

## CONFERENCIA

## El concepto del Ecosistema en el manejo de recursos renovables

### The Ecosystem Concept in the Management of Renewable Resources

GEORGE W. COX\*

Laboratorio de Ecología, Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad Católica de Chile, Santiago.

(Recibida para publicación el 29 de diciembre de 1974)

El Ecosistema se ha reconocido como la unidad básica de la Ecología, así como la base teórica para el manejo del ambiente natural (1). Dentro de un concepto simple y flexible, se puede definir el ecosistema como una parte del ambiente natural que consiste en componentes bióticos y abióticos interrelacionados por procesos de intercambio de nutrientes y energía. En forma diagramática, es posible representar la estructura del ecosistema por estos dos componentes: biótico y abiótico (Fig. 1). Pero, estos dos componentes mayores tienen subcomponentes: varios grupos de organismos en el caso del componente biótico y varios factores del ambiente físico en el caso del componente abiótico. Estos subcomponentes poseen sus propias interrelaciones e influencias mutuas. Además, dentro del ecosistema mismo, la estructura y la dinámica de los componentes bióticos están determinadas por las características de la parte abiótica del sistema, o al menos sufren su influencia. Igualmente, la actividad de los componentes bióticos influye y determina muchas de las características de la parte física del ecosistema. El rasgo principal de este complejo de relaciones es la reciprocidad de las influencias entre componentes, es decir, los componentes están entrelazados por influencias recíprocas.

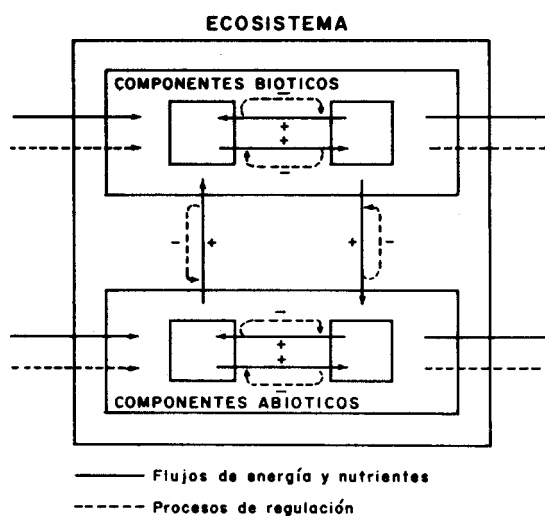


Fig. 1. Representación esquemática del ecosistema, mostrando los componentes bióticos y abióticos, los flujos de energía y nutrientes, y los procesos de regulación.

Es importante darse cuenta también de que todos los ecosistemas son sistemas abiertos. Todos los ecosistemas del mundo se caracterizan por entradas y salidas de materia y energía, y a veces éstas dominan su estructura y su dinámica. Aun al nivel de la biosfera, el sistema es abierto; así, por ejemplo, existe un balance energético entre la entrada de radiación de onda corta y la salida de energía de onda larga.

\*Dirección actual: Ecology Program Area, Department of Biology, San Diego State University, San Diego, California 92115, U.S.A.

Este concepto teórico es sencillo y unificante. Sin embargo, ciertos aspectos de la teoría de ecosistemas, o sea, la teoría ecológica en general, han llegado a tener importancia práctica en el manejo de los recursos naturales. Por ejemplo, la teoría relacionada con la interacción de poblaciones ha contribuido al desarrollo de sistemas de explotación permanente para especies de plantas y animales, tan útiles como el diseño de sistemas de control biológico y control integrado de plagas. En el manejo de áreas de vegetación natural, además, el reconocimiento del papel que desempeña el fuego en el ecosistema, está fomentando el desarrollo de nuevas estrategias de manejo para varios fines. A pesar de todo esto, la aplicación de la teoría ecológica ha tendido a quedar restringida a casos de manipulaciones específicas para conseguir fines inmediatos y específicos. La meta ha sido, en general, obtener niveles óptimos de algún factor de valor productivo inmediato. De hecho, no se ha intentado el desarrollo de una estrategia total para el manejo de ecosistemas, ni la formulación del objetivo de tal estrategia.

Me propongo mostrar que es posible desarrollar una estrategia total de manejo en términos objetivos. Como una hipótesis preliminar, ofrezco la siguiente: la meta de una estrategia total del manejo de ecosistemas explotados es el mantenimiento de niveles naturales de productividad con un subsidio mínimo de combustible fósil por parte del hombre. Entiendo como "niveles naturales de productividad", simplemente los niveles que existen en ecosistemas antes de su modificación por el hombre, con sus ritmos naturales de entrada, uso y salida de energía y nutrientes. Debemos especificar, también, que un nivel natural puede incluir el nivel de productividad potencial, si el agua no es un factor limitante. Efectivamente, propongo el mantenimiento de la productividad de sistemas explotados cerca de los niveles naturales preexistentes, si no se dispone de agua de riego. Si se dispone de ella, propongo el mantenimiento de la productividad en niveles vecinos del de los de sistemas naturales en los cuales el agua no constituye un factor limitante.

El objetivo de minimizar el costo de combustible fósil para mantener un estado productivo presume, por supuesto, una contabilidad completa de costos de producción, incluyendo

costos pagados por la sociedad en general y costos diferidos al futuro. Además, supone que la transferencia de materias primas, incluyendo el agua, de un sistema a otro, podría ocurrir solamente si el aumento de la eficacia excede el costo adicional que resulta de compensar la reducción de productividad en el sistema de donde proviene la materia prima.

Para comprender tanto la necesidad de una meta tan general, como la lógica de una meta de eficiencia en el uso de energía, examinemos más en detalle los aspectos generales de estructuras y dinámica de los ecosistemas, que se podrían modificar mediante diversas técnicas para alcanzar esta eficiencia. Volviendo a nuestro modelo del ecosistema (Fig. 1), podemos identificar más específicamente los componentes de estructura y función. En la parte biótica del sistema, los subcomponentes estructurales son simplemente las biomásas de grupos de organismos definidos por ejemplo a base de sus papeles ecológicos como productores, consumidores y descomponedores. Los subcomponentes abióticos están constituidos por las condiciones del estado del ambiente físico y químico, es decir, por cualquier condición susceptible de medida cuantitativa, como, por ejemplo, textura del suelo, concentraciones de nutrientes y temperatura.

La estructura no sólo es la consecuencia de patrones de función en el ecosistema, sino que también los produce. El flujo de energía y los ciclos de nutrientes constituyen dos procesos entrelazados en el seno del ecosistema. Este entrelazamiento proviene de que la materia forma el vehículo para el flujo de una porción de la energía que pasa por el sistema.

Pero, fuera de estos dos grupos de procesos, existe un tercero, formado por procesos difíciles de medir, aunque sean de igual importancia. Estos son procesos de regulación que controlan los ritmos de flujo de energía y ciclan los nutrientes determinan también la estructura del sistema en cada momento.

Algunos de estos controles son externos, y no son susceptibles de ser modificados por el sistema mismo. Otros son internos y operan de una manera característica: por retroalimentación negativa. Retroalimentación negativa es un tipo de control que funciona como un termostato: un cambio en el ritmo de un proceso o en el tamaño de un componente, en una

cierta dirección, ocasiona una acción reguladora en la dirección opuesta. Finalmente, por supuesto, tenemos que reconocer procesos de influencia del ecosistema mismo en otros ecosistemas y en la biósfera total.

Esta simplificación diagramática ignora la complejidad total de los ecosistemas. Esta complejidad y la organización producida por los procesos de regulación son el resultado de una historia evolutiva coincidente con la evolución de la vida de la tierra. A su vez, los procesos evolutivos han asociado grupos especializados de organismos con procesos específicos de transformación de energía y nutrientes. Quizás el ejemplo más dramático de esta especialización y complejidad sea el ciclo del nitrógeno, en el cual existe una variedad de microorganismos especializados para realizar conversiones químicas específicas. Casi de igual interés e importancia es la diversidad de beneficios metabólicos que reciben los organismos que participan en este ciclo.

Otro resultado de la historia evolutiva de los ecosistemas es el origen de un proceso organizado de crecimiento y de desarrollo de ecosistemas maduros. La sucesión ecológica, como se denomina este proceso, consiste en la colonización, por organismos pioneros, de un ambiente desocupado, y el desarrollo gradual de estructura y organización bióticas, para llegar finalmente a un estado de desarrollo máximo: el clímax ecológico. La sucesión es un proceso organizado en el sentido de que existen especies capacitadas para las diversas etapas, y se observan diferencias similares entre sistemas de etapas precoces y avanzadas, casi sin relación con el ambiente (2).

El resultado de estos procesos de desarrollo evolutivo y de sucesión son ecosistemas con diferentes grados de autorregulación. Recientemente, por ejemplo, Likens *et al.* (3) han demostrado la capacidad del bosque caducifolio de Nueva Inglaterra para retener cantidades de nutrientes dentro del sistema, mediante procesos activos. Asimismo, en el caso del lago Washington, en la ciudad de Seattle, EE.UU., Edmondson (4) ha mostrado la capacidad del sistema para recuperarse de los efectos de eutroficación, desviando cantidades de los nutrientes en exceso a pozos desaprovechables en los sedimentos.

La capacidad de estos controles es variable y también limitada. Generalmente, la capacidad de regulación interna aumenta cuando va desde el ambiente marino hasta el agua dulce y la tierra. En esta misma serie se ve también el aumento de la estabilidad del ambiente físico y la disponibilidad de substratos que permiten el desarrollo de una estructura biótica de gran biomasa. Esta funciona, a su vez, como una amortiguadora eficaz de las variaciones ambientales, y como una trampa de los productos de interacciones bióticas. Por lo tanto, la capacidad de regulación parece ser mayor en los sistemas terrestres.

Pero esta capacidad es limitada. No todos los nutrimentos esenciales poseen ciclos tan complejos y regulados como el del nitrógeno. El ciclo del fósforo, por ejemplo, representa poco más que un retardo del flujo que sigue una sola dirección, desde el punto de liberación por meteorización en los continentes hasta su depósito en sedimentos del océano profundo. El cierre de este ciclo se produce durante el tiempo geológico por procesos que no son bióticos.

Esta es la naturaleza de los sistemas en los cuales el hombre existe y desarrolla sus actividades de explotación. Durante su historia ha evolucionado desde un explotador pasivo de la productividad de plantas y animales silvestres hasta un explotador activo, es decir, un agente capaz de modificar los ecosistemas para conseguir mayores rendimientos de materiales específicos. Los resultados de sus esfuerzos son variados, algunos exitosos, otros desastrosos.

Un hecho básico surge de la consideración de estas modificaciones: la reorganización de los sistemas naturales tiene un costo energético. La mantención de una composición artificial de especies, de una etapa precoz de sucesión y de un nivel de productividad más elevado que el normal, cuesta energía. El costo energético incluye la energía utilizada directamente, como, por ejemplo, la necesaria para arrancar malezas de un jardín, y la usada en forma indirecta, como, por ejemplo, para extraer fósforo y fabricar un fertilizante de este nutrimento. La energía aplicada en forma directa puede ser la de mano de obra, la de animales o la de combustibles.

Aquí deberíamos señalar algunos aspectos. El costo de la degradación de un ecosistema hasta un estado más bajo de madurez y productividad no necesita ser grande, digamos entre "bajo" y "moderado". En efecto, ésta se puede realizar invirtiendo una fracción de la productividad del sistema mismo, en el proceso de degradación. Un ejemplo de tal inversión podría ser el sobrepastoreo de la vegetación mediante ganado caprino o vacuno. La reorganización de un sistema sin reducir ni aumentar el nivel de productividad tiene un costo más elevado, digamos entre "moderado" y "grande". Finalmente, el aumento de la productividad de un sistema y su concentración a una forma deseada, requiere la inversión de energía desde fuera del sistema y en cantidades acaso desde "grandes" a "muy grandes". A medida que aumenta el grado de modificación, crece su costo, y a medida que aumenta la mantención de la modificación, crece también el costo. Efectivamente, estos son los costos del combate de los mecanismos reguladores del ecosistema, que se desarrollaron durante tres mil millones de años de evolución.

Sin embargo, el hombre tiene que modificar los procesos de los sistemas naturales si desea mantener una población superior a la de la etapa de caza-recolección de su evolución. La energía de que dispone no sólo debe ser utilizada, sino utilizada de la manera más eficiente y más de acuerdo con sus necesidades futuras. Para conseguir eficiencia, varias consideraciones son obvias. Las fuentes de energía no renovable no deben ser agotadas, sin aprovechar simultáneamente fuentes no utilizadas de energía renovable. La energía no debe ser utilizada para obtener un aumento de la productividad, si representa el costo de pérdidas mayores en otros lugares o en el futuro. La energía debe ser utilizada para conseguir el mayor aumento en el sistema productivo total, en vez de conseguir un aumento muy elevado solamente en una pequeña parte del sistema.

Examinemos el uso de la energía por el hombre en sus sistemas explotados más intensivamente los de la agricultura. Existen varios análisis de los presupuestos energéticos de sistemas de agricultura, desde los de agricul-

tura móvil o itinerante, hasta los del monocultivo mecanizado. En la tabla 1 se resumen datos de ocho sistemas, los que muestran diversos aspectos de interés.

Es evidente que al principio se pueden alcanzar altos niveles de productividad en sistemas "primitivos" y "modernos", o mejor dicho, sistemas intensivos de mano de obra y sistemas intensivos de combustibles. La tribu Tsembaga, estudiada en Nueva Guinea por Rappoport (5), ha realizado una alta producción de cultivos utilizando solamente energía en forma de mano de obra. Esta tribu cultiva más de 30 especies y practica una agricultura de cultivos mixtos en la que cortan y queman áreas de bosques y las cultivan durante dos años, aprovechándose de los nutrientes acumulados, mediante una modificación intensa, pero temporal, del sistema. También se puede ver que otros sistemas móviles, que tienen solamente una especie primaria de cultivo, logran niveles más bajos de producción aunque cuestan menos energía de mantención (6, 7). Los sistemas de agricultura permanente muestran varios niveles de productividad y utilizan diversas cantidades de insumos. El cultivo de arroz en superficies de inundación, donde se aprovecha el "riego natural" y la fertilización por las inundaciones regulares del río, requiere la menor cantidad de insumo de energía por parte del hombre (6). Se puede considerar que este sistema recibe un subsidio "natural" de energía desde el ciclo hidrológico, el cual funciona para proporcionar riego y fertilización naturales. Otros sistemas permanentes e intensivos de mano de obra —de arroz en arrozales del Sureste Asiático y de maíz en México— muestran productividades muy diferentes (6, 7). Es necesario tener en cuenta las diferencias de clima entre estas regiones, que es tan bueno como que en los arrozales había insumos "históricos" de energía usados para construir el sistema de canales y arrozales, insumos que es muy difícil evaluar en términos cuantitativos.

Los análisis de los presupuestos energéticos de la producción mecanizada del maíz en los EE.UU. exhiben un contraste dramático con otros sistemas (8). En el análisis para 1970 en ese país se ha reducido al mínimo la mano de obra. El insumo total de energía, por otra

parte, se ha aumentado en 4 a 12 veces, comparado con la producción de maíz en la agricultura móvil, principalmente a causa del uso de combustible fósil en la fabricación y la operación de maquinaria agrícola, en la producción de fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos y en muchas otras actividades especializadas de la agricultura intensiva. El rendimiento, sin embargo, es poco más de tres veces el de la agricultura móvil.

En este caso, podemos ver el cambio de la producción y los subsidios durante el período de 25 años que termina en 1970. Los rendimientos por hectárea aumentaron más de dos veces, pero los insumos de energía, principalmente en forma de combustible, aumentaron más de tres veces. Obviamente, la alta inversión de combustible en este sistema de producción ha producido dos resultados: el aumento del rendimiento de maíz hasta el nivel más alto de todos los sistemas, y la reducción de la cantidad de mano de obra hasta el nivel más bajo. Esto ha ocurrido, por supuesto, porque la sociedad ha establecido un precio más bajo para la energía de combustible que para la de la mano de obra.

Examinemos ahora estas productividades en relación con la productividad original de los sistemas reemplazados por el maíz. Lieth (9) ha estimado la Producción Primaria Neta del Bosque Templado-Cálido Mixto del Medio Oeste de EE.UU. en aproximadamente 4.700 Kcal/m<sup>2</sup>/año. La producción de maíz en 1970, en la misma zona climática, tuvo un promedio

de 2.018 Kcal/m<sup>2</sup>/año, en forma de grano. Este grano representa, sin embargo, aproximadamente el 31,7% de la producción total de la planta de maíz, incluyendo grano, tallos, raíces y otros tejidos vegetativos. Por lo tanto, la Producción Primaria Neta de maíz en 1970 fue de 6.355 Kcal/m<sup>2</sup>/año, o sea, casi 36% más que la productividad natural del sistema reemplazado.

El costo para obtener este 36% extra ha sido considerable (tabla 1). Este costo proviene tanto de concentrar la productividad del ecosistema total en un cultivo, como de aumentar el nivel de productividad por encima del nivel natural. Además, no es claro que se esté pagando este costo total de producción intensiva. Las pérdidas de suelo por erosión son mayores en el caso del maíz que en el de cualquier otro grano: casi 80 toneladas por hectárea por año (10). Esta pérdida pudiera constituir, en grado sumo, una deuda que se manifestará en reducciones de productividad en el futuro, cuando la estructura del suelo llegue a un nivel crítico, como resultado de la erosión prolongada.

Aquí deberíamos preguntarnos si esto representa un uso eficiente de los recursos de la energía. Posiblemente podríamos ganar más, en términos de productividad, manteniendo un nivel más bajo de producción de maíz —cerca del nivel natural— y dirigiendo la energía conservada hacia otras partes del sistema agrícola. Al menos deberíamos buscar méto-

TABLA I  
BALANCE ENERGETICO EN ECOSISTEMAS AGRICOLAS

Sistema de cultivo	Región	Características	Producción de alimentos (Kcal/m <sup>2</sup> )	Costo de producción (Kcal/m <sup>2</sup> )		
				Total	Combustible	Mano de obra
1. Móvil	Nueva Guinea	Cultivos mixtos	2.278	139	0	139
2. Móvil	México	Maíz	686	63,9	1,6	62,3
3. Móvil	Asia Sureste	Arroz	622	34,2	1,0	33,6
4. Permanente	México	Maíz	332	59,6	4,6	20,8
5. Permanente	Asia Sureste	Arroz (plano de inundación)	573	15,2	1,8	9,0
6. Permanente	Asia Sureste	Arroz (por trasplante)	940	41,4	4,7	28,2
7. Mecanizado	EE.UU.	Maíz (1945)	847	220	217	3,1
8. Mecanizado	EE.UU.	Maíz (1970)	2.018	708	707	1,2

Referencias: N° 1 - Rappaport (5); N° 2, 4-Pimentel (7); N° 3, 5, 6-Hanks (6); N° 7, 8-Pimentel, et al. (8).

dos para reducir el insumo total y especialmente de combustible fósil, en este sistema.

Existen muchas oportunidades para reducir tales costos. En el caso del maíz, Pimentel *et al.* (8) han sugerido la substitución del uso de la maquinaria y los métodos químicos por la mano de obra, la utilización de la maquinaria en relación mayor con la escala de las faenas, el uso cooperativo de la maquinaria, el aumento del uso de fertilizantes orgánicos, la interplantación o la rotación con plantas leguminosas para proveer nitrógeno, y el retorno al cultivo mecánico, en vez de confiar solamente en herbicidas cuyo costo energético de fabricación es muy alto.

La necesidad del cambio en esta dirección se demuestra por las razones entre el insumo y la producción de energía en la agricultura mecanizada. En el caso del maíz en EE.UU. en 1970, Pimentel *et al.* (8) calcularon un subsidio de 0,355 Kcal de energía por Kcal de energía recibida en forma de alimento, y este mismo autor (7) considera que ahora está más cerca de 0,397. Otros granos, como el trigo y el arroz, bajo el sistema de producción en EE.UU., tienen razones de 0,578 y 0,725, respectivamente. En otras palabras, los subsidios para estos cultivos son más altos.

Se ha estimado que el sistema total de producción de alimentos en EE.UU., incluyendo hortalizas, frutas, carne y otros productos animales, tiene más de una caloría de insumo por caloría de producción: entre 1,15 (11) y 2,20 (12). Si se incluyen los costos de transporte, almacenamiento, fabricación, comercio y preparación de los productos alimenticios, el costo total alcanza de 8 a 10 calorías por caloría de alimento consumido.

En este punto, conviene que volvamos a la sugerencia de la meta del manejo de los sistemas explotados. Es simple la razón para elegir el nivel de producción primaria del sistema original como base. Este nivel representará, con toda probabilidad, el nivel más alto de productividad posible a largo plazo, en estado de equilibrio de las condiciones ecológicas. Aunque es posible observar niveles más altos, generalmente éstos constituyen sistemas de las etapas precoces de sucesión y representan casos de explotación de recursos acumulados, en vez de utilizar recursos con sus ritmos de renovación. Pero, debemos señalar que la produc-

tividad del ecosistema maduro requiere la reinversión de esta productividad en el sistema mismo. Cuando estas reinversiones son limitadas, resulta un estado menos maduro (13).

La meta del hombre es idear sistemas de producción que dispongan de mecanismos de regulación que simulen los de sistemas maduros naturales. Estos mecanismos "artificiales" cuestan tanto o más que los mecanismos naturales. Sin embargo, algunos mecanismos de regulación artificial son más eficientes que otros. Por ejemplo, podemos diseñar sistemas agrícolas en cuya estructura simulan sistemas naturales y en los cuales se conservan algunos mecanismos naturales de regulación. Una sugerencia de este tipo es el desarrollo de sistemas de agricultura forestal, especialmente en los trópicos (14). Esta agricultura forestal consistiría en una diversidad de especies de árboles interplantados, de los cuales cada especie tendría uno o más productos cosechables. El sistema total, por lo tanto, simula la estructura compleja de un bosque natural. Otra sugerencia general es aumentar el uso de los materiales y desechos orgánicos para "cerrar ciclos de nutrientes" o sea, usarlos como fertilizantes. Finalmente, debemos poner énfasis en el uso de energía de formas renovables, como el viento, el agua, las mareas y la mano de obra. No pretendemos que de esta manera se pudieran pagar todos los costos, pero con un planteamiento inteligente se podría mejorar mucho la eficacia de nuestros sistemas de producción.

¿Cómo podemos formular esta meta de una manera objetiva? Pueden establecerse varias relaciones matemáticas, de las cuales una muy sencilla consiste en minimizar la siguiente relación:

$$\frac{(\text{Costo de combustible fósil}) (\text{Costo energético Total})}{(\text{Producción Primaria Neta del Sistema Natural})}$$

En esta expresión, la reducción de la cantidad de combustible o del costo energético total, disminuyendo la cantidad de insumo de energía en otras formas, tiene como resultado un descenso del valor de la expresión. Sin embargo, por caloría, la reducción de los costos de combustible fósil tiene el mayor efecto. Asimismo puede reducirse el combustible fósil al costo de aumentos iguales o, hasta un punto,

más grandes en otras formas de insumos energéticos. El denominador, la Producción Primaria Neta del sistema natural de la región, permite la inversión de recursos energéticos para elevar la productividad agrícola hasta este nivel.

Esta expresión puede ser combinada con otra que indica la urgencia de introducir cambios específicos para reducir el valor de la expresión anterior. Una expresión de este tipo puede ser simplemente:

$$\frac{\text{Productividad Primaria Neta del Agroecosistema}}{\text{Productividad Primaria Neta del Sistema Natural}}$$

Aquí, una diferencia más en la dirección positiva corresponde a una urgencia más grande para modificar insumos de energía.

Aunque estas expresiones parecen muy sencillas, sirven para enfatizar dos ideas: 1) una estrategia de manejo de ecosistemas explotados tiene que ser basada en eficiencia del uso de energía, y 2) podemos formular una meta objetiva para el manejo de insumos energéticos en tales ecosistemas. Es necesario el esfuerzo de hacer más eficientes nuestros sistemas productivos, pues los recursos energéticos del mundo, como ahora los conocemos, no nos permitirán su uso descuidado para modificar la estructura y dinámica de ecosistemas más allá de ciertos límites razonables.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente las sugerencias teóricas y la ayuda otorgada en la preparación del manuscrito al Dr. Ernst R. Hajek, del Laboratorio de Ecología de la Universidad Católica de Chile, Santiago.

#### SUMMARY

Natural ecosystems consist of biotic and abiotic components which interact with interchanges of nutrients and energy. These systems, products of more than three billion years of evolution, possess complex patterns of internal regulation. In all probability, mature natural eco-

systems exhibit the maximum level of sustainable productivity possible under existing environmental conditions.

Man has applied energy from various sources to modify the structure and dynamics of natural ecosystems to his advantage. The energetic cost of these modifications is roughly proportional to the degree of modification. Under intensive mechanized agriculture, productivity has been raised to levels above those of natural systems in the same regions and concentrated in single crop species. This modification has been achieved at high cost, primarily in use of fossil fuel. In view of the supplies and price trends of fossil fuel energy, such extreme modifications of natural systems probably cannot be sustained.

Thus, the goal of management of exploited ecosystems must be one of efficiency in energy use, particularly in the case of fossil fuels. To reach this goal, man must design productive systems which possess a level of productivity close to those of natural systems, retain a maximum degree of natural internal regulation, and utilize human energy subsidies from renewable sources to the greatest possible extent.

#### REFERENCIAS

1. DI CASTRI, F., *Anales de la Universidad de Chile*, 131, pp. 93, 1964.
2. ODUM, E.P., *Science* 164:262, 1969.
3. LIKENS, G.E., *et al.*, *Ecol. Mong.* 40:23, 1970.
4. EDMONDSON, W.T., *Science* 169:690, 1970.
5. RAPPAPORT, E.A., *Scientific America* 224(3):117, 1971.
6. HANKS, L.M., "Rice and Man". Aldine-Atherton, Chicago, 1972.
7. PIMENTEL, D., Conferencia, San Diego State University, 9 VII, 1974.
8. PIMENTEL, D., *et al.*, *Science* 182:443, 1973.
9. LIETH, H., *Nature and Resources* 8(2):5-10, 1972.
10. BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.C., "Naturaleza y propiedades de los suelos". Montaner y Simon, Barcelona, 1966.
11. HIRST, E., *Science* 184:134, 1974.
12. STEINHART, J.S. y STEINHART, C.E., *Science* 184:307, 1974.
13. MARGALEEF, R., "Perspectives in Ecological Theory", Univ. Chicago Press, Chicago, 1968.
14. DOUGLAS, J.S., *Impact of Science on Society* 23(2):117.

