosión y los jóvenes pulgones repueblan la granja lechera.

La polinización de las flores por medio de las abejas, mariposas nocturnas y diurnas y, en ocasiones, por los pájaros moscas, constituye otro ejemplo de simbiosis mutuamente

beneficiosa, en el que la especie que intervienen pueden entrar en contacto durante sólo unos pocos segundos. El insecto obtiene alimento del néctar o de otro producto de la planta, y, en recompensa, se encarga de transportar el polen desde las anteras de una flor al estigma de otra, asegurando de esta manera la polinización cruzada.

COMENSALISMO.

Cuando los miembros de diferentes especies están asociados de tal modo que sólo uno de ellos resulta beneficiado y ninguno perjudicado, la relación recibe el nombre de comensalismo. Tales asociaciones se hicieron sin ningún género de duda mediante la mera tolerancia de los (invitados) cerca de los huéspedes, generalmente de gran tamaño o sobre o en el interior de sus cuerpos. Si el comensal obtiene algún beneficio sin molestar al huésped, la relación tenderá a persistir. Fig. 8.3.



Fig. 8.3 Comensalismo. Relación entre el tiburón y el pez pega.

Los comensales en contacto más o menos permanente con sus huéspedes están representados por una gran variedad de epífitas y epizoos. Muchas orquídeas tropicales, bromeliáceas y otras (plantas aéreas) crecen encaramadas a las ramas horizontales o en las cruces de los árboles o bien cuelgan en ondeantes festones.

Todas estas epífitas utilizan los árboles como punto de fijación gozando de luz conveniente y de otras condiciones favorables y fabricando su propio alimento mediante la fotosíntesis.

Como no obtienen sustancias nutritivas de los tejidos del árbol, no pueden considerarse parásitos. La mayoría de las epífitas no causan daño a la planta huésped, pero pueden llegar a ser tan numerosas que rompen las ramas o impiden el crecimiento.

También es elevado el número de los comensales que están en contacto temporalmente con sus huéspedes o que están asociados con ellos sin establecer ningún género de contacto. El contacto intermitente entre los animales comensales y las plantas huéspedes se observa, en tierra, en las ardillas, monos, ranas y serpientes arborícolas, así como en gran número de aves, insectos y otros animales que utilizan los árboles u otros vegetales como substrato, para guarecerse o para criar, sin perjudicar al huésped de manera importante.

ANTAGONISMO.

Las relaciones entre miembros de diferentes especies, en las que uno o los dos miembros salen perjudicados, se incluyen bajo la denominación general de antagonismo.

Las relaciones antagónicas de una especie frente a otra implican perjuicio, que puede infligirse de una o varias maneras 1) La especie A puede producir una sustancia venenosa o un cambio en alguna condición ambiental que es perjudicial para a especie B, sin que la especie A obtenga en ello ningún beneficio (0,-) La antibiosis , o producción de secreciones perjudiciales, es el ejemplo más sorprendente de este tipo de relaciones . 2) La especie A puede causar daño directamente a la especie B para su propio beneficio mediante un relación de explotación (+, -) La especie A puede explotar a la B para obtener soporte o un abrigo para sí misma, o puede obtener directamente alimento de la B, como parásita o depredadora. 3) Ambas especies pueden resultar mutuamente perjudicadas en la asociación (-, -). Esta situación se observa generalmente en los casos de rivalidad indirecta, o competición, de dos especies por algún factor del ambiente que ambas necesitan y que no abunda. El espacio utilizado y los alimentos, luz, oxígeno, etc consumidos por una especie disminuye la cantidad disponible para la otra. En algunos casos las dos especies competidoras sufren daños importantes, en otros casos el daño puede ser intenso para una especie y relativamente poco importante para la otra.

ANTIBIOSIS.

Muchas sustancias elaboradas por unos organismos o resultantes de su metabolismo, son generalmente perjudiciales para otros. Así la producción de anhídrido carbónico o de ácidos orgánicos, puede perjudicar de tal manera a otras especies más sensibles que no puedan seguir viviendo en la misma zona, y la sombra excesiva producida por un tipo de vegetación puede determinar la desaparición de especies que no pueden vivir con una iluminación insuficiente. La palabra antibiosis se aplica más particularmente a la producción de sustancias que resultan específicamente antagónicas para otras especies. Tales antibióticos son producidos generalmente por muchas clases de hongos y bacterias. La acción de la penicilina, estreptomina, aureomicina y otros antibióticos producidos por hongos, es la destrucción de determinadas bacterias patógenas, son bien conocidas del lector, debido al intenso empleo que de tales sustancias – naturales o sintéticas- se hace en medicina.

En el ambiente, las toxinas producidas por grandes poblaciones de algunos microorganismos, vulgarmente conocidos como (marea roja), determinan destrucciones catastróficas de peces y de otros animales.

De modo análogo, ciertas plantas terrestres son peligrosas para los animales, pero generalmente solo ejercen efectos perjudiciales si son ingeridas. Por ejemplo, un arbusto semidesértico (*Halogeton glomeratus*) de Nevada y Estados vecinos mata las ovejas que los comen. Las hojas esponjosas de esta planta están llenas de ácido oxálico, que se combina con el calcio sanguíneo y produce la muerte al cabo de pocas horas.

EXPLOTACIÓN.

Volvamos ahora a las relaciones de explotación en las que los miembros de una especie se benefician mediante el aprovechamiento de otra especie. La manifestación más corriente de explotación interespecífica es la utilización de una especie vecina como fuente de alimento, lo que se discutirá al tratar del parasitismo y de la depredación. Sin embargo, un organismo puede utilizar también otra especie animal o vegetal para su vegetación para su

fijación, soporte o transporte, como ya se indicó, y tales actividades pueden ocasionar, con frecuencia, trastornos al huésped.

Existen algunos casos muy especializados de explotación, siendo uno de los más sorprendentes la esclavitud de una especie de hormigas por otra (Talbot y Kennedy, (1940). *Polyergus* es una hormiga esclavizadora obligada que es incapaz de conservar su colonia sin la presencia de miembros de cierta especie de Formica. Las obreras de *Polyergus* visitan los nidos próximos de Formica llevándose a casa larvas y pupas de esta especie. Después de alcanzar el estado de obreras, estas hormigas cautivas se dedican a la manutención y a la construcción de los nidos de sus dueños. Las hormigas de *Polyergus* mueren de inanición incluso en presencia de abundante alimento si no son alimentadas por sus esclavas.

PARASITISMO.

Un parásito es un organismo que reside encima o en el interior del cuerpo de otro organismo viviente de mayor tamaño, obteniendo alimentos de sus tejidos.

Muchos vegetales y animales han adoptado un género de vida completamente parásito. Aunque el mayor contingente lo proporcionan los organismos inferiores, también ciertos miembros de grupos más superiores han acudido al parasitismo. Los parásitos vegetales, en su mayoría hongos y bacterias, pueden atacar a los animales y a otros vegetales. Los animales que parasitan a otros animales pertenecen a los protozoos, a varios grupos de invertebrados. Los animales que parasitan las plantas están representados por los himenópteros y dípteros gallícolas. Los huevos de estos insectos son depositados sobre los tallos y las hojas, y las actividades de las larvas determinan la formación de las agallas sobre la planta huésped. No se conoce ningún organismo que no sea susceptible de ser atacado por alguna clase u otra de parásito.

Algunos parásitos se limitan a una sola especie huésped, o a un tipo de huésped, mientras que otros parásitos pueden atacar a gran número de plantas y animales diferentes. El parasitismo puede presentarse incluso dentro de una misma especie. Por ejemplo, en el pez pescador de caña e las grandes profundidades, *Photocoryus spiuinceps*, el macho vive como un diminuto parásito sobre la cabeza o al lado de la hembra y obtienen todo el

alimento de la sangre de ésta. Por consiguiente, esta especie resuelve el problema del alojamiento de un sexo por el otro, en las obscuridades del fondo del mar. Este tipo de relación intraespecífica se presenta frecuentemente en el reino vegetal, como se observa, por ejemplo en el desarrollo del tubo polínico, representante de la planta masculina, como (parásitos) sobre los tejidos del estigma y del estilo de una flor de una angiosperma, y también en el desarrollo del esporofito de un musgo sobre los tejidos del gametofito. En este capítulo, sin embargo trataremos en primer lugar el parasitismo de una especie por otra.

Entre los parásitos existe una gran variedad en lo que se refiere a la localización en sus huéspedes, la duración de su dependencia, sus adaptaciones y sus métodos de transmisión. Solo puede hacerse aquí una breve indicación de los aspectos de este amplio asunto más interesantes desde un punto de vista ecológico. Para un estudio más completo del parasitismo, el lector puede consultar a autores como Pearse (1942) Chandler (1944) o Baer (1951). Los parásitos pueden encontrarse en el exterior de sus huéspedes (ectoparásitos) o en el interior de sus cavidades o tejidos (endoparásitos). Ver Fig. 8.4.

Ciertos gusanos y muchas bacterias y protozoos son parásitos obligados prácticamente durante toda su vida, en cambio, otros organismos pueden ser parásitos durante solo una pequeña parte de su existencia. El parasitismo facultativo está difundido y se encuentra por ejemplo, en los mosquitos que pueden vivir durante toda la vida del néctar y otras secreciones vegetales, pero que, en cambio parasitarán rápidamente a cualquier mamífero disponible, sin embargo, algunas especies de mosquito deben disponer de una comida de sangre antes de que puedan reproducirse.



Fig. 8.4 Pulga humana

La pulga es un hematófago parásito común. Carente de alas, la pulga no puede volar, pero con su cuerpo plano se desliza entre los pelos del cuerpo de su huésped con sus patas poderosas. Con sólo 3 mm de longitud, la *Pulex irritans* puede saltar hasta 20 cm de altura. La pulga humana, al igual que otras especies de pulga, es un transmisor potencial de enfermedades.

Muchos parásitos temporales son parásitos cuando adultos y llevan vida libre en estado larvario, pero en otras especies sucede lo contrario. Un caso muy especial dentro de esta última categoría es el de los himenópteros parásitos que depositan sus huevos en el cuerpo de otros insectos. Cuando los huevos hacen eclosión, las larvas comen los tejidos del huésped, que, al principio sigue llevando vida activa. Como el huésped acaba finalmente muriendo al ir creciendo el parásito, a los insectos que desarrollan estas actividades se les aplica el calificativo de parasitoides. Algunos himenópteros complican todavía más su actuación al paralizar con carácter permanente a sus víctimas mediante la acción de sus picaduras, antes de depositar en ellas el huevo. De esta manera el himenóptero prepara a un insecto indefenso pero vivo, o una araña, para la nutrición de la larva, cuyo modo de vida es, por consiguiente, intermedio entre el parasitismo y la depredación, quizás el ejemplo más extraordinario de este tipo de comportamiento es el ataque de las avispas cavadoras, la mayor de las cuales tiene una envergadura de unos 10 cm., incluso a las mayores tarántulas. Cuando la hembra de la avispa gigante *Pepsis marginata* está a punto de depositar sus huevos, localiza de algún modo a una tarántula *Cryptopholis portoricae*, y la explora con sus antenas para asegurarse de que se trata de la especie conveniente. Las larvas de cada especie de avispa pueden alimentarse únicamente de una sola especie de tarántula. Aunque la tarántula puede dar muerte con facilidad a la avispa, no lo hace así y realiza pocos intentos para escapar. Después de que la avispa ha excavado una sepultura para su futura víctima, le pica la arrastra a la sepultura y deposita en ella un único huevo que fija al abdomen del monstruo paralizado. Al nacer, la larva de la avispa es solamente una débil parte de la masa de la tarántula, pero en el momento en que esta lista para metamorfosear y llevar vida independiente, ha consumido todos los tejidos blandos de la araña gigante.

DEPREDACIÓN.

El depredador típico es siempre un individuo de vida libre que caza, mata y devora a los individuos de otras especies con objeto de alimentarse, a diferencia de los parásitos típicos que viven sobre el huésped obteniendo de él su alimento, pero sin matarlo.

Los organismos depredadores son casi siempre animales, pero también se conoce un reducido número de plantas depredadoras.

Los animales depredadores que se alimentan de otros animales reciben el nombre de carnívoros, y los que se alimentan de vegetales se llaman herbívoros. Algunos animales herbívoros matan las plantas de que se alimentan consumiendo toda la planta o buena parte de ella. Los filtradores acuáticos destruyen necesariamente todas las diatomeas, flagelados y otras algas, a los que dirigen y lo mismo hacen los animales herbívoros terrestres que se alimentan de pequeñas plantas. Sin embargo muchos insectos y rumiantes ramonean ligeramente la vegetación de tal modo que no impiden que las plantas sigan desarrollándose indefinidamente. Hemos visto que el pastoreo de las ovejas, por ejemplo, puede recortar sin daño las gramíneas e impedir la invasión de otras plantas, favoreciendo de esta manera el desarrollo permanente del pasto en buenas condiciones.



Fig. 8.5
Depredación

En términos generales, los depredadores suelen dar caza a los organismos más asequibles, tanto por su abundancia como por su más fácil captura. Ver Fig. 8.5.

Si un depredador tiene una preferencia específica en su alimentación o está adaptado a alimentarse continuamente de la misma especie, pueden derivarse graves consecuencias para el depredador y para la presa, pero, generalmente, cuando escasea un tipo de alimento, el depredador modifica su dieta. Los pececillos del género *Gambusia*, se colocan

generalmente en los estanques porque comen vorazmente las larvas de los mosquitos. Desgraciadamente para los humanos que sufren las desagradables consecuencias de la vecindad de los mosquitos, cuando el pez ha reducido considerablemente el número de las larvas, se aficiona a otros alimentos, lo que permite rehacerse a las poblaciones de mosquitos.

COMPETICIÓN.

El aspecto de la competición que comprende la “guerra caliente” entre las especies que luchan por su lebensraum (espacio vital, en alemán en el original) o por su alimentación , y después analizaremos ciertas generalidades de la competición que se refieren tanto a las agresiones directas como a la rivalidad indirecta.(Fig. 8.6) Un organismo compite con los miembros de su propia especie por el espacio, la luz, el alimento y otras necesidades, pero la naturaleza de la competición entre las especies varía debido a las diferencias en las necesidades perentorias y en las adaptaciones de las diferentes especies.



Fig. 8.6. Competencia

Los líquenes compiten entre sí por el espacio sobre un saliente roquizo seco, y también con los miembros de otras especies , sobre una roca sumergida los percebes compiten también por el espacio , entre sí y también con las ostras , mejillones y otros animales fijos.

Los plántulos de árboles rivalizan con los pequeños arbustos y hierbas para la obtención de la luz. Las raíces de un árbol del bosque se empeñan en una lucha invisible pero continua con las raíces de los otros árboles para disputarse el agua y las sustancias nutritivas. Varias especies de parásitos contienden por los tejidos más escogidos de sus huéspedes. Los saltamontes, no solo luchan con otros insectos por la hierba, sino también, en cierto modo, con los ratones y conejos, así como también con las vejas y antílopes que consumen el mismo alimento. De modo análogo, varias especies carnívoras luchan por la misma presa.

Resumiendo, cuando dos especies antagónicas se encuentran en el mismo ambiente, son posibles los siguientes resultados diferentes: 1) si las dos especies son ecológicamente equivalentes realizando demandas comunes al ambiente, y si una de ellas impide el desarrollo de la otra con mayor intensidad que su propio desarrollo, la primera especie determinará la eliminación de la segunda de aquella área, 2) si las dos especies realizan demandas algo diferentes al ambiente, de manera que ocupen diferentes nichos, ambas especies continuarán coexistiendo en el área, 3) Si las dos especies dependen una de otra, como parásito y huésped o depredador y presa, el agresor puede eliminar a la otra especie y después adaptarse a nuevas clases de alimentos, 4) Si la especie atacante es incapaz de destruir a todas las restantes especies y si es capaz de sobrevivir a los períodos de escasa abundancia de la otra especie, las dos especies pueden seguir viviendo en la zona en un equilibrio estable y fluctuante.

CAMBIOS EN EL ASPECTO DE LAS COMUNIDADES.

Las comunidades generalmente no tienen una distribución homogénea. Esto responde a que las especies se distribuyen en el espacio, relacionadamente con la distribución de los factores físicos que tienen. De esta forma las microcondiciones físicas de una región determinarán la composición biológica allí manifiesta.

Cuando las condiciones físicas del ambiente acusan un gradiente manifiesto, en la biota se pueden poner de manifiesto dos fenómenos generales: la estratificación y la zonación.

ESTRATIFICACIÓN EN LA COMUNIDAD.

Muchas biocenosis presentan una estructura o disposición especial de sus miembros, de tal forma que los mismos aparecen formando capas, zonas o estratos característicos, con condiciones ambientales más homogéneas, dando lugar a una enorme diversidad de asociaciones, subcomunidades y hábitats distintos.

Esta estratificación de la comunidad puede hacerse en sentido horizontal y en sentido vertical. Los mejores ejemplos en nuestro país, de estos dos tipos de estratificación, lo constituyen los manglares y los bosques semidecíduos tropicales.

Los manglares forman una característica estratificación horizontal en las costas cenagosas, que algunos autores separan como diferentes biocenosis; junto al litoral, en los suelos sumergidos, total o temporal, se encuentran un primer estrato compuesto por mangle rojo. Más hacia adentro, algo protegido por la vegetación de la primera zona, en suelos sometidos a inundaciones del agua de mar, se encuentra un estrato formado por mangle prieto y patabán, especie con raíces aéreas o neumatóforos, adaptadas a las inundaciones periódicas. Por último, más hacia adentro, formando un tercer estrato, se localiza una faja de yana, sola, o mezclada con júcaro negro y amarillo, y otras especies; aquí el suelo es relativamente seco, pero el nivel freático de las aguas salinas está muy cerca de la superficie.

Nuestros bosques semidecíduos tropicales, como la mayoría de los bosques típicos, presentan cinco estratos horizontales:

- a) El subterráneo.
- b) El suelo.
- c) La capa herbácea, que se presenta poco.
- d) Un estrato arbustivo.
- e) Dos estratos arbóreos. (Fig. 8.7)

El estrato subterráneo es muy húmedo, y contiene una gran cantidad de humus, cuya profundidad tiende a ser menor en relación con otras biocenosis (sabanas, por ejemplo). Este estrato contiene las raíces de las plantas, y es la residencia del edafón, la biota del

suelo, formada por bacterias, hongos, protozoos, insectos, arácnidos, vermes y otros grupos de invertebrados, además, en ella buscan refugios insectos y reptiles excavadores.



Fig. 8.7 Bosque **templado caducifolio**

Mientras que las coníferas permanecen con hojas todo el año, las caducifolias cambian de color y pierden las hojas anualmente. Ambos tipos de árboles pueden vivir en las mismas regiones y cinturones forestales. En este parque de Quebec (Canadá), los colores otoñales brillantes de las caducifolias contrastan con el verde oscuro de las coníferas.

El suelo del bosque es un sustrato donde se realiza una actividad biológica intensa, principalmente descomposición de la materia orgánica, predación, parasitismo y competencia. La mayor fuente de la descomposición proviene de las hojas y ramas de los grandes árboles, los que son atacados por los microorganismos, saprófitos, que compiten entre sí y liberan a las medias sustancias tóxicas que inhiben el crecimiento de otras especies.

Gran número de invertebrados viven de los troncos caídos y otros materiales del suelo, los cuales son intensamente predados por reptiles insectívoros. En general, la riqueza de especie en el suelo de un bosque es mucho mayor que las otras biocenosis.

El estrato herbáceo de los bosques tiene una altura variable, puede llegar hasta alrededor de 1m, en general, está pobremente representado e incluso falta en algunos casos. El estrato arbustivo en estos bosques forma una sola capa, pero también es de altura variable, como el herbáceo, aunque siempre está presente.

Lo que caracteriza a nuestros bosques semidecíduos son sus dos capas arbóreas, con altura entre 20m y 30m. Es característico de estos estratos, que los árboles más altos pierdan sus hojas durante la época de seca, mientras que los del segundo estrato las conserven de modo normal todo el año. El crecimiento de los principales árboles es rápido, a causa de las abundantes precipitaciones del verano. En cada estrato se destacan árboles característicos, pero las especies varían en dependencia de las diferentes condiciones edáficas.

Todos los estratos vegetales están poblados por asociaciones características de epifitas, y epizoos, que viven sobre otros animales.

Los insectos herbívoros y arañas son muy abundantes en el estrato herbáceo. En las capas más elevadas, la supremacía numérica la presentan los insectos, pero también habitan en las mismas nuestros bellísimos caracoles terrestres, ranitas, lagartijas del género Anolis, muchos pájaros insectívoros, granívoros, y las jutías conga, carabalí y andaraz. Muchas de estas especies están asociadas a un solo estrato, como la jutía carabalí, que sólo vive en el estrato más alto del bosque, pero otras muchas especies se desplazan de un estrato a otro, como el zorzal real, que come del suelo pero descansa en el estrato más alto.

ZONACIÓN EN LA COMUNIDAD.

Conocemos como zonación al cambio progresivo del aspecto de una comunidad referido a una horizontal. Es decir, en una zonación se distinguen franjas (zonas) dentro de la biota.

Un ejemplo de zonación lo constituyen las zonas litorales y los arrecifes de corales en barreras, muy común en nuestras costas. En estos últimos se distinguen las siguientes zonas:

- a) La orilla.
- b) La laguna con fondo, generalmente, de arena y poblado por la hierba de tortuga (Thalassia).
- c) El talud interior, donde se encuentran las especies de coral más delicadas, como el cuerno de ciervo.
- d) La meseta arrecifal, en la que abundan las gorgonias (abanicos y látigos de mar).
- e) El talud exterior, protegido por las macizas formas del coral cuerno de alce u orejón que es que recibe todo el embate del oleaje.
- f) La planicie prearrecifal, a veces con formaciones parecidas a mogotes y en donde se repiten la formas coralinas de más débil estructura.

Gracias a la estratificación de las biocenosis, se incrementa el número de hábitats disponibles en una superficie dada, capacitando así a un gran número de especies para que utilicen más eficientemente estos hábitats, y reduce a un tiempo por la competencia entre ellas.

ECOTONO Y PRINCIPIO DE LOS BORDES.

La frontera entre una comunidad y otra, en ocasiones, no es posible de apreciar a simple vista, sino que necesita un análisis, pormenorizado de la biota. En otros casos la susodicha frontera es evidente, como el lindero de un bosque o la orilla de un estanque.

Estas fronteras entre dos comunidades son conocidas con el nombre de ecotonos. En ellos existe una mayor diversidad que ambas comunidades, debido a que en ellos viven especies de ambas comunidades, además de aquellas que son típicas de esas orillas.

A este fenómeno (aumento de la diversidad en el ecotono) se le denomina efecto o principio de los bordes.

DINÁMICA DE LA COMUNIDAD.

Las comunidades se pueden conservar más o menos en equilibrio pero los integrantes en ellas nunca llegan a un completo equilibrio entre sí o con el ambiente físico que los rodea. El ambiente físico está en un constante cambio, y estos pueden producir cambios en las especies caracterizadoras (dominantes) de una comunidad, lo suficientemente importante como para considerar que la comunidad existente ha cambiado por otra. A fin de cuentas el cambio de poblaciones caracterizadoras es casi por definición, un cambio de comunidad. Una cadena de estos cambios progresivos conduce al establecimiento de un tipo de comunidad relativamente estable. Esta concatenación de sustituciones de una comunidad por otra es la que conocemos como **sucesión ecológica**.

Estos cambios se manifiestan tanto en el transcurso de épocas geológicas como en períodos mucho más limitados. La ecología estudia estos últimos en zonas determinadas y dentro de un mismo patrón climático.

Las causas de estos cambios pueden estar en variaciones fisiográficas independientes (modificaciones del drenaje, erosión, etc), pero fundamentalmente se deben a modificaciones producidas por la acción de cada comunidad dentro de su propio ambiente. Ambas causas actúan de forma conjunta frecuentemente.

Algunos ecólogos, más atentos de los problemas energéticos de la comunidad, han planteado que ocurre sucesión en las comunidades siempre que la respiración de estas tenga un valor diferente a su producción. ($P \neq R$)

Dispersión.

Los procedimientos que utilizan los animales y los vegetales para invadir nuevas áreas son muy variados, transporte por corriente de agua y aire, como polizones sobre otros organismos o en el interior de los mismos, etc. Incluyendo la propia locomoción activa de los organismos.

Ecesis, Sere y Comunidad Clímax.

Para que una especie pueda realizar la invasión de un área no sólo puede llegar a ella, sino poder desarrollarse y reproducirse en las condiciones allí existentes. Este establecimiento favorable es el que se conoce con el nombre de *ecesis*.

La sucesión conjunta de comunidades que se sustituyen una u otra en área determinada se designan como *sere*, mientras que las comunidades transitorias que componen al *sere*, se denominan etapas serales. La comunidad de manifiesta estabilidad que se asienta al final del *sere* se llama comunidad clímax.

Esta comunidad clímax: se considera estable, pero esta estabilidad es en un relativo corto plazo, ya que como es lógico en ella operan mecanismos evolutivos que son objetos de estudio de los evolucionistas y no de los ecólogos.

A manera de conclusiones podemos afirmar que una biocenosis cambia con el tiempo. Si se parten de un área virgen, como una roca desnuda, una isla volcánica o un campo de cultivo abandonado, puede observarse y seguirse una sucesión ecológica de comunidades, cada vez más complejas, en el sentido de una mayor interrelación entre sus miembros y una mayor cantidad de individuos por unidad de área.

No siempre, sin embargo, una sucesión comienza en un área virgen. Cuando una vegetación primaria es destruida o profundamente modificada, como por ejemplo una tala excesiva, un incendio, u pastoreo intensivo o una roturación, se puede desarrollar también aquí, a partir del momento en que el agente destructor es eliminado, una sucesión de comunidades.

En nuestros campos y ciudades tenemos muchos ejemplos de sucesiones. Un solar yermo en una cuadra de una ciudad por ejemplo, después de continuados chapeos, puede desarrollar una sucesión de biocenosis, donde las especies de hierbas, arbustos y animales van a cambiar continuamente en cuestiones de meses. En el campo, la desecación de las pequeñas lagunas constituyen un ejemplo clásico de sucesión ecológica, y los montes de pinos también sufren sucesiones, pero de duración mucho más larga (Fig.8.8).

¿Qué produce las sucesiones?

Todas las especies en la naturaleza, tienen un gran poder reproductivo, y muchas de ellas, unido a esto, tienen un gran poder de dispersión. Al tener esto en mente y considerar el gran número de especies que viven en nuestro planeta, resulta difícil pensar que en las áreas vírgenes o biocenosis modificadas, es decir, los lugares de inicio de las sucesiones ecológicas, permanezcan mucho tiempo vacío.

Ellos inmediatamente resultarán colonizados por estas especies pioneras, y se formarán en el lugar antes muerto o con escasez de vida, una activa biocenosis. Pero los organismos también modifican las condiciones de su propio hábitat, hasta tal punto que llega un momento en que las especies pioneras ya no pueden tolerarlas y ceden su puesto a otras especies, adaptadas a las nuevas condiciones; se forma ahora una nueva biocenosis, que inexorablemente también cambia el hábitat y prepara el terreno a la siguiente biocenosis.

Consideremos por ejemplo, un bosque joven con determinadas especies de plantas; aquí hay poca sombra y humedad, y las condiciones de alimento y protección son escasas. Al crecer, estas plantas extraen materiales del suelo y lo devuelven cuando mueren, pero con una diferente composición; el humus se va acumulando, el pH del suelo cambia, la humedad se modifica, etc. Estas nuevas condiciones con el tiempo, permiten el crecimiento de más árboles y de nuevas especies que producen más sombra, mayor humedad, y condiciones nuevas de alimento y protección. Nuevos tipos de animales encuentran ahora más convenientes las nuevas condiciones, mientras que las formas antiguas pueden ser eliminadas.

A la larga, en el área se favorece el desarrollo de algunas especies diferentes de aquellas que habían predominado hasta entonces y queda constituida una nueva biocenosis, que repetirá el proceso dentro de un tiempo.

¿Hasta cuándo perduran los cambios en una sucesión ecológica?

Hoy se conoce que, a través de situaciones intermedias más o menos numerosas, se pasa de la biocenosis pionera a una biocenosis Terminal más o menos fluctuante, con la máxima

cantidad de individuos por área, que se alcanza en condiciones definidas de clima y suelo. A esta biocenosis en equilibrio se le denomina clímax y casi siempre es más estable, compleja y diversa que las biocenosis que le precedieron. (Fig. 8.9)

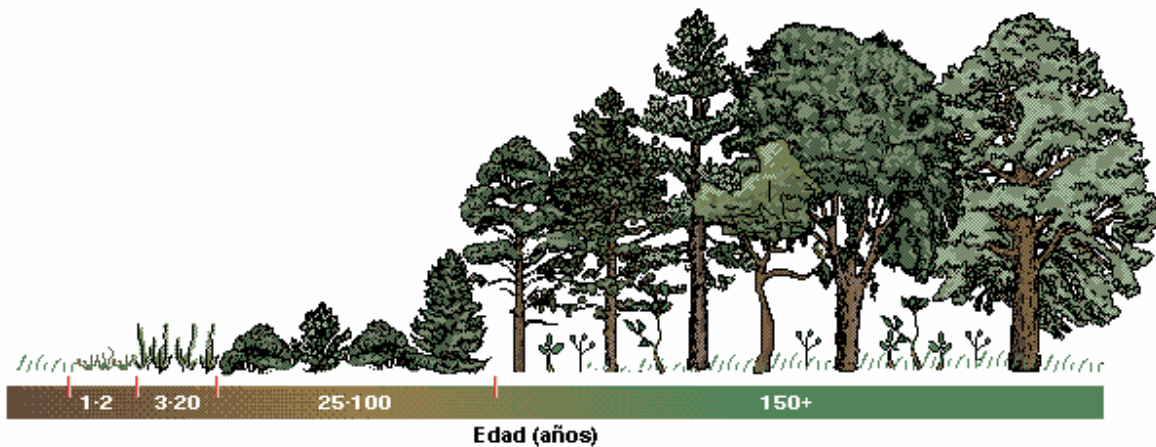


Fig. 8.8: Sucesión de una comunidad vegetal

El proceso conocido como sucesión conduce a la formación de bosques, la comunidad clímax. Un terreno devastado por el fuego o aclarado con fines industriales o agrícolas puede recobrar su vegetación con relativa rapidez en ausencia de erosión. En los primeros años de recuperación, la tierra desnuda pasa a ser una pradera poblada por especies oportunistas que toleran las condiciones ambientales de desierto. Pronto, los arbustos y otras plantas más competitivas se entremezclan y llegan a dominar. Los retoños de árboles comienzan a crecer y a finales del primer siglo un bosque de coníferas ocupa el área. En la sombra del sotobosque se forma un nuevo ambiente en el que, después de medio siglo, los retoños de otros tipos de árboles pueden desplazar a los primeros. En este ejemplo, la comunidad clímax está dominada por caducifolias.

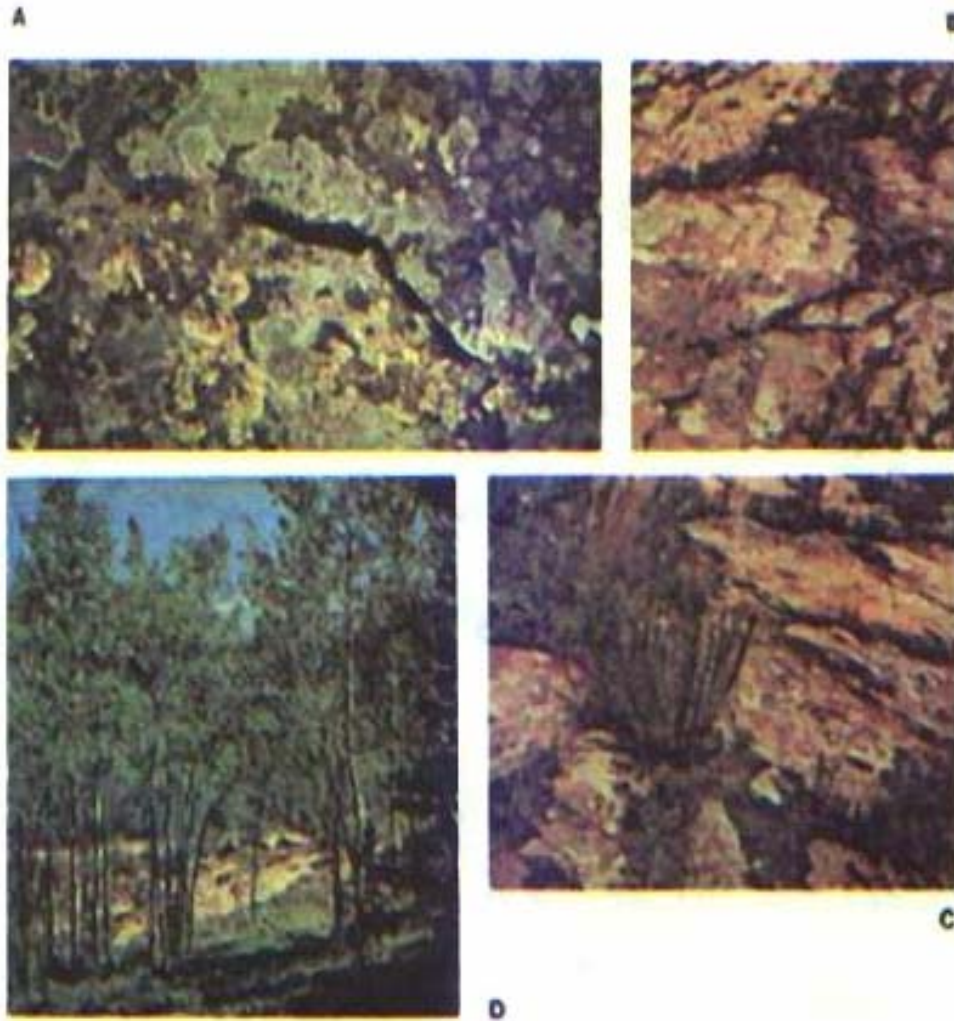


Fig. 8.9 Sucesión Ecológica de comunidades sobre una roca. A, inicio de una comunidad de líquenes. B, comunidad de musgos que sucede a la de líquenes. C, helechos y plantas con semillas desplazan a los musgos. D, la sucesión continúa hasta que se forma una comunidad representada por un bosque, aunque para ello deben transcurrir centenares de años

10

INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD DEL HOMBRE EN LA NATURALEZA.

El hombre es un organismo más, entre los miles que pueblan nuestro planeta, como ellos, es un producto de la evolución orgánica, pero un producto muy especial. El trabajo consciente, hizo posible que el hombre se situara como único en su clase dentro de la evolución, y su desarrollo es modelado, además de por las leyes biológicas, por las leyes del desarrollo social, descubiertas por Marx y Engels.

Precisamente por esta peculiaridad del hombre, aunque el mismo es un organismo, y como tal está sometido a todas las interacciones ecológicas que hemos estudiado en los capítulos anteriores, él puede modificar de manera consciente muchas de dichas interacciones, gracias al desarrollo de la ciencia y la técnica, promovida a su vez por el desarrollo de las relaciones entre las clases sociales de las sociedades humanas.

El hombre como organismo, no está exento de la relación ecológica que denominamos parasitismo, pero el desarrollo de las ciencias médicas (condicionado a su vez por el desarrollo social) puede atenuar y aún eliminar muchos de los efectos perjudiciales de esta interacción ecológica.

Las sociedades humanas, desde el mismo momento de su aparición, tuvieron que interactuar con el ambiente donde vivían, para extraer del mismo los recursos necesarios (alimento, energía, ropa, calzado, medicamento, alojamiento) para su ***supervivencia y desarrollo***. Esta interacción, sin embargo, el hombre la llevaba a cabo a través del trabajo. En una sabana africana de las edades prehistóricas, los leones adaptaron por selección natural, su sistema osteo – muscular, dentario, auditivo, etc., a las presas de herbívoros que le servían de alimento. En esas mismas sabanas, los hombres primitivos trabajaron la piedra para hacer herramientas con las cuales cazar a dichos herbívoros.

La interacción de las sociedades humanas con la naturaleza, como todo proceso, tuvo un desarrollo, cuya característica fundamental ha sido que a medida que se hacían más complejas las relaciones entre las clases sociales más intensa se hacía la acción del hombre sobre la naturaleza. Veamos en detalle dicho desarrollo:

- a) **El hombre prehistórico.** Las relaciones del hombre prehistórico con la naturaleza, específicamente con las biocenosis donde vivían los grupos sociales, fue al inicio una relación ecológica de **predación**, es decir, el hombre era un cazador – recolector, y como tal, al alimentarse de otras especies, al cazarlas o tomar sus frutos y semillas, les causaba un cierto perjuicio. Pero insistimos, a diferencia de un lobo o un pájaro granívoro, el hombre cazaba y recolectaba con herramientas hechas por su trabajo consciente.

En las tramas ecológicas de las biocenosis prehistóricas, el hombre realizaba una función determinada o nicho ecológico, como muchas otras especies, pero esa función era bastante compleja, ya que el hombre, al recolectar vegetales, era un consumidor primario; al cazar caballos salvajes, era un consumidor secundario; y al cazar un gran carnívoro, era un consumidor terciario; incluso el hombre prehistórico podía alimentarse de carroña. Todo ello, unido a los cambios estacionales en las especies cazadas y recolectadas, y a los movimientos constantes de los grupos sociales, hacía bastante complejo el papel ecológico humano en aquellos lejanos tiempos.

Sin embargo, el desarrollo de la técnica de caza (principalmente los instrumentos empleados para ella) era tan incipiente, que las consecuencias de la interacción del hombre prehistórico con las biocenosis donde vivía eran las mismas que las del resto de las especies no racionales, y como la de ellas, se encontraba en un equilibrio finamente ajustado.

La aparición de la agricultura, es decir, el surgimiento de los animales domésticos y plantas cultivadas, cambió radicalmente las relaciones del hombre con su ambiente natural.

La existencia de la agricultura permitió al hombre, no sólo cambiar sus relaciones ecológicas, y pasar de una relación de **predación** a una relación **simbiótica**, sino además, de ser un miembro pasivo de la biocenosis pasó a ser un miembro activo, un **“hacedor”** de

comunidades antrópicas (ciudades y campos de cultivos, el ager y la urbe de los ecólogos modernos).

Las relaciones ecológicas del hombre con sus animales domésticos y plantas cultivadas es una relación básicamente simbiótica, ya que ambos grupos se benefician de dicha relación, incluso en las sociedades más primitivas, la dependencia e influencia mutua entre las dos formas (hombre- planta o animal) es vital y muy grande, como ocurre en los lapones y sus renos, y los tibetanos y el **Yack**.

El hecho mismo de poseer rebaños de animales domésticos y extensos campos dedicados al cultivo de sólo una especie de planta de interés exclusivo para el hombre, obligó al mismo a destruir otras biocenosis para poder hacer las suyas, y de una manera intencional (cuando hacía claros en el bosque para sembrar), o no intencional (cuando soltaba sus rebaños en un extenso prado) el hombre comenzó su acción, las más de las veces destructiva, sobre el ambiente natural donde vivía.

b) **El hombre civilizado**. Los éxitos de la agricultura facilitaron enormemente, el advenimiento de las sociedades civilizadas, primero con sus relaciones de clases predominantes, propietario – esclavo en la edad antigua; después con la de señor feudal- siervo en la edad media; hasta llegar a las relaciones actuales capitalista – obrero de las sociedades burguesas; y la ruptura de dichas relaciones de explotación en los países socialistas.

A lo largo de toda esta historia, el hombre mejoraba cada vez más sus instrumentos de trabajo, con los cuales podía explotar más eficiente a la naturaleza y podía perfeccionar más sus ecosistemas. Aun sin proponérselo, la tendencia del hombre en este aspecto, fue la simplificación máxima de sus comunidades antrópicas.

Al eliminar zonas boscosas enteras para sembrar sólo un tipo de planta, el hombre simplificó enormemente las tramas ecológicas en esas áreas, las hizo más productivas para él, pero a un tiempo, para mantener tal producción, debía de gastar enormes recursos, para combatir las plagas, colectar la cosecha, irrigar, etc. La civilización permitió al hombre diversificarse

aún más en su alimentación, convertirse en vegetariano estricto en muchos lugares, y explotar con más eficiencia los recursos del mar. A un tiempo, los avances de la medicina permitieron al hombre liberarse de una enorme cantidad de especies parásitas y patógenas.

¿Por qué la simplificación de las comunidades antrópicas, engendra un mayor costo de su mantenimiento?

Si recordamos las tramas ecológicas tan complejas de las biocenosis naturales, comprenderemos enseguida que precisamente esa complejidad, producida a través de millones de años de evolución, le confiere estabilidad al sistema, de tal modo que el mismo puede mantenerse, aun cuando ocurren cambios apreciables.

Por ejemplo, en una comunidad antrópica relativamente simplificada, como un campo de maíz, se ofrecen excelentes oportunidades para aquellos insectos que devoran esta planta, los cuales en las comunidades naturales, al formar parte de una intrincada trama, no son abundantes. En el campo de maíz, muchos de los controladores de dichos insectos no existen, y esto, unido a la abundancia del alimento, hace que las poblaciones de estos parásitos se incrementen en grandes cantidades, y se conviertan en una plaga que es necesario combatir.

La última formación social con una relación de explotación, la capitalista, aún presente en muchos países, favoreció el impetuoso avance de la técnica y la ciencia y en ellas, el de un mayor dominio del hombre sobre la naturaleza.

Pero en una sociedad dividida en clases explotadora y explotada, la relación con la naturaleza es puramente de rapiña. No se destruyeron nuestros hermosos bosques para sembrar caña con el fin de alimentar a la población hambrienta, sino con el fin de lucrar a unos pocos terratenientes, que tenían en sus manos el dominio económico de este cultivo.

Para el capitalista, el ambiente es una fuente de materia prima de la que extrae sin ningún miramiento cuanto puede, sin pensar que el recurso que está utilizando se agotará o no, y como esto afectará a las futuras generaciones.

A su vez, las masas explotadas, al no tener recursos adecuados para su subsistencia, también acuden a la naturaleza, y al no poseer una orientación adecuada, muchas veces consumen los recursos hasta el agotamiento, ya que no les queda otra alternativa.

Así se destruyeron los bellos montes de cedros del Líbano; se agotó la plata de las minas de Potosí, en Perú; se cazó hasta casi total exterminio al bisonte de Norteamérica; se erosionaron los suelos de grandes extensiones continentales; se destruyeron o alteraron casi todos los bosques naturales; y se cazaron indiscriminadamente, guacamayos, cotorras, manatíes, jutías y muchos otros componentes de nuestra fauna.

El advenimiento del siglo XX marcó el apogeo del desarrollo científico y técnico de la humanidad y tanto fue así que en el mismo se originó la llamada **revolución científico – técnica**, que realmente revolucionó nuestras relaciones con la naturaleza. Los logros de la ciencia y la técnica en este siglo, permitieron al hombre liberarse definitivamente de un sinnúmero de enfermedades; multiplicar enormemente el arsenal de los productos químicos plaguicidas, que aseguraban mejores cosechas, científicamente seleccionadas; incrementar con nuevas artes, el viejo oficio de la pesca; crear métodos más rápidos y económicos de extracción de minerales, madera y otros productos; construir de forma rápida centros urbanos; embalsar el agua; evitar la erosión con cultivos adecuados; y cientos de logros más, que trajeron como consecuencia que el impacto del hombre sobre su ambiente fuera tan drástico, que se creara una verdadera crisis ecológica a nivel mundial, la que en la actualidad afecta, en mayor o menor grado, a todos los países del mundo.

Según Vicente Berovides en Ecología Ciencia para Todos, los tres problemas básicos de esta crisis ecológica, con los que se enfrenta la humanidad actual son:

- a) Explosión demográfica.
- b) Agotamiento de los recursos naturales.
- c) Contaminación del ambiente.

Explosión demográfica.

Con este nombre se hace referencia a la enorme capacidad de incremento que ha adquirido la humanidad actual, motivada por la escasa mortalidad infantil, alta probabilidad de supervivencia de una persona de los tiempos modernos, logros obtenidos básicamente por los avances de las ciencias médicas en todo el mundo.

Hace 8 000 a.n.e, la población humana de cazadores y recolectores de productos naturales, no superaba los 5 000 000. Con el desarrollo de la agricultura y la ganadería, este número empezó a incrementarse, hasta llegar a unos 200 000 000 al comienzo de nuestra era. En 1650, ya existían sobre la tierra unos 500 000 000 de habitantes. Desde esta fecha en adelante, se logra un enorme salto, gracias al progreso de las ciencias, que mejoró el ambiente en cuanto a erradicación de enfermedades y aumento de alimentos, y para 1950 la población del globo alcanzó la cifra de 2 400 000 000. Hasta 1969 la población del mundo se duplicaba cada 37 años y en la actualidad este intervalo se ha acortado.

Si recordamos lo que aprendimos sobre el crecimiento de las poblaciones en capítulos anteriores, podríamos preguntarnos, ¿hasta dónde crecerá la población humana?, ¿será ese el número adecuado para los recursos existentes? Estas y muchas otras interrogantes surgen al analizar el crecimiento de la humanidad actual.

Con respecto a este problema hay dos hechos indiscutibles:

En la actualidad, la humanidad está recorriendo la fase ascendente de la curva de un crecimiento sigmoide, que deberá estabilizarse pronto, para llegar al número límite que pueden soportar los recursos naturales (y aquí también humanos) del ambiente.

Aún no se ha llegado a este nivel, y ya la población humana, por su enorme número, pasa hambre en muchos lugares.

El primer problema es un reto al hombre, el cual con su enorme poder sobre la naturaleza, conferido por la ciencia y la técnica, puede hacer habitables muchas regiones del globo que ahora no lo son (tundras, desiertos, la Antártida) y así alargar enormemente el tiempo de

arribo al límite, tiempo para el cual ya quizás los vuelos interplanetarios permitan habitar nuevos mundos.

El segundo problema nos afecta más actualmente, y un simple cálculo y análisis de la situación social nos dará la respuesta.

Las necesidades mínimas anuales de la población humana, en lo que se refiere a proteínas, son del orden de 67 700 000 t anuales. Estas necesidades parecen quedar satisfechas por los 102 000 000 t que la biosfera produce anualmente, pero ocurre que la distribución de esta producción no es equitativa; un habitante de un país desarrollado toma diariamente 90 g de proteínas mientras que un individuo de un país en vías de desarrollo, consume únicamente 58 g al día. Evidentemente, las causas del hambre son del orden económico y social, y los países capitalistas explotadores propician y tratan de mantener estas causas, al explotar de una manera rapaz a los países en vías de desarrollo que no han logrado su independencia económica.

Agotamiento de los recursos naturales.

Con el surgimiento de la revolución científico – técnica, la utilización de los recursos naturales se hizo tan intensa, que muchos de ellos comenzaron a agotarse, a nivel mundial o local. Entre estos recursos, los afectados principalmente y que están relacionados con la ecología, son el suelo, el agua, la flora y la fauna.

En las comunidades naturales, el suelo se encuentra protegido por el manto de vegetación, y actúa como una esponja retenedora del agua de lluvia, la que puede filtrarse hacia los depósitos subterráneos, y desplazarse hacia los ríos. Si esta cobertura vegetal es eliminada, el agua corre por las pendientes en lugar de quedar retenida, y arrastra con ella parte del suelo. Esto también puede ocurrir cuando se analiza un cultivo de forma abusiva o cuando se lleva a cabo el sobrepastoreo. En todos los casos, la consecuencia es la misma: la erosión de la capa del suelo, con su humus y su edafón (flora y fauna característica), lo cual deja al descubierto la roca madre. Este suelo demorará siglos en volver a constituirse.

El hombre, desde sus orígenes, ha erosionado probablemente tantas hectáreas de suelo como las que existen aún en el mundo. Grecia, que en la antigüedad fue una nación próspera con verdes montes e inmensos pastos, es actualmente una región empobrecida, con colinas desnudas y suelos rocosos. En China, país superpoblado, los suelos han perdido su fertilidad, y el 25% son erosionados al verterse anualmente al río Amarillo, 2 500 millones de toneladas de **loess** amarillento.

Pero los suelos no solo se pierden por el uso irracional que el hombre hace de ellos; también pueden empobrecerse al perder nitrógeno, fósforo, potasio o calcio, salinizarse y contaminarse.

Algo similar a lo que ocurre con el suelo, sucede con el agua. Todos conocemos muy bien la importancia vital de este elemento en las comunidades naturales. El agua dulce existe en el ambiente terrestre en dos fuentes: subterránea y superficial. Ambas constituyen una valiosa riqueza natural para cualquier país. Si la disponibilidad de agua subterránea disminuye por descenso de la capa freática o disminución de su caudal, la vegetación se empobrece o muere.

Desde hace algunas décadas es evidente que los recursos hídricos del suelo y del subsuelo han disminuido en muchas partes del globo, al descender o agotarse la capa freática y disminuir el caudal de fuentes y manantiales. La causa directa de estos hechos consiste principalmente en la desaparición de la cobertura vegetal, lo cual ocasiona que el agua de las lluvias corra hacia los ríos, sobre la superficie del suelo, sin alimentar las capas subterráneas.

Otras causas de la disminución de los recursos hídricos son: el enorme volumen de las áreas urbanizadas, que con su revestimiento impermeable (carreteras, aeródromos, etc.), impide la infiltración del agua de lluvia; el incremento del consumo de agua con fines, domésticos e industriales, para satisfacer la demanda de una población cada vez más grande y tecnificada; así como el uso del fuego y la crianza de animales domésticos, en poblaciones rurales, lo cual produce, de forma indirecta la desertificación de muchas zonas.

Si unimos a todo esto, el hecho de que periódicamente, la tierra presenta climas secos y húmedos, y que en la actualidad nos encontramos en uno de dichos climas secos, vemos que el problema del agua a nivel mundial es uno de los problemas ecológicos más agudos con que se enfrenta la humanidad.

La **flora y fauna** de las comunidades naturales han sido siempre las más perjudicadas por la acción impensada del hombre.

Especialmente, en los últimos siglos, movido por la necesidad de alimentarse, vestirse y cobijarse, el hombre se ha visto forzado a modificar de modo profundo el ambiente en el que vive y a explotarlo más intensamente. Cada año, el incendio de los bosques o matorrales, para obtener nuevas tierras de cultivo, destruye 2 000 000 t de materia orgánica, que se reincorpora a la atmósfera en forma de CO₂. Cada año el pastoreo excesivo ofrece nuevas tierras a los agentes de la degradación y la erosión.

El método de rapiña para con la naturaleza, practicado por las sociedades capitalistas, es el de explotar el capital que ofrecen las diversas poblaciones de plantas y animales de una comunidad, como productores de materia prima, es decir, tomar enormes cantidades de individuos sin importar las consecuencias, en vez de aprovechar el interés que ofrecen dichas poblaciones, es decir, extraer una cantidad de individuos no superior a la producción de la población, para así tener y mantener el recurso. La explotación despiadada de cualquier comunidad trae como consecuencia la ruptura del equilibrio ecológico de la misma y por consiguiente, la desaparición o disminución a un escaso número, de muchas de las especies que la forman; son precisamente estas especies hoy en día, las que se encuentran en peligro de extinción, y a las cuales hay que proteger urgentemente.

Los bosques de nuestro país son un ejemplo elocuente de lo que acabamos de señalar. En 1812, 90 % de nuestro país estaba todavía cubierto de bosques, en 1959, esa cifra sólo era de 14 %.

En ese intervalo, el desarrollo capitalista de nuestra nación propició el auge de la industria azucarera, y esta causa, entre otras, acabó con gran parte de nuestros bosques, destruidos

para convertirlos en campos de caña, o empobrecidos por la extracción de madera para los ingenios.

Esto trajo como consecuencia a su vez, el empobrecimiento de la fauna; especies forestales como el carpintero real, guacamayo, almiquí, catey, jutía andaraz, paloma de tierra, pitirre real, gavián colilargo, paloma boba, paloma perdiz y cotorra, abundantes en los siglos pasados, hoy se encuentran en peligro de extinción o ya están extinguidos, como el caso del guacamayo.

Los casos mejores documentados de extinción se refieren a mamíferos y aves. En los últimos 50 a han desaparecido de la faz de la tierra más de 75 especies de estos dos grupos, y este ritmo de extinción sigue aumentando. Hace 400 a a tras una especie de ave o mamífero se eliminaba cada 3 a, pero en este siglo ocurre lo mismo sólo en 8 m.

Contaminación.

A causa del rápido crecimiento industrial, la biosfera acumula sustancias químicas indeseables, despedidas hacia la atmósfera y precipitadas sobre los ecosistemas, o se producen alteraciones físicas en la misma, producto también de las grandes industrias, todo lo cuál conduce a la **contaminación o polución** del ambiente por estos agentes. Ver tabla

TABLA

Principales agentes contaminantes con sus fuentes de emisión y efectos.

Agentes	Fuentes	Efectos
Dióxido de carbono	Procesos de combustión de las industrias y calefacción doméstica.	Podría aumentar considerablemente la temperatura de la superficie terrestre.
Monóxido de carbono	Combustiones incompletas de la siderurgia, refinerías de petróleo y vehículos de motor.	Puede afectar la estratosfera.
Dióxido de sulfuro	Centrales eléctricas, fábricas, automóviles.	Agrava las enfermedades del sistema respiratorio, afecta árboles y corroe edificios de piedra caliza.
Óxidos de nitrógeno	Motores de combustión interna, aviones, hornos, incineradores, uso excesivo de fertilizantes, industrias, incendios forestales.	Forma el SMIG (niebla) de las grandes ciudades, causa infecciones respiratorias.
Fosfatos	Detergentes y fertilizantes químicos.	Contaminan lagos y ríos, alteran el equilibrio biológico.
Mercurio	Combustibles fósiles, industria cloro – alcalina, centrales de energía eléctrica, fábricas de	Contamina los alimentos, especialmente los de origen marino, su

	pintura, preparación de pasta de papel.	acumulación afecta el sistema nervioso.
Plomo	Materia antidetonante del petróleo, industrias químicas, plaguicidas.	Afecta las enzimas y altera el metabolismo celular, se acumula en los sedimentos marinos y el agua potable.
Petróleo	Extracción frente a las costas, refinación, accidentes de buques petroleros.	Destruye el plancton, la vegetación y las aves marinas, contamina las playas.
Plaguicidas	Fumigaciones	Tóxicos para los crustáceos, al ser acarreados por las aguas matan los peces, destruyen insectos útiles, puede producir cáncer.
Radiación	Producción de energía atómica, fabricación y pruebas de armas nucleares y atómicas, buques de propulsión nuclear.	A partir de ciertas dosis puede ocasionar tumores malignos y mutaciones.

Son comunes ahora en nuestra biosfera, agentes químicos tóxicos en altas concentraciones, como el DDT, mercurio, plomo SO_2 , NO_2 y CO .

Estas contaminaciones químicas afectan la atmósfera, el suelo, las aguas dulces y los océanos.

Los daños que ellos causan en las comunidades pueden ser muy variados, desde simples perturbaciones del crecimiento y disminución de la producción, hasta la quemadura y combustión total de la vegetación, o desaparición de la flora y fauna.

Los contaminantes físicos más importantes son: **temperatura, ruidos y radiaciones ionizantes**. Las industrias que utilizan sistemas de refrigeración (como las centrales nucleares) pueden elevar en varios grados la temperatura del agua de los ríos, y con ello el grado de humedad de los valles que éstos cruzan, con efectos inesperados sobre la biocenosis.

Los ruidos de martillos, explosiones, aviones, etc., siempre en aumento, producen enfermedades diversas en el hombre. Las radiaciones ionizantes son producto de las explosiones atómicas (bomba A) y nucleares (bomba H); dichas bombas producen elementos radiactivos (radioisótopos) que emiten las radiaciones ionizantes, peligrosas para los organismos vivos. Los radioisótopos se diseminan por las comunidades y se introducen en las cadenas alimentarias a través de las plantas, que las toman del suelo, donde pueden acumularse, localmente, en ciertos órganos en dosis peligrosas, tanto para el propio organismo como para su consumidor.