
PRINCIPIOS Y CONCEPTOS ECOLOGICOS Y ACTIVIDAD HUMANA

*Roberto C. Grana**

Si bien la capacidad del hombre de alterar el ambiente se ha ensanchado, se puede afirmar que las leyes fundamentales de la naturaleza no han sido en modo alguno derogadas.

La ecología ha sido definida de diversas formas:

- Estudio de las relaciones de los organismos o grupos de organismos con su medio.
- Biología de los grupos de organismos y procesos funcionales en la tierra, los mares y el agua dulce.
- Estudio de la estructura y la función de la naturaleza, incluyendo al hombre como parte de ella.

Esta última definición estaría más cerca de nuestra concepción, ya que nosotros consideramos a las poblaciones humanas como componentes de los ecosistemas con sus propias características sociales, económicas, culturales y valorativas espirituales.

* Universidad Nacional de La Matanza.

A mediados del siglo XX, Allen W.C. y otros autores consideran que la ecología carece de una unidad de estudio. En 1935, Arthur George Tansley propuso el término **ecosistema** como objeto de estudio, afirmación que define históricamente a la ecología como una disciplina que logra uno de los rasgos fundamentales de toda ciencia. En la concepción que defendemos, seguimos sosteniendo al ecosistema como el objeto de estudio de la ecología.

1. Ecosistema: componentes y funciones

Por extensión, el ecosistema se define como un conjunto de componentes abióticos y bióticos: sustancias inorgánicas, orgánicas, factores físicos climáticos -temperatura, humedad, radiación lumínica, etc.-, seres autótrofos productores, seres macroheterótrofos consumidores hervíboros, carnívoros y saprófagos y microheterótrofos hongos, bacterias y microorganismos.

Es evidente que para nuestra concepción se hace necesario destacar expresamente el componente humano, que no se agota en lo biótico o en el consumidor heterótrofo, ya que lo humano se distingue de lo biótico-instintivo animal por su formación psicobiótica primaria propiamente humana. Esta formación psicobiótica primaria se vincula con dimensiones que trascienden de lo psicobiótico, como son la teórica-cognitiva y la valorativa espiritual. En consecuencia, la capacidad de conocer, de proyectar la acción, de crear bienes e instrumentos artificiales, de modificar sustancialmente su ambiente en el contexto de la libertad situada y las facultades valorativas y optativas que distinguen a la persona, nos indica diferencias cualitativas profundas con los otros seres. Por lo tanto, las poblaciones humanas son componentes de los ecosistemas con características cambiantes, a un ritmo y velocidad muy superior al que se puede verificar en las especies vegetales y animales, con una alta capacidad creciente de transformación de su ambiente y con la posibilidad de elegir un sentido u otro para su acción, gestión y operación en los ecosistemas.

Asimismo es necesario apuntar que en general las poblaciones animales y vegetales tienen hábitat y nicho ecológico estables dentro de un ecosistema o en zonas de intersección de los ecosistemas, y si bien es cierto que existen especies migrantes en diversos grados, en ningún caso se alcanza la movilidad de las poblaciones humanas y la magnitud de la acción indirecta y lejana de estas poblaciones humanas sobre ecosistemas vecinos o distantes, característica esta última que parece aumentar en progresión geométrica con el avance de la civilización y el desarrollo científico técnico-productivo.

Las funciones en el ecosistema se clasifican en ciclos: de energía, tróficos, tiempo-espaciales, nutricio-biogeoquímicos, de desarrollo y evolución y de control.

Observamos que la participación de las poblaciones humanas produce cambios cualitativos y cuantitativos en cada uno de los ciclos, comprometiendo el reciclaje normal y regular.

La interacción entre los componentes caracteriza la dinámica del ecosistema, interacción que se concreta a través de las relaciones intraespecíficas e interespecíficas. Las relaciones en el interior de las poblaciones humanas son denominadas relaciones sociales, poblaciones humanas que también sostienen relaciones de carácter interespecíficas con otras poblaciones animales y vegetales de las comunidades bióticas.

2. Poblaciones y comunidades

Se define la población como un grupo de organismos de la misma especie que ocupa un lugar determinado en el ecosistema y que como población tiene algunas propiedades que afectan al conjunto de organismos individuales, como son: densidad, natalidad, mortalidad, límites de edad, distribución, potencial biótico, dispersión y forma de desarrollo.

Estas poblaciones tienen un **hábitat** representado por el lugar donde viven o en el espacio físico que ocupan y un **nicho ecológico** que se vincula con el espacio físico que la población ocupa, pero fundamentalmente con la función que dicha población cumple en el ecosistema, como parte de una comunidad biótica. Hay poblaciones afines de diferentes regiones geográficas, debido a que ocupan nichos ecológicos similares; son los llamados **equivalentes ecológicos**; son especies distintas que pueden estar emparentadas taxonómicamente si pertenecen a regiones geográficas cercanas, pero que por lo general son de caracteres taxonómicos diversos cuando ocupan regiones geográficas distantes.

Las poblaciones en zonas geográficas diferentes que poseen antepasados comunes se denominan de especiación alopátrica y de especiación simpátrica cuando son poblaciones con antepasados comunes, que ocupan la misma zona pero que están separadas por factores ecológicos o genéticos.

Sobre el **reloj biológico** que determinaría a las múltiples formas de acoplamiento autopoyético de los diferentes organismos, hay dos teorías: una de ellas señala que este reloj biológico es endógeno y la otra afirma que es exógeno, ya que lo interno es regulado por señales externas del ambiente.

A nuestro entender, esta oposición es una oposición dialéctica en la que intervienen múltiples factores que permiten el **acoplamiento** del organismo al medio a través de la **autopoyesis**, debido a que el organismo posee condiciones internas reguladas al estilo de un reloj y que el medio envía señales materiales energéticas de forma permanente.

Estas condiciones internas se originan en las características genéticas de

la especie, en la historia de adaptación de la población a la cual pertenece y en la experiencia vivencial de cada uno de los organismos. Por tanto, consideramos estéril discutir el carácter endógeno o exógeno del reloj biológico, ya que el acoplamiento autopoyético integra materiales y energía en la reconstrucción permanente del organismo, con capacidades internas innatas y adquiridas para resolverlo.

Lo explicado anteriormente se relaciona con las conductas de los organismos que se clasifican según **patrones de conducta** generales con características propias en cada una de las especies, poblaciones y organismos.

Estos patrones de conducta se clasifican en tropismos, taxismos, reflejos, instintos, pulsiones, aprendizajes y razonamiento. Las formas de conducta menos complejas se integran con las formas superiores, pero estas formas superiores no se dan en las manifestaciones vitales menos complejas.

En la persona, junto a los taxismos reflejos, las pulsiones y el aprendizaje primario, se dan formas superiores valorativo-espirituales y teórico-cognitivas que distinguen y caracterizan el accionar de las poblaciones humanas en su ambiente. Con las posibilidades y peligros que esta mayor independencia y autonomía acarrearán.

La **conducta social** se caracteriza por la manifestación de redes comunicacionales, jerarquías de dominio y aprendizaje y equilibrio entre conductas contradictorias como se dan entre competición y cooperación, agresividad y positividad, agregación y aislamiento, etcétera. Estas conductas sociales no son patrimonio exclusivo de las poblaciones humanas, aunque en ningún caso alcanzan el alto nivel de complejidad que adquieren en las relaciones y comunicaciones interpersonales no mediáticas y mediáticas.

La comunidad biótica se define como la reunión de poblaciones que viven en un área con transformaciones metabólicas acopladas, constituyéndose estas comunidades bióticas en las partes vivas de los ecosistemas. Hay **comunidades bióticas mayores** más autónomas, cuya existencia sólo depende de los ingresos externos de energía y **comunidades bióticas menores** cuya existencia depende en mayor o menor grado de las agrupaciones vecinas. Las comunidades poseen unidad funcional precisa, corriente de energía característica y composición de especies estable, aunque puede haber remplazo de poblaciones sin que se alteren las características principales de esa comunidad.

En cada biocenosis son algunas especies o poblaciones las que tienen mayor influencia en mérito de su número de organismos, tamaño o actividades; son **dominantes ecológicos** aquellas especies o poblaciones que controlan gran parte de la corriente de energía.

El análisis de las comunidades se realiza por zonas y por gradiente. El estudio por zona clasifica los distintos tipos de comunidades y el análisis por gradiente ubica a las poblaciones en un eje ambiental unidimensional

o multidimensional, según eficiente de frecuencia, distribución y similitud.

La diversidad de las especies en la comunidad aumenta por las especies raras no dominantes que están en número mayor. El índice de diversidad de especies resulta de la razón entre el número de especies y los valores de importancia (número de individuos, biomasa, productividad, etc.).

Los esquemas para graficar las comunidades pueden ser:

- a) de estratificación vertical;
- b) de zonación horizontal;
- c) de actividad periódica;
- d) de cadenas y redes de alimentos;
- e) reproductivos;
- f) coactivos de competición, antibiosis, mutualismo, etc.;
- g) estocásticos.

Las zonas de transición o intersección entre dos comunidades (bosque-pradera) se denomina **ecotono**. En estos ecotonos hay organismos pertenecientes a las comunidades que se entrecruzan y propios, con tendencia al aumento de la **biodiversidad** y a la **densidad poblacional** que se denomina **efecto del borde**.

Las interacciones entre las poblaciones de diversas especies, denominadas **relaciones interespecíficas**, se clasifican en relaciones de neutralismo, competición directa o indirecta, amensalismo, parasitismo, depredación, comensalismo, protooperación y mutualismo simbiótico.

Como se puede observar, entre los componentes bióticos de los ecosistemas, productores y consumidores se establecen **relaciones intraespecíficas e interespecíficas** con rasgos de neutralidad, ayuda y explotación. Las relaciones de ayuda unilateral o mutua predominan en las poblaciones de la misma especie y existen en todos los niveles de las relaciones interespecíficas, lo que desautoriza a los antiguos y nuevos defensores del darwinismo social, obsesionados e interesados en trasladar a la sociedad humana las formas más agresivas de la competencia, la depredación y el parasitismo.

Las poblaciones humanas se organizan en grupos sociales primarios y secundarios que se diferencian por ser endogrupos o exogrupos, grupos de pertenencia o referencia, grupos sujetos o sometidos, etcétera. La red comunicacional interactiva entre los grupos sociales constituye las comunidades culturales unidas por fuertes lazos afectivos y distintas formas de asociaciones normativas.

Aunque resulta obvio, conviene subrayar la diferencia significacional entre la comunidad biótica y la comunidad humana. Es evidente que en nuestra época, en las relaciones de las poblaciones humanas con otras poblaciones del ecosistema, las poblaciones humanas son las dominantes ecológicas excluyentes, con las lógicas implicaciones que a lo largo de

este trabajo venimos analizando.

Las comunidades y los ecosistemas se desarrollan en cuatro tipos de hábitat más generales: marino, estuarino, de agua dulce y terrestre. Cada uno de estos tipos incluye subtipos diferenciados: en el marino se incluyen hábitat epicontinentales, hemipelágicos, pelágicos, batiales y abisales; en el de agua dulce, hábitat lénticos y lóticos; en el terrestre tenemos gran cantidad de subtipos, como son la tundra, los bosques de coníferas, los bosques perennifolios y caducifolios, las praderas de clima tropical o templado, la sabana, el chaparral, el desierto y el de montaña. Estos hábitat terrestres se definen por las características y abundancia o no de la vegetación.

De acuerdo con el diagnóstico ambiental, las poblaciones humanas aumentan peligrosamente la contaminación y depredación de estos hábitat a nivel planetario.¹

3. Corriente de energía. Productividad y biomasa

La energía es la fuerza capaz de producir movimiento y trabajo. Según la primera ley de la termodinámica, la energía puede transformarse de una clase en otra, pero no se crea ni se destruye (según lo que se sabe del universo conocido). La segunda ley de la termodinámica afirma que toda transformación de una clase de energía en otra clase no se realiza con aprovechamiento total para el sistema: una parte se pierde como energía calórica en el sumidero cósmico. Esta tendencia a la pérdida de energía y al desorden del sistema se llama **entropía**.

Esto que señalamos pone en evidencia que la energía no cumple ciclos como los materiales que la almacenan, sino que fluye permanentemente de la emisión solar, a través de los ecosistemas, hacia el espacio cósmico. De ahí, la denominación del proceso como flujo o corriente de energía.

La radiación solar representa 2 gcal por centímetro cuadrado por minuto

$$\left(\frac{2 \text{ gcal}}{1 \text{ cm}^2} \right) / \text{min}$$

de 3.000 a 4.000 Kcal por centímetro cuadrado por día; la atmósfera atenúa la intensidad de llegada de la radiación solar, que es 10 por ciento de radiación ultravioleta, 45 por ciento de luz visible y 45 por ciento de ondas infrarrojas.

El concepto de **productividad** en los ecosistemas se relaciona con almacenamiento, pérdida y aprovechamiento de energía y se clasifica en productividad primaria bruta, productividad primaria neta, productividad

¹ R.Grana, L.Bonavita, L.de Gatica, I.Pérez, C.Hernández, Primer Informe: Investigación "La población en el ecosistema", San Justo, diciembre de 1994.

neta de la comunidad y productividad secundaria.

La **productividad primaria bruta** resulta de la velocidad de almacenamiento de energía química por fotosíntesis o quimiosíntesis.

La **productividad primaria neta** es igual a la producción bruta menos la descomposición de sustancia orgánica por la respiración vegetal.

La **productividad neta de la comunidad** corresponde a la producción primaria neta menos la energía acumulada en la materia orgánica utilizada por los heterótrofos.

La **productividad secundaria** está representada por el nivel de acumulación de energía y materia orgánica en los consumidores.

La productividad natural se aumenta con corrientes auxiliares o subsidios de energía. Subsidios energéticos auxiliares naturales, como los aportados por los efectos de mareas, vientos, lluvias y evaporación o pueden ser corrientes de energía auxiliares artificiales, como las ingresadas a los ecosistemas por la actividad económica humana. Las poblaciones humanas incorporan estos subsidios de energía a los ecosistemas a través de la producción agrícola, de la crianza de ganado y de aves, de la actividad industrial, del incremento de los servicios y de las comunicaciones.

La utilización de fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y maquinarias agrícolas masivamente acarrea problemas ya analizados en el diagnóstico ambiental.²

Las poblaciones humanas, por primera vez en la historia de la Tierra, revierten el proceso de acumulación energética en el subsuelo, acumulación que se ha dado en las formas de carbón vegetal, mineral y de petróleo; esta operación, unida al uso de otras formas de energía: hidroeléctrica, termonuclear, etc., ha originado cambios importantes en el **balance calórico terrestre**, que se manifiestan en fenómenos ya analizados, como son el efecto de invernadero, las lluvias ácidas, el cambio de la composición de la atmósfera, etcétera.³

Mientras los vegetales desarrollan al máximo la producción primaria bruta y neta y los animales realizan un consumo equilibrado, las poblaciones humanas elevan al máximo la productividad secundaria, con el uso creciente de subsidios de energía. Los efectos de esta actividad económica se reflejan:

- a) en el desequilibrio del balance calórico;
- b) en el agotamiento temporario o definitivo de recursos naturales (árboles, animales, carbón, petróleo, etc.);
- c) en altos índices de contaminación de los medios acuáticos, edáficos y aéreos.

La producción primaria de trigo, maíz, arroz, patata, soya, etc., en los

² Primer Informe... (avance), *op.cit.*

³ Primer Informe.. (avance), *op.cit.*

países subdesarrollados, que agrupan al 65 por ciento de la población mundial, es una producción de alimentos por hectárea baja, porque son demasiado pobres para practicar los subsidios de energía en gran escala.

El equilibrio dinámico del sistema dificulta la medición de la productividad primaria. La intensidad de la producción primaria está en correspondencia con el suministro o la velocidad de entrada del constituyente limitador mínimo, que lógicamente puede variar. Para realizar la medición de esta producción primaria hay distintos métodos:

- a) el de la cosecha;
- b) medición de oxígeno;
- c) medición del dióxido de carbono;
- d) medición del PH;
- e) desaparición de materias primas;
- f) determinaciones de la productividad con rastreadores radiactivos (^{14}C - ^{22}P .);
- g) medición de la cantidad de clorofila de una comunidad.

La **biomasa** resultante de la intensidad de la productividad primaria puede ser sustentada si existe una corriente de energía constante en una cadena trófica. La mayor cantidad de biomasa está constituida por los organismos de tamaño grande, pero la mayor velocidad metabólica por gramo de biomasa pertenece a organismos pequeños: algas, bacterias y protozoos.

Las **pirámides ecológicas** son de utilidad para graficar el resultado de la capacidad productiva de los ecosistemas. Para construir estas pirámides se pueden tomar diferentes tipos de datos existentes en cada nivel trófico:

- a) cantidad de organismos individuales;
- b) cantidad de biomasa;
- c) cantidad de energía almacenada.

Las pirámides ecológicas realizadas sobre la base del número de organismos sobrestiman la producción debido a la cantidad de organismos pequeños; las pirámides diseñadas según la cantidad de biomasa en cada nivel trófico sobrestiman la importancia de los organismos grandes; es la pirámide de energía la que da mayor certeza.

La fotosíntesis produce anualmente cien mil millones de toneladas de materia orgánica, mientras que por la respiración de animales, vegetales y microorganismos se oxida igual cantidad de sustancias orgánicas que vuelven a transformarse en dióxido de carbono y agua. Este equilibrio no es exacto; desde el principio del período cámbrico, hace 600 millones de años, una parte de esa materia orgánica no se ha oxidado y ha ido quedando enterrada y fosilizada.

Este balance histórico de fotosíntesis-respiración ha permitido que se liberara oxígeno a la atmósfera y que cambiara la composición gaseosa de ésta, creándose las condiciones ambientales para el surgimiento de formas

superiores de vida.

El uso de la energía potencial almacenada en el subsuelo ha hecho aumentar la concentración de CO₂, CO, P y Pb en la atmósfera. En los últimos cincuenta años la concentración de dióxido de carbono atmosférico aumentó en un 13 por ciento.

La comunidad científica coincide en que, de proseguir esta tendencia al alto consumo de energía, en el futuro habrá que enfrentar problemas graves como serían la reducción del hielo de los casquetes polares, la elevación del nivel de mares y océanos, y cambios climáticos importantes. Se produciría, en consecuencia, una alteración significativa de los ecosistemas, con resultados negativos para las poblaciones humanas, difíciles de prever.

4. Cadenas y redes tróficas

Estas cadenas y redes tróficas se organizan en diferentes niveles, que se sostienen por la dinámica de comer y ser comido. En cada transferencia de energía de un nivel trófico a otro, de un 90 a un 80 por ciento de energía química, bioeléctrica o cinética se dispersa como energía calórica.

En la relación entre los seres autotróficos y heterotróficos se establecen dos circuitos principales, uno llamado **circuito de pastoreo**, que se inicia con el consumo directo de vegetales vivos por los consumidores herbívoros y continúa con consumidores carnívoros primarios, secundarios y terciarios. El otro circuito se denomina **circuito de detritus orgánico**; este circuito se desarrolla con la actividad de bacterias, hongos y microorganismos detritívoros que descomponen los materiales muertos acumulados y degradan las sustancias orgánicas más complejas a sustancias inorgánicas más simples.

La degradación de la materia orgánica que realizan las bacterias sulfurosas sin consumo de oxígeno no es significativa en el balance general. Cuando la proporción de detritus orgánico en los suelos, sedimentos y aguas es grande, las bacterias, los hongos, los protozoos y otros microorganismos consumen el oxígeno con una rapidez que supera la velocidad de difusión del gas y originan condiciones para la **respiración anaeróbica**, respiración anaeróbica obligatoria o facultativa que puede ser de gran utilidad para la normalización de las aguas muy contaminadas.

Las poblaciones humanas como componentes de los ecosistemas participan activamente en ambos circuitos; esta participación tiene características de acoplamiento cultural al ambiente, con lo que se origina, desarrolla y acompleja de manera creciente un tercer circuito, al que denominamos **circuito económico**. Este circuito se caracteriza por el uso de recursos naturales, de energía subsidiaria, de medios e instrumentos de trabajo y por la producción de bienes artificiales y de efluentes contaminantes ga-

seosos, líquidos y sólidos.

El circuito económico interfiere y altera los circuitos de pastoreo y detritus orgánico es parte integrante del intercambio de materiales y energía que se da en la dinámica de los ecosistemas. Por lo tanto, es un error separar estos circuitos, trasladando a la práctica y a la teoría algunas necesidades autistas propias del análisis, que no permiten realizar la síntesis y excluyen los fenómenos socioeconómicos de la investigación ecológica.

Cuando explicamos el funcionamiento del ecosistema y nos referimos a tres circuitos interactivos, estamos señalando el **principio de la integración funcional**, principio que explica cómo se originan propiedades complementarias con el incremento de la complejidad del ecosistema. E.P.Odum señala que cada nivel posee características que el conocimiento del nivel inmediatamente inferior sólo explica en parte.

La productividad secundaria, incluida la que realizan las poblaciones humanas, depende de la productividad primaria, de la extensión de la cadena de alimentos y de la naturaleza, intensidad y cantidad del suministro de energía.

5. Ciclos biogeoquímicos

Los elementos químicos que constituyen el protoplasma circulan de su estado abiótico al estado biótico. Esta circulación permanente se hace a través de vías más o menos estables llamadas ciclos biogeoquímicos nutritivos. Este movimiento de los elementos compuestos inorgánicos dispone de dos pozos de abastecimiento:

a) **pozo depósito**, que contiene elementos y compuestos que pueden ser utilizados por el ecosistema en algún momento; es un depósito amplio, diseminado y pasivo.

b) **pozo de intercambio**, que contiene una pequeña parte activa de elementos y compuestos que se mueven entre el medio geoquímico y los organismos.

Hay dos tipos de ciclos biogeoquímicos: los **ciclos gaseosos**, que tienen sus pozos depósito y de intercambio en la atmósfera, y los **ciclos sedimentarios**, que tienen estos dos pozos en la corteza terrestre.

De los noventa elementos que aproximadamente hay en la naturaleza, los organismos vivos sólo utilizan alrededor de un 40 por ciento. El carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno son elementos que los seres bióticos necesitan en grandes cantidades, mientras que el resto de los elementos son demandados en cantidades pequeñas. El hombre es el único ser vivo que utiliza la totalidad de los elementos naturales y además ha generado otros denominados sintéticos.

Los seres vivos no sólo se adaptan o acoplan al ambiente físico, utilizan sus elementos y compuestos sino que por su acción concertada y de inter-

cambio realizan un **control biológico** sobre los ecosistemas y van transformando el medio geoquímico a través de millones de años, como ha sucedido con la composición química del mar y de la atmósfera, con la formación del limo y de las islas de coral, etc. Este concepto ecológico de control biológico es insuficiente para explicar los cambios que las poblaciones humanas realizan en los ecosistemas, ya que el incremento de las necesidades culturales y los avances científicos técnicos acentúan el control económico y se potencian las transformaciones del ambiente bio-geoquímico.

La actividad económica acelera el movimiento de muchos materiales, aumenta la cantidad de algunos en los ciclos naturales, como sucede con los artificiales, incorpora sustancias nuevas y por lógica consecuencia se desequilibran los ciclos y se produce una eutroficación de las aguas que reciben los excedentes.

Cuantificar las velocidades y los estados constantes de los ciclos biogeoquímicos hoy es posible, debido a las mejoras de las técnicas en el uso de trazadores, de la química de masa y del control y de la sensibilidad a distancia. Los ciclos gaseosos del nitrógeno, del oxígeno, del dióxido de carbono y del agua son ciclos que ofrecen mayores dificultades para el control, pero al mismo tiempo el medio atmosférico ofrece mayores posibilidades para la dispersión de contaminantes, debido a los movimientos de las masas de aire y al incremento de la fotosíntesis ante la mayor presencia de CO₂.

Los ciclos sedimentarios reciben influencia de los procesos de erosión, sedimentación, formación de montañas, actividad volcánica y transporte biológico. Los ciclos de los elementos no esenciales han ido adquiriendo importancia para la ecología debido a que la actividad minera e industrial produce desechos con altas concentraciones de mercurio, plomo y otros materiales tóxicos; la energía nuclear genera isótopos radiactivos de algunos de los elementos considerados no esenciales.

Los ciclos de los elementos nutritivos orgánicos, como las vitaminas, generalmente de origen biótico, son micronutrientes de importancia para la bioquímica de los organismos.

La producción de materiales sintéticos en gran escala; la retroalimentación positiva en los ciclos de energía; la extensión del uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas; la utilización de la energía nuclear, etc., incrementan en el tiempo el compromiso de los pozos depósito y de intercambio.

6. Homeostasia del ecosistema

Los ecosistemas, sus poblaciones y organismos componentes disponen de la facultad de autoconservación y autorregulación, que expresa la tendencia de los sistemas ecológicos de resistir el cambio y permanecer en

estado de equilibrio, relación entre estabilidad y cambio que origina un equilibrio dinámico. Algunos de estos autocontroles biológicos del ecosistema son:

- A mayor densidad de población disminuye por control interno la reproducción.
- A mayor densidad de población funciona por control externo un incremento de la muerte por depredación de sus integrantes.
- Al aumento de sustancias por almacenamiento y producción, el control biológico acelera la descomposición de éstos.

En 1967, Mumford plantea que la retroalimentación positiva que implica la expansión de la aplicación de los conocimientos, del poder y de la productividad amenaza la calidad de la vida humana y del ambiente, a menos que puedan encontrarse controles apropiados de retroalimentación negativa. Es importante esta aseveración del autor citado, ya que la retroalimentación positiva en exceso lleva a la muerte. Vernadsky reflexiona en el mismo sentido, cuando dice que la biosfera como resultado de millones de años de actividad natural está siendo remplazada rápidamente por la noosfera que resulta de la actividad inteligente del hombre en los últimos siglos, y se pregunta: ¿podemos hacernos cargo de todo sin correr grandes riesgos?

“La idea de los ecosistemas y la comprensión de que la humanidad forma parte de los ciclos biogeoquímicos complejos, con un poder creciente para modificar los ciclos, son conceptos básicos de la ecología moderna”.⁴

De lo expresado se deduce la importancia de la cibernética (ciencia de los controles) como una disciplina contributiva de la ecología y la necesidad de transitar del concepto de “explotación ilimitada de los recursos” a una nueva concepción de “inventiva ilimitada para la perpetuación de una abundancia cíclica de recursos”.⁵

“La tecnología es un arma de doble filo; puede ser el medio de comprender la totalidad de la persona y la naturaleza, o de destruirla”.⁶

7. Factores limitativos

Para la autopoiesis y el desarrollo de los organismos vivientes hay demanda de materiales esenciales. La cantidad de materiales esenciales exigidos varía con las especies y las situaciones. “En condiciones de estado constante, el material esencial disponible en cantidades que más se aproximan al mínimo crítico necesario propenderá a ser el material limitativo. Esta ‘ley’ del mínimo es menos aplicable en condiciones de estado transi-

⁴ E.P.Odum, *Ecología*, Interamericana, México, 1985, p.37.

⁵ E.P.Odum, *op.cit.*, p.37.

⁶ *Id.*, p.4.

torio, en que las cantidades de muchos de los elementos constitutivos, y por consiguiente sus efectos cambian rápidamente”.⁷

Esta “ley” del mínimo se ha denominado de Liebig en homenaje a Justus Liebig que en 1840 hizo los primeros estudios de los efectos de diversos factores sobre el desarrollo de las plantas, señalando que el rendimiento de los cultivos estaba limitado a menudo no por elementos nutritivos necesarios en grandes cantidades y sí por elementos demandados en pequeñas magnitudes.

Otros autores extienden estos factores limitativos mínimos a agentes físicos y al tiempo, aunque E.P.Odum expresa que para evitar confusiones convendría remitirse a los materiales químicos (oxígeno, fósforo, etc.).

Estudios posteriores han demostrado que la “ley” del mínimo funcionaría en condiciones de estado estable, cuando las entradas de energía y materiales compensan las salidas. Por lo tanto, la “ley” del mínimo regiría en velocidades estables o en variaciones de velocidad de ingresos y salidas, que no afecten las concentraciones de los elementos constitutivos en magnitudes de máxima y mínima exigibles, para la continuidad del desarrollo fisiológico y la reproducción, de acuerdo con su sentido inicial. Con la eutroficación de origen cultural se produce un estado altamente inestable que implica fuertes oscilaciones de distintos componentes y rotación sincrónica o diacrónica de diferentes factores limitativos.

También se debe considerar que la “ley” del mínimo puede ser modificada por el factor de interacción que se origina en la alta concentración de una sustancia, en la disponibilidad activa de algún elemento o en la acción de otro factor que modifica la intensidad de los efectos y reacciones que produce dicho factor, considerado factor limitativo en la situación dada.

La subsistencia y el desarrollo de un organismo dependen de un conjunto de condiciones. Los problemas para esta subsistencia y este desarrollo se pueden originar en la deficiencia o en el exceso de la cantidad y calidad de los factores intervinientes; cada organismo tiene límites de tolerancia ante el aumento o la disminución de los otros componentes abióticos y bióticos. Esta “ley” de la tolerancia de Shelford nos indica que el perjuicio o la muerte del organismo no sólo se puede producir por la escasez sino también por la abundancia de factores materiales o energéticos del ambiente. La tolerancia de los organismos varía según los factores; mientras que para algunos factores puede ser amplia, para otros factores puede ser baja. Los organismos con mayores posibilidades de prosperar son aquellos con límites de tolerancia amplia para todos los factores.

También, en estos casos, existe un factor de interacción, ya que si uno de los factores ecológicos de una especie es deficiente, puede disminuir la

⁷ *Id.*, p.116.

tolerancia máxima o mínima de esa especie para otros factores. En muchos casos acciones recíprocas entre las poblaciones, como competición, rapacidad, parasitismo, etc., impiden que los organismos se aprovechen de las condiciones físicas óptimas.

En el período de reproducción, los factores ambientales pueden incrementar su capacidad limitativa; los límites de tolerancia suelen ser más angostos en esa etapa para semillas, huevos, embriones, retoños y larvas que para plantas y animales que no reproducen. Estos límites de tolerancia también se modifican en las condiciones señaladas para los seres humanos.

La capacidad de adaptación de los organismos así como modifica el ambiente y sus componentes también produce cambios en los factores limitativos, ampliando o reduciendo los límites de tolerancia. Esta compensación de factores por la actividad de los organismos a través del tiempo es particularmente eficaz a nivel de comunidad, pero también se puede observar en el seno de las especies.

Las características estenotermal-euritermal, estenohídrico-eurihídrico, estenohalino-eurihalino, estenofágico-eurifágico, estenoecio-euriecio, etc. de los factores limitativos se verifican como propiedades interactivas y relativas.

Las especies que ocupan grandes extensiones geográficas desarrollan por lo general poblaciones localmente adaptadas que se designan con el nombre de ecotipos, que poseen grados óptimos y límites de tolerancia adaptadas a las condiciones del lugar, lo que en muchos casos es causa del fracaso de los trasplantes de individuos de la misma especie que provienen de otras zonas.

El concepto de los factores limitativos se forma a partir de la idea del mínimo y de la tolerancia. La prosperidad de los organismos depende, en consecuencia:

- a) De la cantidad y la variabilidad de materiales en el marco de requisitos mínimos.
- b) De las condiciones de factores físicos críticos.
- c) De los límites de tolerancia de los organismos a estos y otros componentes del ambiente.

Este concepto de factores limitativos es de importancia para el estudio de situaciones ecológicas complejas, como las que originan con su actividad las poblaciones humanas. Se trata de descubrir y controlar factores funcionalmente significativos, creados o alterados por la gestión del hombre, y evitar su escasez o abundancia en magnitudes que son perjudiciales para los seres humanos o para otras poblaciones o comunidades.

Se debe considerar que la actividad y el mayor gasto de energía en un sentido disminuye las posibilidades en las otras direcciones y sentidos del movimiento. La luz, la temperatura y el agua son factores ambientales ecológicamente importantes en los ecosistemas terrestres y la luz, la tem-

peratura y la salinidad lo son en los ecosistemas acuáticos, aunque en los de agua dulce es más relevante que la salinidad, el oxígeno.

Los factores físicos limitativos importantes son la temperatura, la radiación lumínica, la humedad atmosférica, el agua, los gases atmosféricos, el oxígeno, el dióxido de carbono, las sales biogénicas macro y micro nutriciales, las corrientes y presiones atmosféricas e hidrosféricas y el fuego. La altitud y la urbanización inciden en la modificación de los factores físicos descriptivos y pueden originar micromedios y microclimas.

En todos los ambientes la naturaleza química y las velocidades de los ciclos de los elementos nutritivos minerales constituyen condiciones materiales y de energía principales que no sólo se pueden constituir en factores limitativos, sino también en reguladores beneficiosos para el desarrollo de los organismos y sus poblaciones.

Así como los factores específicos nos indican aproximadamente las clases de organismos que podrían estar presentes, si invertimos la observación, los organismos presentes nos pueden ayudar a precisar las características del medio físico con el cual interactúan, por lo que resultan indicadores ecológicos muy útiles cuando el estudio directo del ambiente ofrece muchas dificultades. Para descubrir los mejores indicadores conviene tener en cuenta algunos rasgos más generales de éstos:

- a) Las especies "esteno" resultan más eficaces que las "euri".
- b) Las especies de individuos de tamaño grande indican mejor que las especies de individuos de tamaño chico, ya que una corriente de energía dada puede soportarse mejor en una biomasa o población estable mayor el ritmo de renovación de los organismos pequeños hace difícil la observación de regularidades.
- c) Comprobar repetidamente con trabajos de campo que determinadas especies, poblaciones o grupos de éstas son un factor limitativo regular.
- d) Las relaciones numéricas entre especies, poblaciones y comunidades enteras proporcionan indicadores más seguros que las especies singulares, por características integradoras del ecosistema.

Las funciones de las poblaciones humanas en los ecosistemas, sus relaciones sociales y las relaciones interespecíficas que establecen adquieren en nuestra época una alta complejidad, se extienden y agravan los problemas de la sociedad humana, desaparecen o están en peligro de extinción comunidades naturales, poblaciones y especies animales y vegetales; se alteran la entropía, la productividad primaria y las cadenas y redes tróficas. Se introducen modificaciones en los ciclos biogeoquímicos, se contaminan los pozos depósito y de intercambio, y los factores limitativos se hacen cada vez más sensibles a las operaciones técnico-económicas. Por lo tanto, enfrentamos situaciones graves con soluciones que afectan diversos intereses inmediatos y problemas que se potenciarán en el siglo XXI.

La población humana se puede duplicar en el siglo próximo y por lo

tanto se duplicarán las necesidades de alimentos vegetales que consumen los hombres y el ganado. Este proceso de crecimiento poblacional aumentará la densidad humana y de animales domésticos (vacas, cerdos, aves de corral, corderos, etc.) de 0,7 hectáreas por persona a 0,4 hectáreas por persona para satisfacer todas las demandas de agua, oxígeno, minerales, fibras, alimentos y espacio vital. Debido a esta situación, algunos de los problemas a enfrentar serían los siguientes:

- Aumentará el costo ambiental por el incremento de los subsidios de energía y el empleo en gran escala de maquinarias, fertilizantes, pesticidas, herbicidas y otros productos químicos activos.

- Sólo el 24 por ciento de la tierra es apto para la agricultura; la irrigación de áreas extensas de tierras secas y el cultivo del mar requerirán grandes inversiones de capital con efectos ecológicos de gran alcance, por ahora imprevisibles.

- El efecto a nivel mundial de las necesidades de los animales domésticos y de las poblaciones humanas, en lo que hace a proteínas, hasta ahora se ha subestimado.

- Resolver las diferencias nacionales y sociales, una mejor distribución del espacio, salir del consumismo excesivo y de la extrema pobreza son algunas de las demandas impostergables.

- Lograr el control interno del crecimiento poblacional, especialmente en los países subdesarrollados, a través de un desarrollo sustentable, que resuelva condiciones culturales para el autocontrol de la natalidad. De este modo las poblaciones humanas podrían llegar a la meseta de sus pirámides de población a través del control cultural, que debe caracterizarlas.