

**Eugene P. Odum**

Profesor Alumni Foundation de Zoología  
University of Georgia  
Athens, Georgia

# ECOLOGIA

Traducido al español por el  
SR. CARLOS GERHARD OTTENWAEELDER

tercera edición



NUEVA  
EDITORIAL

**INTERAMERICANA**

S. A. de C. V.

México—Argentina—España—Brasil—Colombia—Ecuador—Perú—Uruguay—Venezuela

## Capítulo 2

# Principios y conceptos relativos al ecosistema

### 1. CONCEPTO DEL ECOSISTEMA

#### Enunciado

Los organismos vivos y su ambiente inerte (abiótico) están inseparablemente ligados y actúan recíprocamente entre sí. Cualquier unidad que incluya la totalidad de los organismos (esto es, la "comunidad") de un área determinada que actúan en reciprocidad con el medio físico de modo que una corriente de energía conduzca a una estructura trófica, una diversidad biótica y a ciclos materiales (esto es, intercambio de materiales entre las partes vivas y las inertes) claramente definidos dentro del sistema es un sistema ecológico o *ecosistema*. [Desde un punto de vista] trófico (de *trophe* = alimento), el ecosistema tiene dos componentes (que por lo regular suelen estar parcialmente separados en el espacio y el tiempo), a saber: un *componente autotrófico* (autotrófico = que se nutre a sí mismo), en el que predominan la fijación de energía de la luz, el empleo de sustancias inorgánicas simples, y la

construcción de sustancias complejas, y un *componente heterotrófico* (heterotrófico = que es alimentado por otros), en el que predominan el empleo, la readaptación y la descomposición de materiales complejos. Resulta útil para fines descriptivos reconocer los siguientes elementos como constitutivos de: 1) *sustancias inorgánicas* (C, N, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, etc.) que intervienen en los ciclos de materiales; 2) *compuestos orgánicos* (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, sustancias húmicas, etc.) que enlazan lo biótico y lo antibiótico; 3) *régimen climático* (temperatura y otros factores físicos); 4) *productores*, organismos autotróficos, en gran parte plantas verdes, capaces de elaborar alimentos a partir de sustancias inorgánicas; 5) *consumidores* (o macroconsumidores), esto es, organismos heterotróficos, sobre todo animales, que ingieren otros organismos o materia orgánica formada por partículas, y 6) *desintegradores* (microconsumidores, sáprobos o saprófitos), organismos heterotróficos, sobre todo bacterias y hongos, que desintegran los compuestos complejos de protoplasmas muertos,

absorben algunos de los productos de descomposición y liberan substancias simples susceptibles de ser utilizadas por los productores juntamente con substancias orgánicas, que proporcionarán acaso fuentes de energía o podrán ser inhibitoras o estimuladoras para otros componentes bióticos del ecosistema. Los párrafos de 1 a 3, inclusive, comprenden los componentes abióticos, y los núms. 4 a 6 constituyen la *biomasa* (= peso vivo).

Otra subdivisión útil en dos categorías sugerida por Wiegert y Owens (1970) es como sigue: *biófagos*, organismos que consumen otros organismos vivos, y *saprófagos*, organismos que se alimentan de materia orgánica muerta. Según se explicará a continuación, esta clasificación tiene en cuenta el lapso de tiempo entre el consumo de materia viva y de materia muerta.

Desde el punto de vista funcional, un ecosistema puede analizarse apropiadamente en términos de lo siguiente: 1) de los circuitos de energía; 2) de las cadenas de alimentos; 3) de los tipos de diversidad en tiempo y espacio; 4) de los ciclos nutricios (biogeoquímicos); 5) del desarrollo y la evolución, y 6) del control (cibernética).

El ecosistema es en ecología la unidad funcional básica, porque incluye tanto organismos (comunidades bióticas) como un ambiente abiótico, cada uno de los cuales influye sobre las propiedades del otro, siendo necesarios ambos para la conservación de la vida tal como la tenemos en la tierra. Un lago es un ejemplo de ecosistema.

#### Explicación

Toda vez que ningún organismo puede subsistir por sí mismo o sin un medio ambiente, nuestro primer principio podrá ocuparse perfectamente del aspecto de la "relación recíproca" y del principio de "integridad" que forman parte de nuestra definición básica de la ecología en el capítulo 1, sección 1. El término de ecosistema fue propuesto primero por el ecólogo inglés A. G. Tansley, en 1935, pero el concepto no es, por supuesto, en modo alguno tan reciente. En efecto, alusiones a la idea de la unidad de los organismos y el medio ambiente (así como de la del hombre y la naturaleza) pueden encontrarse en la historia escrita tan atrás como se nos antoje mirar. Sin embargo, no fue hasta fines del siglo XIX que empezaron a aparecer definiciones formales

y, en forma curiosa, paralelamente en la literatura ecológica americana, europea y rusa. Así, por ejemplo, Karl Möbius escribía en 1877 (en alemán) acerca de la comunidad de organismos en un arrecife de ostras como de una "biocoenosis" y, en 1887, el americano S. A. Forbes escribió su ensayo clásico sobre el lago como "microcosmo". El ecólogo precursor ruso V. V. Dokuchaev (1846-1903) y su principal alumno G. F. Morozov (que se especializó en la ecología del bosque)\* destacaron mucho el concepto de la "biocoenosis", término que los ecólogos rusos ampliaron luego en "geobiocoenosis" (véase Sukachev, 1944). Así, pues, cualquiera que fuera el medio (de agua dulce, marino o terrestre), los biólogos empezaron a reflexionar deliberadamente, a fines del siglo pasado y principios del presente, en la idea de la unidad de la naturaleza. Algunos otros términos que se han utilizado para expresar el punto de vista holístico son los de holocoen (Friederichs, 1930), biosistema (Thienemann, 1939) y cuerpo bioenert (Vernadsky, 1944). Como ya se indicó en el capítulo 1 (página 3), *ecosistema* es, como cabría esperar, el término preferido en inglés, en tanto que *biogeocoenosis* (o *geobiocoenosis*) es el que prefieren los autores de idiomas germánicos o eslavos. Algunos autores han intentado efectuar una distinción entre las dos palabras, pero, por lo que se refiere a este libro, los dos se consideran como sinónimos. "Ecosistema" posee la gran ventaja de ser una palabra corta y de fácil asimilación en cualquier idioma.

El concepto del ecosistema es y debe ser vasto, siendo su principal función en el pensamiento ecológico la de subrayar las relaciones forzosas, la interdependencia y las relaciones causales, esto es, el acoplamiento de componentes para formar unidades funcionales. Un corolario de esto es que, puesto que las partes son inseparables, desde el punto de vista funcional, del todo, el ecosistema es el nivel de organización biológica más apropiado para la aplicación de las técnicas de análisis de sistemas, sujeto del que nos ocuparemos en el capítulo 10.

\* La obra principal de Dokuchaev, reimpressa en Moscú en 1948, fue *Uchenie o zonax prirody* (Enseñanza acerca de las zonas de la naturaleza). El libro principal de Morozov es *Uchenie o lese* (Enseñanza acerca de los bosques). Agradecemos al Dr. Roman Jakobson, profesor de idiomas eslavos en la Universidad de Harvard, la información sobre estas dos obras, poco conocidas en los Estados Unidos.

Los ecosistemas pueden concebirse y estudiarse en diversos tamaños. Un estanque, un lago, una extensión de bosque, inclusive un cultivo de laboratorio (microecosistema) proporcionarán acaso una unidad apropiada de estudio.

A condición que los componentes principales estén presentes y operen juntos para producir alguna clase de estabilidad funcional, siquiera durante breve tiempo, el conjunto podrá considerarse como un ecosistema. Un charco temporal, por ejemplo, constituye un ecosistema perfectamente definido, con organismos y procesos característicos, pese a que su existencia activa esté limitada a un periodo breve de tiempo. Las consideraciones prácticas que intervienen en la delimitación y la clasificación de los ecosistemas se examinarán más adelante.

Una de las características universales de todos los ecosistemas, ya sean terrestres, de agua dulce o marinos, o tanto si están administrados por el hombre (agricultura, etc.) como no, es la acción recíproca de los elementos autotróficos y heterotróficos entre sí, tal como se ha expuesto en el enunciado. Con mucha frecuencia, estas funciones están parcialmente separadas en el espacio, por cuanto están estratificadas una sobre otra, teniendo lugar el mayor metabolismo autotrófico en la capa superior del "cinturón verde", donde se dispone de energía lumínica, y ocurriendo el metabolismo heterotrófico más intenso en el "cinturón pardo", abajo, en el que la materia orgánica se acumula en los suelos y sedimentos. Por otra parte, las funciones básicas están también parcialmente separadas en el tiempo, por cuanto puede darse un plazo considerable en el empleo heterotrófico de los productos de los organismos autotróficos. Por ejemplo, la fotosíntesis predomina en la bóveda del ecosistema de un bosque. Ahora bien, solamente una parte, y aun a menudo una parte muy pequeña, del producto de la fotosíntesis es utilizada inmediata y directamente por la planta y por los herbívoros y parásitos que se alimentan de follaje y de la madera tierna; una buena parte del material sintetizado (en forma de hojas, madera y alimento almacenado en semillas y raíces) acaba llegando a la cama de desechos y al suelo, los cuales constituyen juntos un sistema heterotrófico perfectamente definido.

Esta separación en espacio y tiempo conduce a una clasificación conveniente de los circuitos de energía en: 1) circuito de *pastoreo*, en el que el término *pastoreo* se refiere al consumo

directo de plantas vivas o partes de plantas, y 2) circuito del *detritus orgánico*, que comprende la acumulación y descomposición de materiales muertos. El término *detritus* (= producto de desintegración, del latín *deterere*, desgastar) está tomado de la geología, en donde se le utiliza tradicionalmente para designar los productos de la desintegración de las rocas. Tal como se emplea en este texto, "detritus" se refiere, a menos que se indique otra cosa, a toda la materia orgánica en partículas que se produce en la descomposición de organismos muertos. *Detritus* parece el más apropiado de diversos términos que se han propuesto para designar este eslabón importante entre los mundos vivo e inorgánico (véase Odum y de la Cruz, 1963). Hablaremos más extensamente de los circuitos de energía en el próximo capítulo, pero convendrá tal vez echar ya una mirada preliminar, en este lugar, a la figura 3-8, pág. 71.

La división ulterior del ecosistema en seis "componentes" y seis "procesos" (tal como se enumeran en el Enunciado) proporciona una clasificación ecológica conveniente, aunque algo arbitraria, en la que los primeros destacan la estructura y los segundos la función. Si bien se requieren a menudo métodos distintos para delinear la estructura, por una parte, y medir las proporciones de función, por la otra, el objetivo final del estudio es, a cualquier nivel de la organización biológica, comprender las relaciones entre estructura y función. Los ocho capítulos que siguen están dedicados a esta tarea, en relación con los niveles ecológicos.

Los componentes abióticos que limitan y controlan los organismos se examinarán en detalle en el capítulo 5, y el papel de los organismos en el control del medio abiótico se verá más adelante en este capítulo. A título de principio general podemos señalar que, desde el punto de vista funcional, las partes vivas y las partes no vivas de los ecosistemas están tan entretreídas en la textura de la naturaleza, que resulta difícil separarlas (de ahí las clasificaciones operativas que no hacen una distinción estricta entre biótico y abiótico). La mayoría de los elementos vitales (C, H, O, N, P, etc.) y de los compuestos orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, etc.) se encuentran ambos no sólo dentro y fuera de los organismos vivos, sino que se hallan en un estado de flujo constante entre estados vivos y no vivos. Hay algunas sustancias, sin

embargo, que parecen ser exclusivas de uno u otro estado. El material de reserva de alta energía ATP (trifosfato de adenosina), por ejemplo, sólo se encuentra al interior de las células vivas (o su existencia fuera es, al menos, muy transitoria), en tanto que las *substancias húmicas*, que son productos finales resistentes de la descomposición (véase p. 30), no se encuentran nunca en las células, pese a que sean un componente importante y característico de todos los ecosistemas. Otros complejos bióticos clave, como el material genético DNA (ácido dioxirribonucleico) y las clorofilas, se encuentran ambos dentro y fuera de los organismos, pero se hacen no funcionales fuera de la célula. Según veremos más adelante, la medición cuantitativa de ATP, humus y cloro-

fila sobre una base de área o de volumen proporciona índices de biomasa, descomposición y producción respectivamente.

Pueden concebirse los tres componentes vivos (productores, fagótrofos y saprótrofos) como los tres "reinos funcionales de la naturaleza", puesto que se basan en el tipo de nutrición y la fuente de energía utilizados. Estas categorías ecológicas no deben confundirse, con todo, con los reinos taxonómicos, pese a que existan entre ellos ciertos paralelismos, según lo ha señalado Whittaker (1969) y puede verse en la figura 2-1. En el arreglo de Whittaker de los fila en un "árbol de familia" evolutivo, los tres tipos de nutrición se encuentran en la Monera y la Protista, en tanto que las tres ramas superiores, esto es,

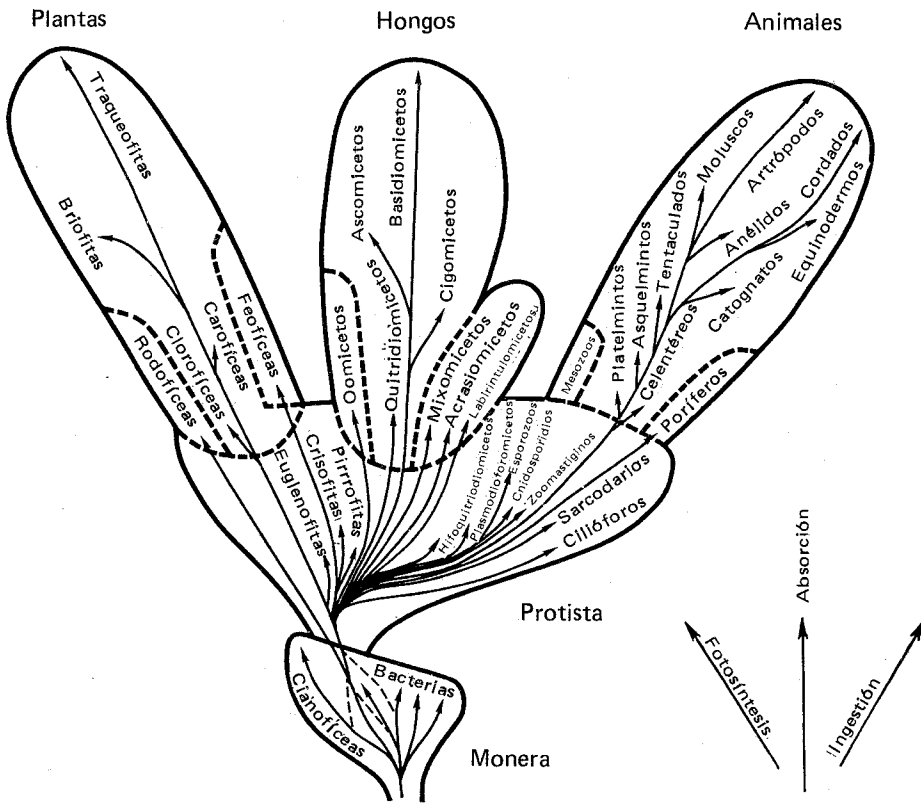


FIG. 2-1. Sistema de cinco reinos basado en tres niveles de organización: el procariótico (reino Monera), el eucariótico unicelular (reino Protista) y el eucariótico multicelular y multinucleado. En cada nivel hay divergencia con respecto a tres modos principales de nutrición: el fotosintético, el absorbente y el de ingestión. Muchos textos de biología y microbiología enumeran cuatro reinos, combinando los "Protistas inferiores" (esto es, Moneras) con los "Protistas superiores" para formar los "Protistas". Las relaciones de evolución están muy simplificadas, especialmente en los Protistas. Solamente se consignan los fila animales mayores, en tanto que se omiten los fila de las bacterias. Los Celentéreos comprenden los Cnidarios y los Ctenóforos, y los Tentaculados comprenden los Briozoos, los Braquípodos y los Forónidos y, en algunos tratados, los Entoproctos. (De Whittaker, 1969.)

las "plantas", los Fungi y los "animales" se especializan como "productores", "absorbentes" e "ingestores" respectivamente. Conviene subrayar que la clasificación ecológica es más bien una clasificación de función que de especies como tales. Algunas especies de organismos ocupan posiciones intermedias en la serie, en tanto que otras son capaces de modificar su modo de nutrición según las circunstancias ambientales. La separación de los heterótrofos en grandes y pequeños consumidores es arbitraria, pero se justifica, en la práctica, a causa de los métodos de estudio tan distintos que requieren. Los microorganismos heterotróficos (bacterias, hongos, etc.) son relativamente inmóviles (enterrados por lo regular en el medio que está siendo descompuesto) y son muy pequeños, con grandes proporciones de metabolismo y renovación. La especialización es más manifiesta bioquímica que morfológicamente; por consiguiente, no podemos por lo regular averiguar su papel en el ecosistema con métodos tan directos como los de observarlos o contarlos. Los organismos que hemos designado como macroconsumidores obtienen su energía por ingestión heterotrófica de materia orgánica en partículas. Estos son en gran parte los "animales" en sentido amplio. Suelen estar morfológicamente adaptados para la busca o la colección activas de alimentos, con el desarrollo, en las formas superiores, de sistemas complicados tanto sensitivo-neuromotores como digestivos, respiratorios y circulatorios. En ediciones anteriores de este texto se designó a los microconsumidores o saprótrofos como "desintegradores", pero estudios recientes han revelado en algunos ecosistemas animales que son más importantes que las bacterias o los hongos en la descomposición de la materia orgánica (véase por ej.: Johannes, 1968). Por consiguiente, parece preferible no designar organismo particular alguno como "desintegrador", sino considerar más bien la "descomposición" como un proceso que comprende la totalidad de los procesos tanto bióticos como abióticos. Véanse estudios generales complementarios de los ecosistemas en el ensayo clásico de Forbes (1887), en Tansley (1935), Evans (1956) y Cole (1958). Schultz (1967) y Van Dyne (1969) examinan el concepto desde el punto de vista de la administración de recursos, y Stoddart lo hace desde el punto de vista del geógrafo. Todo estudiante de ecología y, en realidad, todo ciudadano debería leer *Land Ethic* (1949), de Aldo Leopold,

ensayo elocuente y reiteradamente reimpresso sobre la importancia especial del concepto del ecosistema para el hombre. Deberíamos volver a leer asimismo "*Man and Nature*", de George Perkins Marsh, el profeta de Vermont (escrito en 1864 y vuelto a editar en 1965), quien analizó las causas de la decadencia de civilizaciones antiguas y pronosticó un destino similar a la civilización moderna, a menos que el individuo adopte un punto de vista que hoy llamaríamos "ecosistémico" del hombre y la naturaleza.