El Concepto del Ecosistema en el Manejo de Recursos Renovables.

(CURSO DE ECOLOGIA AGRARIA - U.C. - SEPT-DIC-1974. Antecedentes)

George W. Cox.[1]

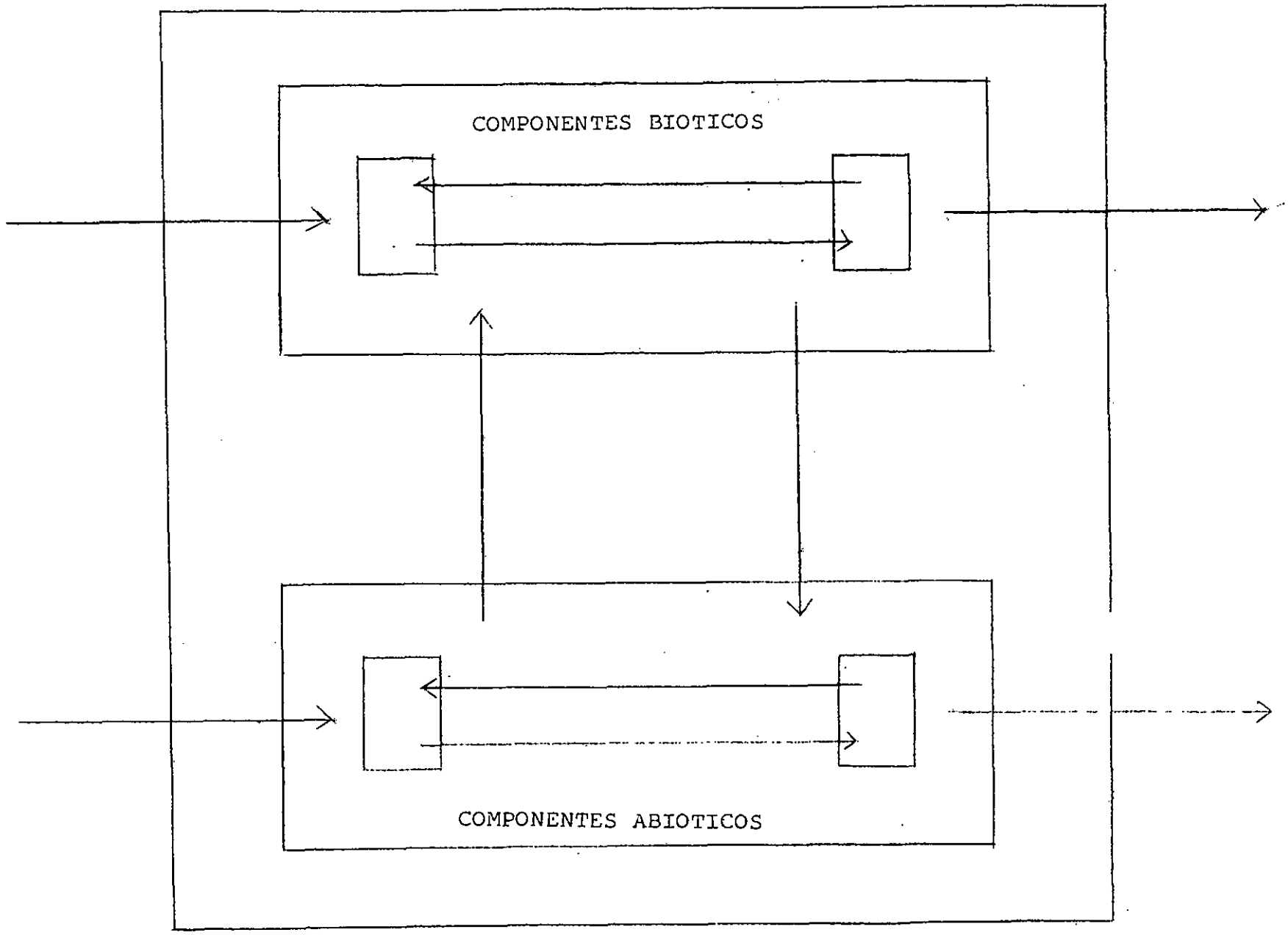
El ecosistema se ha reconocido tanto como la unidad básica de ecología, así como la base teórica para el manejo del ambiente natural (di Castri, 1964). Un concepto simple y flexible, se puede definir el ecosistema como una parte del ambiente natural que consiste en componentes bióticos y abióticos interrelacionados por procesos de intercambio de energía y nutrientes. En forma diagramática, podemos representar la estructura del ecosistema por estos dos componentes: biótico y abiótico. Pero ambos componentes (grandes) tienen sub-componentes - varios grupos de organismos en el caso del componente biótico, varios factores del ambiente físico en el caso del componente abiótico. Estos sub-componentes poseen sus propias interrelaciones e influencias mutuas. Además dentro del ecosistema misma, la estructura y dinámica de los componentes bióticos están influidas o determinadas por las características de la parte abiótica del sistema. Igualmente, las acciones de los componentes bióticas influyen y determinan 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; las componentes principales están entrelazadas por influencias recíprocas (Fig.1).

También, es importante darse cuenta de que todos los ecosistemas son sistemas abiertos. Entradas y salidas de materia y energía caracterizan todos los ecosistemas del mundo, y a veces, dominan su estructura y su dinámica. Aun al nivel de la biósfera, el sistema es abierto; existe un balance energético entre la

---

1 LABORATORIO DE ECOLOGIA
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLOGICAS
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
Casilla 114-D. Santiago.

FIG. Nº 1.



entrada de radiación de onda corta y la salida de energía de onda larga.

Este concepto teórico es sencillo y unificante. Sin embargo, ciertos aspectos de la teoría de ecosistemas, osea, la teoría ecológica en general, han llegado a ser de importancia práctica en el manejo de recursos naturales. Por ejemplo, la teoría relacionada a interacciones de poblaciones ha contribuido al desarrollo de sistemas de explotación permanente para especies de plantas y animales, tan bueno 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 del 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 ser restringida a casos de manipulaciones específicas para conseguir fines inmediatos y específicos. La meta ha sido, en general la optimización de algún factor de valor productivo inmediato. De hecho, no se ha intentado el desarrollo de una estrategia total del manejo de ecosistemas, ni la formulación del objetivo de tal estrategia.

Yo propongo que se puede desarrollar una estrategia total de manejo en términos objetivos. Como una hipótesis preliminar, ofrezco lo 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. Por el término "niveles naturales de productividad", quiero decir simplemente los niveles que existen en ecosistemas antes de su modificación por el hombre, y 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 fuera unfactor limitante. Efectivamente, propongo el mantenimiento de la productividad de sistemas explotados cerca de los niveles naturales preexistentes, si agua de riego no está disponible. Si existe agua de riego, propongo el mantenimiento de la productividad a niveles cerca de los sistemas naturales en los cuales agua no es factor limitante.

El objetivo de minimizar costos de combustibles fósil para mantener un estado productivo presume, por supuesto, una contabilidad completa de costos de producción, incluyendo costos pagados por la Sociedad en general, o costos diferidos al futuro. Además, presume que la transferencia de materias primas, incluyendo el agua, de un sistema a otro, podría ocurrir solamente si la eficiencia aumentada excede el cost adicional de compensar la reducción de productividad en el sistema de donde viene la materia prima.

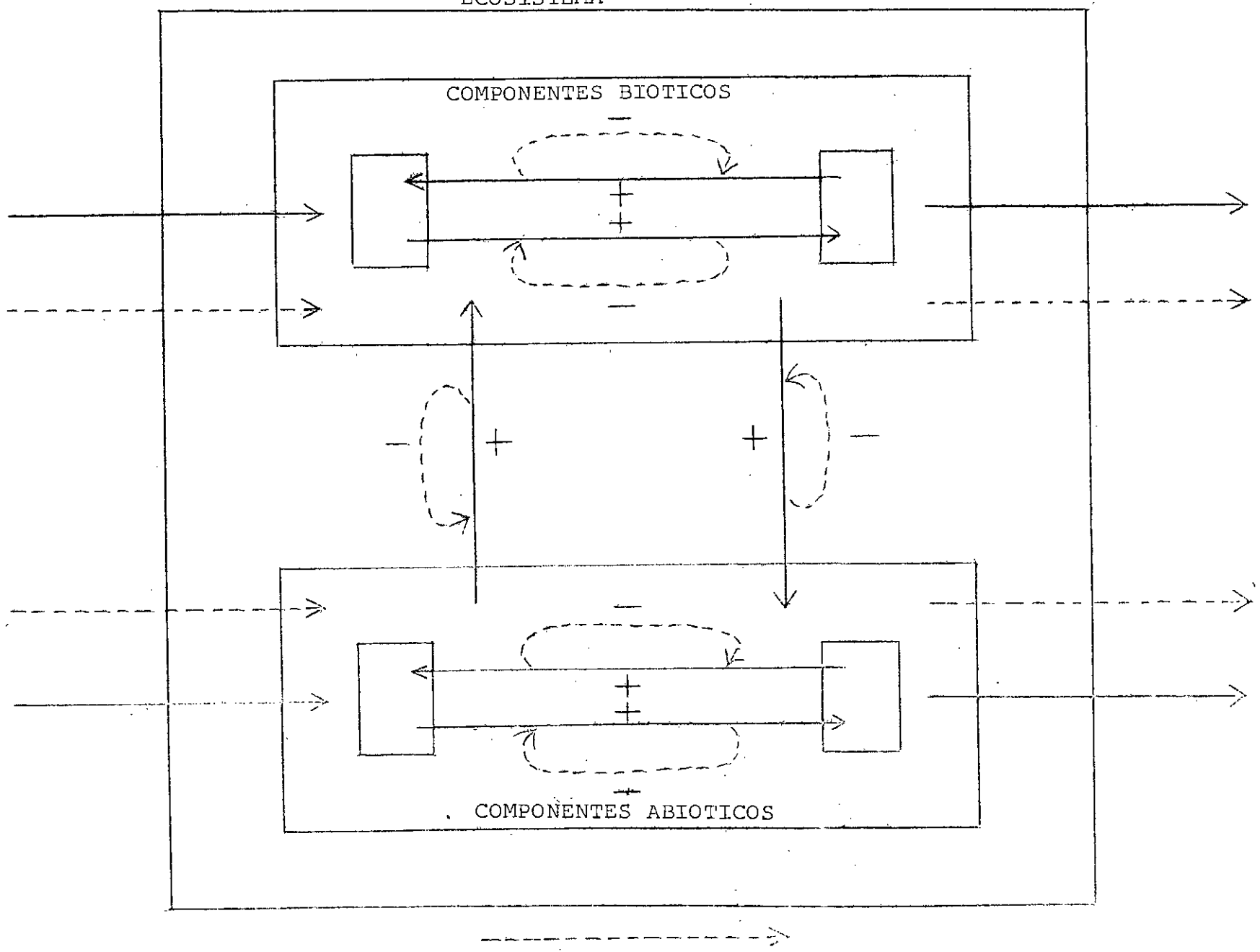
Para comprender la necesidad de una meta tan general, y la lógica de una meta de eficiencia en el uso de energía, examinemos más en detalle los aspectos generales de estructura y dinámica, los cuales se modificarían por diversas técnicas para alcanzar esta eficiencia, Volviendo a nuestro modelo del ecosistema, podemos identificar los componentes de estructura y función más especificamente. (Fig. 2). En la parte biótica del sistema, los sub-componentes estructurales son simplemente las biomases de grupos de organismos definidos a base de sus papeles ecológicos: productores, consumidores, y descomponedores, por ejemplo; los sub-componentes abióticos constan de las condiciones del estado del ambiente físico y químico - cualquiera condición susceptible de medida cuantitativa, como por ejemplo, textura del suelo, concentraciones de nutrientes, y temperatura.

La estructura resulta de, y produce, patrones de función en el ecosistema. El flujo de energía y los ciclos nutrientes forman dos procesos entrelazados en el seno del ecosistema. Esta naturaleza entrelazada viene del hecho 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, un grupo de procesos dificiles de medir, aunque sean de igual importancia. Estos son procesos de regulación que controlan los ritmos a los cuales fluye la energía y ciclan los nutrientes, y también determinan la estructura del sistema en un momento del tiempo. Algunos de estos controles son externos, y no susceptibles de modificación por el sistema mismo. Otros son internos, y operan de una manera característica - por retroalimentación negativa. Retroalimentación negativa es un control que funciona como un termostato: un cambio

FIG. Nº 2.

ECOSISTEMA



del ritmo de un proceso, o del tamano de un componente, en una dirección resulta en 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, es el resultado de una historia evolutiva coincidente con la evolución de la vida de la tierra. A su vez, los procesos evolutivos han asociados grupos especializados de organismos con procesos específicos de transformación de energía y nutrientes. Quizás el ejemplo más dramático de esta especialización y complejidad resultantes es el ciclo del nitrógeno en el cual existe una variedad de micro-organismos especializados para conversiones químicas específicas. De interés e importancia casi igual es la diversidad de beneficios metabólicos recibidos por los organismos que participan en este ciclo.

Otro resultado de la historia evolutiva de ecosistemas es el origen de un proceso organizado de crecimiento y desarrollo de ecosistemas maduros. La sucesión ecológica, el nombre del proceso, consiste en la colonización, por organismos exploradores, 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 especializadas para diversas etapas, y ocurren diferencias similares entre sistemas de etapas precoces y avanzadas, casi sin relación al ambiente.

Los resultados de estos procesos de desarrollo evolutivo y de ~~sucesión~~ sucesión son ecosistemas con diferentes grados de auto-regulación. Recientemente, por ejemplo, Likens, et al. (1970) han demostrado la habilidad del bosque caducifolio de Nueva Inglaterra de retener cantidades de nutrientes dentro del sistema por medio de

procesos activos. Asimismo, en el caso del Lago Washington, en la cuidad de Seattle, EE.UU., Edmondson (1970) ha mostrado la habilidad del sistema de recuperarse de los efectos de eutroficación, desviando cantidades de los nutrientes en exceso a pozos desaprovechables en los sedimentos.

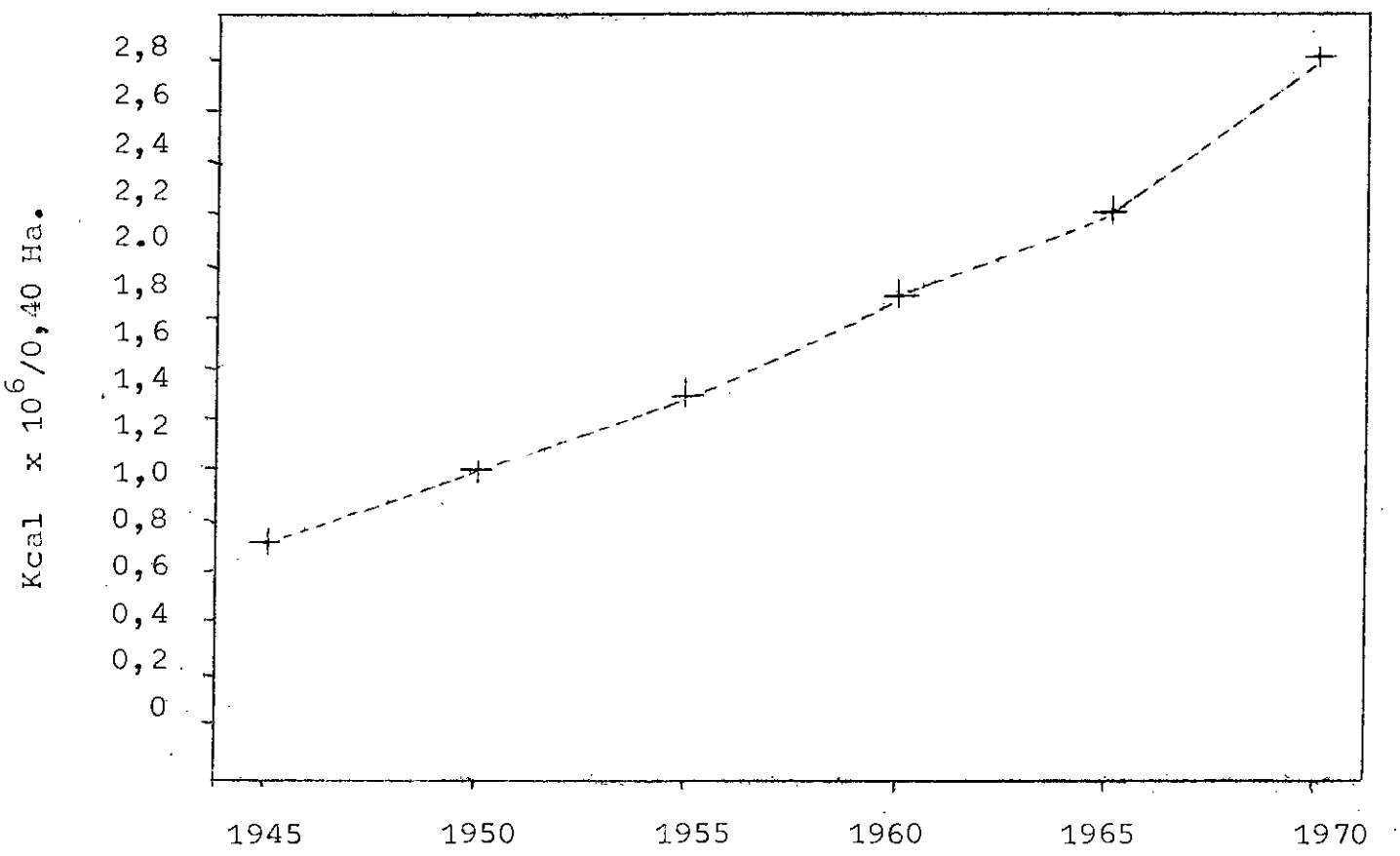
La capacidad de estos controles varía, y también posee límites. Generalmente, la capacidad de regulación interna aumenta cuando uno procede desde el ambiente marino hasta el agua dulce y la tierra ~~[illegible]~~. Sobre esta misma serie, vemos también el aumento de estabilidad del ambiente físico y la disponibilidadde sustratos que permiten el desarrollo de una estructura biótica de biomasa grande, Esta biomasa, a su vez, funciona más efectivamente como una amortiguadora de variación ambiental, y como una trampa de los productos de interacciones bióticas. Por lo tanto, la capacidad de regulación parece ser más grande en los sistemas terrestres.

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

Esto 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 - un agente que puede modificar ecosistemas para permitirle conseguir rendimientos más grandes de materiales específicos. Los resultados de sus esfuerzos son variados, algunos exitosos, otros desastrosos.

Un hecho básico viene de una consideración de estas modificaciones: La reorganización de sistemas naturales tiene un costo energético. La mantención de una composición artificial de especies, una etapa ~~[illegible]~~ precoz de suseción, un nivel de productividad más alto que

FIG. Nº 3.



Subsidios energético para la producción de maíz en EE.UU. entre 1945 y 1970 (Datos de Pimentel, et al., 1973).

lo normal cuesta energía. El costo enérgetico incluye la energía usada directamente, por ejemplo, para arrancar malezas de un jardín, y la energía usada en formas indirectas, por ejemplo, para extraer fósforo y fabricar un fertilizante de este nutriente. Energía aplicada en forma directa puede ser la energía de mano de obra, de animales o combustibles.

Aquí deberíamos hacer notar algunos puntos. El costo para degradar un ecosistema hasta un un estado más bajo de madurez y productividad no necesita ser grande - digamos entre "bajo" y "moderado". En efecto, podemos realizar esto al invertir una fracción de la productividad del sistemamismo en el proceso de degradación. Un ejemplo de tal inversión podría ser sobrepastoreo de vegetación por ganado caprino o vacuno. Reorganización de un sistema sin reducir o aumentar el nivel de productividad tiene un costo más grande - entre "Moderado y grande", digamos. Finalmente, aumentar la productividad de un sistema y concentrarla en una forma deseada requiere la inversión de energía desde fuera del sistema, y en cantidades acaso "grandes" a "muy grandes". A medida que aumenta el grado de modificación aumenta el costo de hacerlo; a medida que aumenta la mantención de la modificación, aumenta el costo, también. Efectivamente estos son los costos de combatir los mecanismos reguladores del ecosistema, los cuales se desarrollaron durante tres mil millones de años de evolución.

Sin embargo, el hombre tiene que modificar los procesos de sistemas naturales si va a mántener una población por sobre la etapa de caza-recolección de su evolución. La energía disponible a él debe ser utilizada, pero también utilizada de la manera más eficiente y más consistente con sus necesidades futuras. Para conseguir eficiencia, varias consideraciones son obvias. Las fuentes de energía no renovable no deben ser agotadas, sin aprovechar simultaneamente fuentes no utilizadas de energía renovable. La energía no debe ser utilizada para obtener productividad aumentada, pero al costo de

pérdidas más grandes en otros lugares o en el futuro. La energía debe ser utilizada para conseguir el aumento más grande para el sistema agrícola total, en vez de conseguir elaumento más grande en solamente una parte del sistema.

Examinemos el uso de la energía por el hombre en sus sistemas más intensivamente explotados - los de la Agricultura (Cuadro Nº1). Existen varios análisis de los presupuestos enérgeticos de sistemas de agricultura, desde los de agricultura móvil o itinerante hasta los de monocultivo mecanizado. En cuadro Nº 1 se resumen datos para 8 sistemas; estos datos muestran varios aspectos de interés.

Al principio, es evidente que se puede alcanzar altos niveles de productividad sistemas "primitivos" y "modernos" o, mejor dicho, sistemas intensivos de mano de obra y sistemas intensivos de combustibles. La tribu Tsembaga, estudiada por Rappoport (1971) en Nueva Guinea, realiza una alta producción de cultivos con uso solamente de energía en forma de mano de obra. Tienen más de [illegible]0 especies de cultivos, y practican una agricultura de cultivos mixtos en la que cortan, queman, y [illegible] áreas del bosque por 2 años, aprovechándose de los nutrientes acumulados, por medio de una modificación [illegible] del sistema. También, podemos ver que otros sistemas móviles, con una especie primaria de cultivo, lograr niveles más bajos de producción aunque cuestan menos energía de mantención (Hanks, 1972; Pimentel, comunicación personal). Los sistemas de agricultura permanente muestran varios niveles de productividad, también utilizan diferentes cantidades de insumos. El cultivo de arroz en planos de inundación, que se aprovecha de "riego natural" por inundaciones regulares por el año, requiere la menor cantidad de insumo de energía por parte del hombre (Hanks, 1972). Se puede considerar que este sistema recibe un subsidio "natural" de energía desde el ciclo hidrológico, el cual funciona para proporcionar riego y fertilizantes 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

Cuadro Nº 1.

BALANCE ENERGETICO EN ECOSISTEMAS AGRICOLAS

Sistema de Cultivo	Región	Características	Producción de Alimentos Kcal/m^2	Costo de Producción (Kcal/m^2)		
				Total	Combustible	Mano de obra
1.-Móvil	Nueva Guinea	Cultivos Mixtos	2278	139	0	139
2.-Móvil	México	Maiz	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	1,7	28,2
7.-Mecanizado	EE.UU.	Maiz (1945)	847	220	217	3,1
8.-Mecanizado	EE.UU.	Maiz (1970)	2018	708	707	1,2

(Hanks 1972; Pimentel, comunicación personal). Aquí tenemos que tomar en cuenta las diferencias de clima de estas regiones, y también el hecho de que, en los arrozales, había insumos "históricas" de energía usados en construir el sistema dearrozales y canales - insumos muy difíciles de evaluar.

El análisis del presupuesto energético de la producción mecanizada de maíz en EE.UU. exhibe un contraste dramático a otros sistemas (Pimentel, et. al 1973). Aquí, se ha reducido al mínimo la mano de obra. El insumo total de energgía, 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 maquinariaagrícola, la producción de fertilizantes, pesticidas, y otros productos químicos, y otras muchas actividades especializadas de la agricultura intensiva. El rendimiento, sin embargo, es poco más de 3 veces el de la agricultura móvil.

En este caso, podemos ver el cambio de producción y subsidios sobre un período de 25 años terminado en 1970. Los rendimientos por hectárea aumentaron más de dos veces, pero los insumos de energía, primariamente 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 de rendimiento de maíz hasta el nivel más alto de todos los sistemas, y reducción de la cantidad de mano de obra hasta el nivel más bajo. Ha ocurrido esto, por supuesto, porque la sociedad ha establecido un precio más bajo por energía de combustible que por energía de mano de obra.

Ahora sin embargo, examinemos estas productividades en relación con la productividad original de los ecosistemas reemplazados por el maíz (Cuadro Nº 2). ~~Whittaker y Likens (1970)~~ Leith (1972) han estimado la Producción Primaria Neta del Bosque Templado - Cálido Mixto de ser aproximadamente 4700 Kcal/m^2/año. La producción de maíz en 1970, en la misma zona climática, tuvo un promedio de 2018 Kcal/m^2/año, en forma de grano. Este grano representa, sin embargo, aproximadamente

Cuadro Nº 2.

PRODUCCION PRIMARIA NETA (PPN)
(ZONA DEL CULTIVO DE MAIZ EN EE.UU.)

		$Kcal/m^2/año$
Bosque Cálido-Templado Mixto	-	4.700
Producción Promedia de Maiz, 1970	-	
- Grano	-	2018
- Otros Tejidos Vegetales	-	4337
- Total	-	6355

31,7% de la producción total de la planta de maíz - grano, tallos, raices y otros tejidos vegetativos. Por lo tanto, la Producción Primaria Neta de maíz en 1970 fué de 6.355 Kcal/m^2/año, o casi 36% más que la productividad natural del sistema reemplazado.

El costo para realizar este 36% extra ha sido considerable (Fig. Nº3). Este costo es tanto el de dirigir la productividad del ecosistema total en un cultivo, como el de aumentar el nivel de productividad por sobre el nivel natural. Además no es claro que este costo total de producción intensiva esté siendo pagado. Pérdidas de suelo por erosión son mayores por maíz que por cualquier otro grano - casi 80 toneladas por hectárea por año (Buckman y Braden, 1966). En grado sumo esta pérdida pudiera constituir una deuda que se manifestará en reducciones de productividad en el futuro, cuando la estructura del Suelo llegue a un nivel crítico como el resultado de erosión prolongada.

Aquí deberíamos preguntarnos si esto representa un uso eficiente de los recursos de energía. Posiblemente, podríamos ganar más, en términos de productividad manteniendo un nivel más bajo de producción de maíz - cerca del nivel natural - y dirigir la energía conservada hacia otras partes del sistema agrícola. Al menos, deberíamos buscar métodos para reducir el insumo total, y especialmente de combustible fósil; en este sistema.

Muchas oportunidades para reducir tales costos ya existen. En el caso de maíz, Pimentel (1973) ha sugerido la substitución del uso de maquinaria por mano de obra, utilización de maquinaria con mayor relación a la escala de las faenas, uso cooperativo de maquinaria, uso aumentado de fertilizantes orgánicos, interplantación o rotación con plantas leguminosas para proveer nitrógeno, y el retorno a cultivación mecánica, en vez de confiar solamente en herbicidas.

La necesidad de cambio en esta dirección está evidenciada por las razones de insumo y producción de energía en la agricultura mecanizada (Cuadro Nº 3). En el caso del maíz, Pimentel, et al 1973) calcularon un rendimiento de 2,82 Kcal de energía alimenticia por Kcal de energía invertida, una razón que él cree ahora, está más cerca de 2,52 a 1 (Pimentel, comunicación personal). Otros granos,

Cuadro Nº 3.

Sistema de Producción de Alimentos en EE.UU. - 1970.

Componente del Sistema	Costo Enérgetico (Kcal) Alimento Producido o Consumido (Kcal)
Maiz	0,397
Trigo	0,578
Arroz	0,725
Producción Agrícola (Total)	1,14 - 2,20
Sistema Total: Producción, Preparación, y Consumo	**8 - 10.**

trigo y arroz, tienen razones de 1,73 y 1,38 a 1, respectivamente. En otras palabras, el subsidio energético para estos cultivos es más alto.

El sistema total de producción de alimentos en EE.UU., incluyendo hortalizas, frutas, carne y otros productos, ha sido estimado de tener más de una caloría de insumo por caloría de producción: entre 1,14 (Hirst, 1974) y 2,20 (Sterhart y Sterhart, 1974). Cuando están incluidos los costos de transporte, almacenar, fabricar, vender y preparar productos alimenticios, el costo total alcanza a 8 a 10 calorías por caloría de alimento consumido.

A este punto deberíamos volver a la sugerencia de la meta del manejo de ecosistemas explotados. La razón de elegir el nivel de producción primaria del sistema original como base es simple. Este nivel representa, con toda probabilidad, el nivel más alto de productividad, a largo plazo, bajo el equilibrio de condiciones ecológicas. Aunque se pueden observar niveles más altos, generalmente estos son de sistemas de etapas precoces de sucesión, y representan casos de explotación de recursos acumulados, en vez de utilizar recursos con su ritmo de renovación. Pero, debemos notar, la productividad del ecosistema maduro requiere la inversión de esta productividad en el sistema mismo. Cuando son limitadas estas inversiones resulta un estado menos maduro. (Margalef, 1968).

La Meta del hombre es idear sistemas productivos con mecanismos de regulación que simulan los de ecosistemas maduros naturales. Estos mecanismos "artificiales" costarán tanto como los mecanismos naturales o más. Pero, algunos mecanismos de regulación artificial son más eficientes que otros. Por ejemplo, podemos diseñar sistemas agrícolas que simulan sistemas naturales en su estructura, con el resultado de que se preservan algunos mecanismos naturales de regulación. Una sugerencia de este tipo es el desarrollo de sistemas de agricultura forestal, especialmente en los trópicos. Esta agricultura forestal consistiría en una diversidad de especies de árboles interplantados, cada especie con 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 materiales y desechos orgánicos para "cerrar ciclos de nutrientes", o sea de usarlos como fertilizantes. Finalmente, debemos enfatizar más el uso de energía de formas renovables: viento, agua, mareas, y mano do obra. No presumiríamos que pudiéramos pagar todos los costos de esta manera, pero, con planeamiento inteligente podríamos mejorar la eficiencia de nuestros sistemas de producción.

Cómo podemos formular esta meta objetivamente ? Varias relaciones existen, pero una muy sencilla es:

$$\text{Minimizar:} \quad \frac{\left(\begin{array}{c}\text{Costo de}\\ \text{Combustible}\\ \text{fósil}\end{array}\right)\left(\begin{array}{c}\text{Costo de}\\ \text{Energético}\\ \text{total}\end{array}\right)}{\left(\begin{array}{c}\text{Producción Primaria Neta}\\ \text{del Sistema Natural}\end{array}\right)}$$

En está expresión, reducciones, en cantidad de combustible o en energía total, tienen como resultado la reducción del valor de la expresión. Sin embargo, por caloría de reducción, los costos de combustibles fósiles tienen el mayor efecto. También reducciones pueden ocurrir en combustibles fósiles a costo de aumentos iguales o [illegible] 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 nive.

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

$$PPN_{\text{Agroecosistema}} \quad — \quad PPN_{\text{Sistema natural}}$$

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. Finalmente, es necesario el esfuerzo de hacer más eficientes nuestros sistemas productivos, los recursos energéticos del mundo, como ahora los conocemos, porque nos permitirán su uso descuidado para modificar la estructura y dinámica de ecosistemas más allá de ciertos límites razonables.

BIBLIOGRAFIA.

Buckman, H.O. y N.C. Brady 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon, Barcelona, 590 pp.

di Castri, F 1964. Posición de la ecología en la ciencia y en la sociedad actual. Anales de la Universidad de Chile, Nº 131, pp. 93-143.

Douglas, J.S. 1973. Forest -farming: an ecological approach to increase Nature's food productivity. Impact of Science on Society, 23(2):117-132.

Edmondson, W.T. 1970. Phosphorus, nitrogen and algae in Lake Washington after diversion of sewage. Science, 169:690-691.

Hanks,L.M. 1972. Rice and man. Aldine-Atherton, Chicago, 174 pp.

Hirst, E. 1974. Food - related energy requirements. Science, 184: 134-138.

Leith, H. 1972. Modelling the primary productivity of the world. Nature and Resources, 8(2):5-10.

Likens, G.E., et al. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. Ecol. Monog. 40:23-47.

Morgalef, R. 1968. Perspectives in ecological theory. Univ. of Chicago Press, Chicago. 111 pp.

Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science, 164:262-270.

Pimentel, D., et al 1973. Food production and the energy crisis. Science, 182:443-449.

Rappaport, R.A. 1971. The flow of energy in an agricultural society. Scientific American, 224(3):117-132

Steinhart, J.S. y C.E. Steinhart 1974. Energy use in the U.S. food system. Science, 184:307-316.

Agradecimiento:

Agradezco profundamente las sugerencias teóricas y la ayuda otorgada para la preparación de este manuscrito al Dr. Ernst R. Hajek.