

PROYECTO CEPAL/PNUMA
ESTILOS DE DESARROLLO Y MEDIO
AMBIENTE EN AMERICA LATINA

E/CEPAL/PROY.2/R.33
Octubre de 1979

Seminario Regional

Santiago de Chile, 19 al 23 de noviembre de 1979

ECOLOGIA Y ATRIBUTOS DEL ECOSISTEMA

Jorge H. Morello
Consultor

El autor agradece el intercambio de opiniones y la contribución en la estructuración de este trabajo a Nicolo Gligo Viel, Experto en Recursos Agrícolas y desarrollo del Proyecto Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina. Las opiniones expresadas en este estudio son de la exclusiva responsabilidad del autor.

79-9-2393

INDICE

	<u>Página</u>
I. MARCO CONCEPTUAL	1
A. Evolución del concepto de ecología	1
B. La etapa biologista: el análisis de sistemas	3
C. La ecología y la emergencia	6
D. El tratamiento de lo inesperado	9
E. El hombre en el ecosistema vía agrosistemas	10
F. Los límites y vínculos de la ecología	12
II. EL ECOSISTEMA	17
A. Estudio de la relación ecosistema-desarrollo	18
1. Tipos de ecosistemas	18
2. Análisis de ecosistemas para el desarrollo	18
3. Soluciones metodológicas para el estudio de ecosistemas	22
B. La biosfera como ecosistema	24
1. Lo que constituye la biosfera	24
2. Funcionamiento del ecosistema biosfera	28
3. Los niveles tróficos	30
4. Ciclos	30
C. Ecosistemas terrestres y estimadores de disturbio ...	32
III. ATRIBUTOS BASICOS DEL ECOSISTEMA	37
A. Diversidad	37
1. Diversidad específica	37
2. Diversidad espacial	39
3. Diversidad temporal	40
4. Diversidad y estabilidad	41
5. Diversidad y agrosistemas	42
B. Sucesión	45
1. Etapas o estadios de una sucesión	45
2. Sucesiones primarias y secundarias	46
3. Desarrollo de una sucesión, de suelo desnudo a climax	46
4. Sucesión y cadenas y redes tróficas	47
5. Sucesión y estratificación	47
6. Sucesión y tamaño de los organismos	47
7. Sucesión y ciclos de nutrientes	48
8. Otras características de las etapas de una sucesión	48
9. Teorías sobre el manejo de ecosistemas en función de la sucesión	49
C. Estabilidad	50
1. Estabilidad y procesos evolutivos	52
2. Consecuencias comunitarias de estrategias individuales, en cuanto a estabilidad	53
IV. CONCLUSIONES: MODALIDADES DE ENFOQUE DE LA RELACION NATURALEZA-SOCIEDAD	54

I. MARCO CONCEPTUAL

A. EVOLUCION DEL CONCEPTO DE ECOLOGIA

Aun cuando el neologismo, ecología, data de (E. Haeckel) 1869, su cuerpo teórico está en la infancia.

Haeckel, definió apriorísticamente su campo como "Conjunto de conocimientos que hacen referencia a la economía de la naturaleza, basados en la investigación de las relaciones totales de los animales y las plantas, con su medio ambiente".

La utilidad de esta definición es relativa, ya que introduce términos que requieren ser definidos. Concretamente ¿qué era economía de la naturaleza en 1869? Podemos pensar que Haeckel entendía por economía de la naturaleza al funcionamiento, a su dinámica.

Podemos pensar también que se refería a la relación entre gasto y reposición, o ingreso y egreso; a un cierto sentido circular, probablemente a circulación de la energía.

Como Haeckel definió por anticipado, una ciencia que no cultivó, debemos reconstruir la historia de la ecología hasta 1950, como concentrada en describir y estudiar la reacción de los organismos a los factores ambientales.

Hasta 1950 ocasionalmente se estudiaban las relaciones entre organismos, lo fundamental eran relaciones e interacciones seres vivos-medio físico.^{1/}

En 1955 aproximadamente, Luis Von Bertalanffy, fundó y organizó la sociedad para la investigación de sistemas generales, con la finalidad de reunir los problemas metodológicos de varias ramas de las ciencias y para llamar la atención acerca de la necesidad de un enfoque generalista para el análisis de sistemas y estructuras. En esa fecha aparecía en la ecología el concepto de ecosistema, el de comunidad y el de población, y se rescataba el concepto de Haeckel de relaciones totales.

^{1/} Rabinovich, Jorge, 1969, "El análisis de sistemas en ecología", en "Seminario Regional de estudios integrados en ecología". UNESCO, Montevideo.

Hoy podemos considerar a la ecología como la disciplina que tiene un campo inequívoco: la biología de los ecosistemas.

Esta etapa de 1950 a hoy puede definirse como un cambio gradual en el que los factores ambientales (físicos) pasan a un cómodo segundo plano, mientras que la investigación vuelca su peso a las relaciones entre organismos, sean intra o interespecíficos, y al estudio del sistema población, sistema comunidad y ecosistema. Los factores del ambiente abiótico sirven de perfil, de entorno de referencia, de las características que adopta un cierto proceso ecológico (estabilidad, flujo de energía, circulación de nutrientes, co-evolución, comportamiento).

Pero ese marco, deja de estar influyendo solamente y comienza a estudiarse la doble vía: cómo es influido y cómo influye el factor ambiente sobre los seres vivos.

El grado de complejidad del sistema naturaleza o ecosistema es tal que Rabinovich (1970) calcula que nada más que en elementos integrantes hay desde centenas a millares (cálculo parecido proviene también de Wittaker).

El número de interacciones entre estos elementos duplica a los propios elementos y en un ecosistema puede haber desde un millar hasta 4-5 000 interacciones.

Como explicitó un agrólogo argentino (Zaffanella) "llega un momento en que la mente más lúcida y más entrenada no puede llegar a abarcar y menos aún a unificar semejante grado de complejidad".

Llega el momento en que hay que operar con alguna metodología que permita establecer las principales combinaciones de elementos y relaciones para poder seleccionar sólo aquellos que son importantes.

Es aquí donde la ecología recurre a métodos que permiten estudiar el comportamiento de sistemas complejos. La ecología, rescatada por la biología, al decir de Rabinovich,^{2/} consolida sus posibilidades de enfoque holístico y adquiere capacidad de atacar problemas complejos gracias a los aportes de la estadística, la probabilidad, la computación, la econometría, la investigación operativa, la matemática aplicada, la biometría, etc.

^{2/} Rabinovich, Jorge, 1969, op.cit.

Se desarrolló un conjunto de métodos que permiten el análisis de sistemas complejos como son los ecosistemas.

En ecología, el análisis de sistemas comenzó a aplicarse por presiones externas a la propia disciplina, por problemas prácticos que presionaban al estilo de desarrollo capitalista "el que considera la naturaleza como materia prima susceptible de ser usada en un proceso de producción, sin otra repercusión que la de servir de insumo para que la actividad económica pudiera transformarla en el plazo más corto posible en satisfactores para el hombre" (Sejenovich y Sánchez, 1978).

El objetivo central de maximizar los rendimientos a corto plazo que de hecho impide respetar los "turnos" o "ciclos" ecológicos, generó problemas como: explosión de plagas, contaminación de aire, agua y suelos, destrucción del soporte físico de la productividad agraria (los suelos), modificación artificial masiva de ecosistemas, creación de obras masivas (represas) con oferta de nuevos nichos para los ecosistemas acuáticos, etc.

En este momento el enfoque de sistemas comienza a ser la herramienta de trabajo de los ecólogos pero, aún no se sabe donde poner al hombre en el análisis. Es el período biologista de la ecología cuyas características pasamos a describir.

B. LA ETAPA BIOLOGISTA: EL ANALISIS DE SISTEMAS

La ecología biologista considera al hombre sólo desde un punto de vista biológico, como un elemento del ecosistema, no como el más importante.

La falta de antropocentrismo, se vuelve alienante, y se trata de hacer investigación neutra o lo que se llama "objetivar los problemas". La dimensión social no cuenta y los datos neutros son elaborados con el método de análisis de sistemas.

Esta etapa asume para sí que la ecología es "la disciplina que estudia la naturaleza y su funcionamiento", es decir, las complejas y muy diversas relaciones entre plantas y animales, aire, tierra y agua.

La ecología biológica rescata y usa algunos elementos importantes del análisis de sistemas como (Rabinovich, 1971) el concepto de equilibrio

de sistemas dinámicos. Para mantener una cierta norma de equilibrio, es decir, para mantener una interrelación dada entre el ecosistema todo y sus partes, se hace necesario un mecanismo de control. Los controles en ecosistemas son de dos tipos: a) positivos, es decir, medios por los cuales cierto curso de acción lleva a la meta "deseada" y, b) controles negativos, por medio de los cuales ciertos cursos de acción se modifican para eludir o escapar de situaciones "no deseadas". Los dos tipos de controles constituyen lo que se llama lazos o circuitos de retracción o retroalimentación.

Los dos tipos de controles son lo que se llaman circuito de retroacción y retroalimentación. Todo ecosistema suele estar constituido por una combinación de mecanismos de retroacción positiva y negativa.

Saquemos un ejemplo de poblaciones plaga: que se caracterizan por el hecho de que cuando mayor es el número de individuos que la componen, crece más rápidamente. Ese es un típico mecanismo de retroacción positiva. El efecto depresor de la limitación de alimentos que hace que aumente la mortalidad representa un mecanismo de retroacción negativa.

Como norma, los lazos de retroacción positiva desestabilizan el sistema (incrementos poblaciones explosivos) mientras que los de retroacción negativa los estabilizan.

Para que los mecanismos de control funcionen, el ecosistema debe disponer de una señal de error (discrepancia entre lo que es y lo que debería ser).

Para que un ecosistema tenga capacidad de respuesta apropiada al disturbio, debe ocurrir:

i) Una historia de co-evolución prolongada (herbívoro y pastizal por ejemplo) como para proveer información mutua para el futuro.

Por ejemplo, en la reproducción de paloma (*Zenaida auriculata*), el "estro" comienza en primavera, época en que la oferta de alimento es suficiente para satisfacer las necesidades de los pichones.

Este mecanismo se ha vuelto eficiente porque durante miles de generaciones el ambiente ha "informado" a la paloma que con la llegada de la primavera se aumentan los alimentos disponibles. Igual tipo de información va a los árboles que florecen antes de dar hojas, a los árboles que

/voltean sus

voltean sus hojas en invierno. En fin, está en la memoria genética del organismo que la regularidad de las estaciones tiene ofertas y demandas específicas y concretas.

ii) El tiempo necesario para seleccionar la respuesta debe ser menor que el tiempo en el cual se necesita la respuesta.

Las hojas deben caer "antes" que se haya sobrepasado el stress hídrico, los animales deben reducir su natalidad antes de haber pasado la capacidad de mantenimiento del ambiente.

Las semillas deben entrar en dormición antes que aparezcan los mecanismos bioquímicos de la ruptura del letargo (luz, temperatura, agua).

La conclusión más importante que se desprende del estudio de los ecosistemas es que a medida que avanzamos en organización y complejidad, aumentan más las relaciones internas que las externas. El sistema se vuelve más cerrado. Un pastizal monoespecífico depende muchísimo de su relación con la oferta térmica y de agua del clima. Una selva ha creado un clima "endógeno" propio que le permite independizarse relativamente de su ambiente externo.

Este principio ha sido admirablemente expresado por Odum en relación a sucesión. A medida que un ecosistema se va complejizando (hay sucesión progresiva) ocurren estos cambios:

- La relación producción bruta/gasto de mantenimiento (o sea, respiración y reposición de tejidos) tiende a cero.
- Aumenta la diversidad (cuánto de cada elemento biológico y cuántos elementos).
- Aumenta la complejidad de las tramas tróficas.
- Los ciclos de vida se hacen más largos y más complejos (valores de 100 años para llegar a la madurez ecológica de un árbol, son comunes).
- La circulación de nutrientes entre organismos y ambiente se hace más perezosa o lenta (el grueso de los nutrientes queda retenido en la biomasa).
- Aumenta la estabilidad que es un complejo de valores que incluye: resistencia al disturbio, capacidad de retorno al estado inicial o elasticidad, velocidad de retorno después del disturbio, etc.

Los tipos de análisis que hace el ecólogo son:

Preguntas directas, conocemos las entradas al sistema: luz, temperatura, nutrientes. Conocemos además, las leyes del sistema, se trata de un cultivo y lo que deseamos es predecir las salidas (la cosecha).

Preguntas conversas, conocemos que salen granos del sistema, conocemos que el grano proviene del cultivo de sorgo y nos preguntamos acerca de las entradas: energía fósil en forma de pesticidas, abonos y labores mecanizadas, época de siembra, temperatura del suelo ideal para la siembra, plagas de pre-emergencia y emergencia de la plántula.

Preguntas inversas, conocemos las entradas y las salidas del sistema, por ejemplo, conocemos nutrientes que entran y salen y nos proponemos conocer las leyes que relacionen entradas y salidas, transferencia, velocidad de circulación, etc.

Cómo se opera. Obviamente primero hay que medir, pero no hay que medir todo, mediante consideraciones a priori. Se clasifican los componentes del ecosistema o de un proceso en estudio en básicos y subsidiarios. Básico es lo que aparece cada vez que encontramos el ecosistema o el proceso, la estructura vertical si analizamos el bosque; la arquitectura de los árboles en varias estrategias, las cadenas tróficas. Por ejemplo, en la relación predador-presa: las densidades de predador y de presa es un componente básico mientras que la velocidad de la presa es subsidiario.

En el análisis de productividad la pérdida de energía en cada transferencia es básica, pero el conocimiento de todos los organismos de cada nivel trófico es subsidiario.

C. LA ECOLOGIA Y LA EMERGENCIA

La ecología trata fenómenos que no pueden ser resueltos exclusivamente por las ciencias empíricas y tiene conceptos particulares, que hacen imposible que la consideremos una parte de la biología. Comencemos por discutir un grupo de atributos de los ecosistemas y de los organismos asociados:

Ajuste

Por ejemplo, el concepto de ajuste al medio (Fitness), implica que un organismo aumenta su masa y produce algo igual a él dentro de ciertos límites de variables ambientales.

Diversidad

Hay 2 000 000 de organismos distintos que significan 2 000 000 de soluciones al problema de ajuste, al de evolución, etc.

Evolución

Cambios previstos o no, con eliminación de aquellos que no significan una ventaja adaptativa.

Componentes del ecosistema

Un ecosistema posee varios elementos. Recursos consumibles como el agua, variables no consumibles como la temperatura y cinco niveles entre los que fluye energía, H₂O y nutrientes: productores, consumidores, carnívoros primarios, carnívoros secundarios y descomponedores.

Los flujos son unidireccionales (el de energía) y hay disipación en cada paso. Los ciclos son recursos que retornan (nutrientes).

Controles

Los sistemas ecológicos son sistemas con control por retroalimentación. La estrategia de la naturaleza es diversificar para estabilizar, pero eso tiene un techo, el exceso de diversificación puede reducir la eficiencia del flujo energético, porque en cada traspaso de energía hay disipación. Hay casos en que la alta diversidad es desestabilizante y hay casos (agrosistemas) donde la alta energía estabiliza, si la entrada subsidiada de fertilizantes pesticidas es constante.

Contaminación

En principio, la contaminación es desestabilizante y baja la diversidad del sistema (desaparecen organismos o funcionan mal).

Productividad

Ya dijimos que un ecosistema se compone de organismos autótrofos (las plantas), de consumidores (herbívoros), de predadores (carnívoros) y de descomponedores. En esta cadena trófica los nutrientes circulan asociados con la energía, y son excelentes indicadores de lo que pasa en el suelo, es decir, los nutrientes de la biomasa están estrechamente vinculados con el suelo.

En cuanto a capacidad de aprovechar la energía, el ecosistema es decididamente ineficiente.

Según Golley, las plantas sólo usan 1 a 3% de la energía solar, los herbívoros consiguen atrapar 0.4 a 0.5% de la energía fijada por las plantas y los carnívoros incorporan el 2% de la energía de los herbívoros.

Por supuesto, no todos los organismos tienen la misma capacidad de conversión. Desde hace 15 años se conoce un comportamiento fotosintético en plantas que es muy eficiente (ese comportamiento lo tienen casi todas las malezas).

En general, la velocidad de circulación de nutrientes en ecosistemas naturales y en agrosistemas es rápida. Lo que la planta toma del suelo lo devuelve en 4-5 meses en forma de hojarasca, y lo que toman los herbívoros vuelve en forma de deyecciones.

La materia que es devuelta en bosque es del orden de magnitud de 3.6 ton/ha/año.

En un agrosistema pastizal el pasto convierte en el mejor de los casos el 3% de la energía solar, el ganado vacuno puede atrapar como máximo la mitad (1.5%), de ese 1.5%, la mitad es gastada en control de temperatura, respiración, movimientos y 1/6 se transforma realmente en leche y carne, 1/3 de lo comido sale en forma de excretas.

En un agrosistema tradicional mexicano, en el cual se cultiva maíz y frijol con tecnología suave, sin subsidios energéticos importantes excepto el trabajo humano, la productividad descompuesta órgano por órgano medida en Chapingo (E. Hernández) es:

Cuadro 1. Rendimiento de los cultivos de maíz y frijol en un sistema de cultivo intercalado en un terreno de 1 ha, en un sistema de cultivo intercalado en un terreno de 1 ha, en un sistema de cultivo intercalado en un terreno de 1 ha.

	Maíz	Frijol	Minnesota con subsidio energético	Maíz
Espiga	130.81	-		
Tallo	1 971.0	43.14		
Hoja	1 357.0	4.62		
Totomoxtla	682.0	-		
Olote	300.0	-		
Raíz	476.0	10.75		
Grano	2 715	197.49		
Arvenses (malezas)	1 954.95			
Σ maíz	7 633 kg/ha/año			
Σ frijol	315.36 kg/ha/año			
Σ maíz más arvenses	9 904.12 kg			9 177 kg/ha/año
Relación grano/resto	1 a 2.5			
Maíz y frijol negro intercalados.				

D. EL TRATAMIENTO DE LO INESPERADO

Los esfuerzos recientes en ecología y en manejo de recursos renovables y en ecología aplicada en general, han sido aproximaciones de prueba y error. Y esa es la manera de avance de la sociedad. 3/

La información existente se moviliza y organiza para ser probada, y si se detecta un error, esta detección produce información adicional para modificar nuevas pruebas.

3/ Ideas desarrolladas por Hollings y colaboradores; 1978, Adaptive environmental assessment and management, Wiley.

Esos errores, esa prueba de falso o cierto ha sido esencial para avanzar sobre lo desconocido, prueba que genera nueva información de la que se nutre el conocimiento. Pero las sociedades capitalistas con sus acciones masivas desde el canal de Panamá hasta la Transamazónica y la Panamericana en el Darién, está haciendo pruebas de demasiada intensidad y extensión. Esas pruebas pueden generar errores que ya no enriquecen, porque son superiores a los que la humanidad puede restañar o corregir.

La ecología está de moda porque el desarrollo tiene pruebas demasiado esenciales y profundas como para no desarrollar una estrategia para poder enfrentar lo inesperado, lo imprevisible, lo desconocido. A los ecólogos les compete diseñar sistemas que permitan predecir eventos inesperados. El desarrollo implica ejecutar obras masivas donde lo inesperado es muy importante. Lo inesperado viene enlazado con las propiedades de estabilidad de los sistemas y sobre todo con la forma como percibimos esas propiedades de estabilidad.

Un sistema globalmente estable es el paradigma que fue asumido siempre por la sociedad capitalista. En realidad una selva, un desierto, pueden tener muchos parámetros estables pero el hombre puede atacar justamente sus parámetros de desestabilización (tumba, roza, quema, pastoreo). Si el sistema se está moviendo cerca de sus límites, un pequeño incremento de cambio puede sorpresivamente cambiar los comportamientos y los costos de operación del sistema todo.

La historia de "éxito", es decir, a cada enfermedad encontramos la cura, nos puede llevar a situaciones de irreversibilidad.

E. EL HOMBRE EN EL ECOSISTEMA VIA AGROSISTEMAS

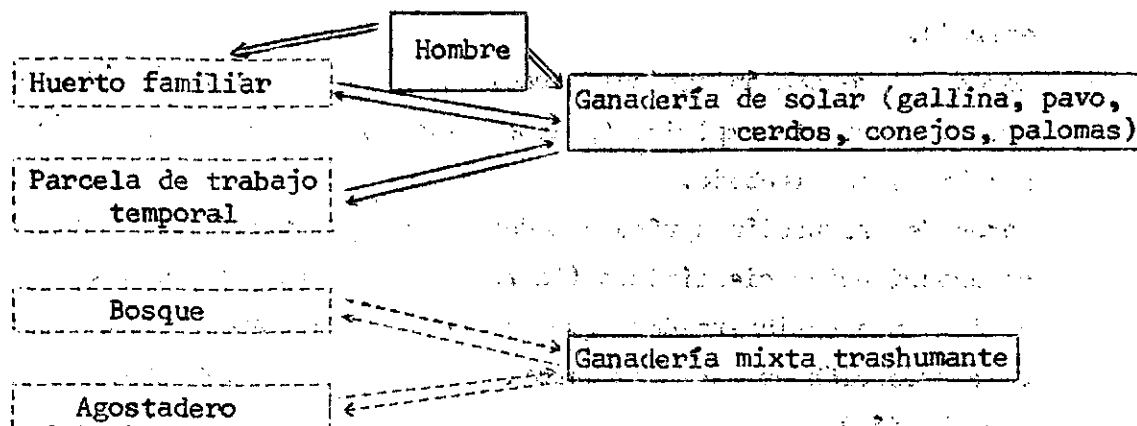
Mucho antes que los ecólogos biólogos comenzaran a incluir el hombre organizado con sus estilos de desarrollo y sus sistemas de valores, los agrónomos al estudiar los ecosistemas incluían el análisis de las interrelaciones planta-animal-hombre en tres dimensiones tiempo-medio ecológico-medio cultural.

Esa necesidad surgía del conocimiento de los medios de producción, del valor de uso que cada estilo de desarrollo da a cada producto y de los siguientes elementos que son sustantivos en el análisis de cada agrosistema.

- Programas de investigación imitativos o tradicionales locales.
 - Modos de producción agrícola que ahorran mano de obra y dilapidan energía.
 - Modos de producción agrícola tradicional que usa tecnología emanada del conocimiento empírico (prueba y error) que se transmite de palabra y por trabajo.
 - Modos de producción agrícola moderna, con tecnologías surgidas de experiencias científicas (la revolución verde que es una agricultura de invernadero que requiere una inversión cuya seguridad de retribución es cada vez menor, que produce productos de exportación).
 - Ambiente de operación de la agricultura de temporal: temporal de cosecha garantida y temporal de cosecha incierta (el territorio de cosecha imposible sin riego es ocupado por la tecnología de la revolución verde).
 - Mezcla de valores económicos en procesos de transmisión de conocimientos ecológicos como por ejemplo la divulgación agrícola que va asociada al crédito. El crédito se da cuando el agricultor acepta coercitivamente innovaciones, tal semilla, tal densidad, de tal forma. Cuando el crédito se retira el agricultor vuelve a la agricultura tradicional.
- La ecología comienza a ligarse a los procesos productivos, a evaluar los mitos agropecuarios como por ejemplo, que un país no es desarrollado si no produce trigo.
- Reubicación del valor de uso de las especies arvenses (malezas), de las que la agricultura tradicional usa para alimentos varios y para forrajeras.
 - Las consecuencias de la llegada del tractor, con su constelación de innovaciones y sus requerimientos de servicio, de subsidios energéticos, de nivel educativo.

- Necesidad de relaciones fuerzas productivas, relaciones sociales de producción y medios de producción.

En los agrosistemas comienzan a reconocerse modelos en los que el hombre regula, controla entradas y salidas de una serie de compartimentos que en una agroproducción tradicional mexicana pueden esquematizarse así:



4 = Sistema de control de información más trabajo acumulado más trabajo actual.

☐ = Actividades de producción primaria.

▣ = Actividades de producción secundaria.

↔ = Actividades primarias y secundarias muy vinculadas.

⇄ = Territorios alternativos para trashumantes.

F. LOS LÍMITES Y VINCULOS DE LA ECOLOGIA

Como en toda disciplina científica, los conceptos de la ecología surgen de una práctica social-histórica y conforman un cuerpo de teorías.

A los fines de este trabajo, los problemas que influyen de manera decisiva, a nuestro juicio, no tanto en el contexto de la elección de los temas ecológicos que hay que encarar en forma prioritaria en América Latina, sino sobre las características y límites de la ecología, como ciencia que estudia las interacciones entre los seres vivos, entre sí y con el medio ambiente, y su vinculación con algunas ciencias sociales y con la economía, son:

- Los temas y los métodos de la ecología como disciplina científica son un producto histórico del tipo particular del desarrollo económico-social de una sociedad históricamente determinada.
- Las preguntas que contesta el científico son generadas en el nivel económico de la formación económica-social y no exclusivamente en el campo de su actividad.
- Existe una relación o articulación estrecha entre los científicos, la producción científica y el mundo de la producción, aunque no inmediata.
- El nacimiento de la ecología como disciplina relativamente autónoma está ligada a la necesaria solución de algunos de los problemas que produce la revolución industrial en los países más desarrollados.
- La ecología analiza objetos de estudios que en algunos casos se superponen parcialmente con los de las ciencias sociales, lo que le permite a ciertos "científicos" apropiarse incorrectamente de categorías ecológicas para el análisis de los problemas del hombre y la sociedad.
- La ecología como el estudio del comportamiento de las relaciones hombre-naturaleza, incluyendo dos subsistemas con estructura y relaciones internas distintas: el social y el natural, está recién en la etapa de desarrollo.

Este tema, en el que se insiste en el estudio sobre "proceso histórico y tendencias de los problemas ecológicos en América Latina", requiere ciertas precisiones.

Desde la economía clásica se vienen señalando los estrechos vínculos entre las leyes de la sociedad y de la naturaleza, pero en 1979 todavía no se ha formalizado operacionalmente un enfoque que permita analizar esos vínculos.

Pareciera que el trabajo metodológico se desenvuelve hoy en varias líneas, entre ellas:

- Contradicción entre acumulación de capital, acelerada rotación del mismo, horizonte de planificación de inversiones de corto plazo por un lado y los ciclos ecológicos por el otro.^{4/}

^{4/} Hurtubia, Sánchez, Sejenovich y Szekely, 1976, Oficina Regional para América Latina del PNUMA.

- Sistema social-natural como constituido por una función de producción y varias de consumo, analizando "homologías entre sistemas ecológicos y económicos", 5/ sobre la base de la ecuación biológica básica: Producción Neta 6/ = Producción Bruta-Respiración Comunitaria.
- El enfoque de espacio económico de los planificadores físicos, como resultante de la interacción población-lugar-trabajo, en un sistema abierto compuesto de subsistemas. 7/
- Leyes físicas que gobiernan la relación entre actividad económica y medio ambiente, 8/ medida como entradas al sistema económico y salidas por descargas residuales reutilizadas (transformación en entradas) o no.

El dudoso uso de la ley de conservación de la materia, lleva a la más dudosa conclusión de que no necesariamente aparecen conflictos entre actividad económica y desarrollo, cuando las entradas son convertidas en salidas y estas últimas eficientemente reutilizadas.

Si esas condiciones no se dan, las relaciones sociedad-naturaleza están reguladas por: la capacidad de absorción de residuos (reciclado incluido) del ambiente, el uso y la tasa de agotamiento de los recursos naturales no renovables, la capacidad de conversión de desechos en entradas utilizables, la duración de los productos finales, la tasa de crecimiento poblacional.

Todo el razonamiento está viciado por la no consideración de fenómenos tales como:

-
- 5/ Bartolucci, J., Departamento de Economía, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, 1975.
 - 6/ PN entendida como la acumulación de materia a nivel agregado.
 - 7/ OEA. "Bacia do rio da Prata, estudo para sua planificação e desenvolvimento". 1975.
 - 8/ James, J. "Growth, technology and the environment in LDC's: a Survey in World Development", 6: 937-965. Pergamon Press, 1978.

- > Dislocación territorial de tipos de entradas y salidas, con salidas permanentes de recursos naturales renovables del medio rural y de contaminantes en el medio urbano y entradas permanentes de fertilizantes y pesticidas en el medio rural. Las modalidades de entradas y salidas están separadas en el espacio y son fuertemente contradictorias y su no consideración hace, a juicio de los ecólogos, no operativo este enfoque.
- Diacronía biológica y biológico-climática, es decir, que la oferta y la demanda suelen estar fuertemente separadas en el tiempo.
- Dislocación espacial de capacidades de disipación del ambiente y capacidades de contaminación. Por ejemplo, un modelo de país con baja capacidad de autopurificación de cuerpos de agua es México, donde el 70% de la población del país y el 80% de la industria está localizado sobre áreas geográficas donde se presenta sólo el 15% del recurso agua.^{9/}
- Idéntico camino reciente es el caso peruano donde la costa, con el 5% del recurso nacional de agua, aloja el 38.3% de la población y el 80% de la industria. Esa tendencia se va a acentuar por la incorporación del Norte Grande peruano a la producción industrial. Allí residen recursos no plenamente utilizados como hierro, fosfatos y pesquería.^{10/}
- Dislocación territorial de oferta de recursos: por ejemplo, Argentina es un país terminal en cuanto a recursos hídricos, y el 80% de los mismos provienen de altas cuencas ubicadas fuera de su territorio. Sus posibilidades de regulación de sedimentación, contaminación a distancia, inundaciones, llegada de detritus y migración de peces, están sujetas a decisiones que se toman fuera del sistema país, en las altas cuencas.

9/ Szekely, F. "Los problemas ambientales de México", en "El medio ambiente en México y América Latina". Edit. Nueva Imagen, 1978.

10/ Neira, E. "Los asentamientos humanos y sus problemas en América Latina", en "El medio ambiente en México y América Latina". Edit. Nueva Imagen, 1978.

Aceptando que los vínculos naturaleza-sociedad no han sido formalizados operacionalmente todavía, surge que la ecología en su carácter de disciplina de síntesis, ofrece un útil marco de referencia para la orientación de las investigaciones biológicas, de producción silvoagropecuaria, pesquera, manejo de recursos naturales renovables, evaluación de capacidad de soporte de los ecosistemas,^{11/} de impacto ambiental, de área mínima de recuperación, de estado mínimo de recuperación de poblaciones (Minimal Recovery State; IUCN-UNEP, Project FP/1110-79-01), de contaminación, ordenamiento territorial.

Con esta óptica realista podemos comenzar a analizar el hecho de que en ningún lugar de América Latina hay un subsistema natural que no sea en mayor o menor medida interlocutor de un subsistema social (influido e influenciado por éste).

^{11/} "Land capability assessment", "Carrying capacity", en "Range Ecology" y el reciente concepto de "Ecosystem capability assessment" del IUCN-UNEP, Project FP/1110-79-01.

II. EL ECOSISTEMA

En biología hay un nivel de organización que integra poblaciones de organismos y el ambiente físico. A ese nivel, la circulación de energía y los ciclos de nutrientes son interacciones de enorme importancia práctica y teórica. Esa importancia es lo que ha hecho que el nivel de complejidad biológica "ecosistema", adquiere relevancia en el trabajo ecológico de los últimos 30 años.

Una adecuada definición operativa de ecosistema es: el sistema que engloba las comunidades (animales y vegetales) interactuando entre sí y con el medio ambiente físico, en un espacio definido. La ubicación de los límites de un ecosistema está dada por la aparición de discontinuidades en parámetros que son asumidos como significativos para determinado ecosistema en estructura, en función y en información (controles).

Los sistemas ecológicos que soportan las sociedades humanas son manejados por la energía solar que entra en el mundo vivo por intermediación del proceso fotosintético. Sobre la base del recurso energético provisto por las plantas, han evolucionado una enorme variedad de comunidades de plantas y animales. Cada uno de esos sistemas tiene cierto grado de estabilidad que es el resultado de las clases y número de interacciones entre las especies que lo componen y los cambios del subsistema físico (naturales o generados por el hombre).

La historia de cualquier civilización es la de una creciente presión sobre los sistemas ecológicos, como consecuencia de actividades sociales, y su conversión en sistemas de extrema simplicidad diseñados para "maximizar el flujo de energía y otros recursos a esas civilizaciones, y minimizar ese flujo hacia otras poblaciones competidoras no utilizables o parcialmente utilizables, definidas como plagas y malezas".

Se reemplazan sistemas complejos, por simples, se incorpora energía en forma de labores mecanizadas, control químico de poblaciones competidoras, y fertilizantes para cultivos seleccionados sobre la base de altos rendimientos sostenidos por fertilización, irrigación, control de plagas.

Por ejemplo, la producción agrícola en Amazonia, se basa en un consumo de fertilizantes que equivale al 70% de los costos de cada cultivo.

A. ESTUDIO DE LA RELACION ECOSISTEMA-DESARROLLO

1. Tipos de ecosistemas

Para nuestros fines interesa reconocer 3 tipos de sistemas ecológicos: el natural, el silvoagropecuario y el urbano.

- Un ecosistema natural se caracteriza por tener tramas alimenticias 12/ altamente complejas y alta diversidad de máquinas biológicas (especies). Hay evidencias de que tramas tróficas complejas van asociadas a alta estabilidad, y las fluctuaciones de número y tipo de poblaciones son mínimas.
- Un sistema silvoagropecuario es construido, simplificado, con pocos controles naturales, altamente subsidiado energéticamente.
- Un sistema urbano, es totalmente subsidiado energéticamente y el subsistema sociedad controla totalmente al subsistema natural.

Otro enfoque basado en la intensidad y extensión de la influencia humana, 13/ reconoce 3 tipos:

- Ecosistemas originales, donde no es necesario apoyo humano para su funcionamiento a largo plazo.
- Ecosistemas modificados, donde los cambios selectivos introducidos por el hombre, hacen necesario cierto apoyo adicional para mantener la estructura y el funcionamiento deseable para fines productivos.
- Ecosistemas transformados, dominan, o estructuras de soporte no biológicas (ecosistemas humanos), o monoculturas, y sólo se mantienen con permanente apoyo humano.

2. Análisis de ecosistemas para el desarrollo

En el análisis de un ecosistema, original, modificado o transformado para su uso, recuperación o conservación, se usa una variada gama de artificios técnicos llamadas colectivamente métodos de evaluación.

12/ Trama alimenticia: los canales o caminos por los que la energía es transferida desde su origen de captura (las plantas) a los herbívoros, carnívoros y detritívoros.

13/ "A world conservation strategy". IUCN-UNEP-WWF, General Assembly Paper GA 78/79, 1978.

Todas se basan en alguna combinación matricial de:

- sistema natural vs. actividad;
- actividad vs. impacto;
- actividad vs. efecto.

La secuencia lógica de la evaluación es:

- Inventario del ecosistema.
- Determinación de la capacidad de soporte de cada ecosistema para usos alternativos.
- Determinación de impacto ambiental para proyectos específicos.
- Determinación del área mínima de recuperación del ecosistema.
- Determinación del área mínima de conservación del ecosistema.
- Determinación del estado mínimo de recuperación de poblaciones naturales valiosas.
- Determinación de tipo y grado de contaminación.

El inventario como análisis de qué hay, dónde, cuánto y de qué forma se presenta, es tratado en un estudio aparte.

La evaluación de impacto ambiental (EIA) como artificio técnico, es ampliamente conocida en la literatura reciente de SCOPE, OEA, UNEP y FAO, para sólo citar 4 agencias de UN con proyectos específicos en el tema, y en América Latina.

La evaluación de la capacidad de soporte de cada ecosistema, ECA,^{14/} puede rastrearse en el concepto de capacidad de carga de los "range ecologists" y en el de "capacidad portante" de los ecólogos de asentamientos humanos.

La capacidad de soporte es evaluada para: precisar alternativas de uso, y para proyectos de desarrollo específicos.

Por ejemplo, dentro de una estrategia de conservación, produce la siguiente información: áreas de potencial silvoagropecuario construido, áreas de uso múltiple, áreas con ecosistemas naturales productivos que deben manejarse, áreas de protección de cuencas, ofertas del subsuelo, riesgos potenciales si se cambia la estructura y el funcionamiento de

^{14/} "Ecosystem capability assessment". Project FP/1110-79-01. UNEP-IUCN, 1979.

ecosistemas, áreas a preservar (como muestra comparativa), como centro de evolución genética de poblaciones de valor para mejoramiento fito y zootécnico, especies en peligro de extinción, especies naturales de gran valor económico, en uso o desapercibidas.

Area mínima de recuperación de un ecosistema (EMRA).^{15/} Tema recién llegado al campo operacional, como consecuencia de la conferencia de las Naciones Unidas sobre la desertificación UNEP/FAO/UNESCO/OMM, 1977.

Implica una evaluación de la superficie del núcleo y del área buffer necesaria para que un ecosistema deteriorado pueda reconstituirse con y sin acciones de apoyo del hombre.

Area mínima de conservación de un ecosistema (EMCA).^{16/} El tamaño de áreas de uso especial es un problema de preocupación creciente en América Latina, tanto en países chicos como grandes. Así, en Panamá el "Plan maestro para el establecimiento y manejo del Parque Nacional Darién" ^{17/} de 150 000 hectáreas, enfrentó eficientemente un problema medular: evitar colocar una enorme superficie de potencial agrícola fuera de la producción sobre base permanente. Para ello fue necesario conocer área mínima para gran parte de los componentes móviles (animales) e inmóviles del sistema, en su estación de distribución concentrada y en la distribución difusa (época de migración), relaciones con ecosistemas vecinos y fenómenos de dispersión.

El "Plan Maestro" fue consecuencia de la reunión sobre Manejo de Recursos Naturales y Culturales de San José, promovida por UNEP-IUCN y WWF, y realizada en 1974, de los estudios norteamericanos para construir el "Canal Transoceánico a Nivel", de definir políticas con respecto a los 305 km que faltaban construir de la Carretera Panamericana y para el destino del Darién como tapón antiaftosa, y del trabajo de OEA.

Lo positivo de este plan cuidadosamente elaborado, es:

- Incorporación de los indígenas chocoes y kuna en el plan de manejo, en un "programa para los habitantes indígenas".

^{15/} Ecosystem minimal recovery area.

^{16/} EMCA = Ecosystem minimal conservation area.

^{17/} RENARE/COFFA/CATIE, 1978.

- Establecimiento de un programa silvoagropecuario "para los habitantes no indígenas" (colonos).
- Ello obliga a incorporar figuras jurídicas inéditas para América Latina y a dividir el parque en:
 - área de conservación absoluta;
 - área cultural: - de conservación
 - activa
 - de desarrollo controlado

Igual inquietud aparece en los recientes esfuerzos del IBDF en Amazonia,^{18/} lo que parece haber pasado desapercibido en todas las evaluaciones que se vienen haciendo desde hace 18 años sobre las relaciones desarrollo y medio ambiente, en el específico caso del desarrollo de la Amazonia brasilera.

Area mínima desde el punto de vista ecológico, depende directamente de la heterogeneidad del ecosistema a proteger, de la distribución de sus elementos, de las relaciones con otros sistemas, sobre todo en lo que a recursos hídricos se refiere, del grado y tipo de manejo que se pretende hacer en él, del tipo de economías que incluirá (subsistencia, de mercado) y de los perfiles culturales de las poblaciones incluidas (indígena, colono).

Estado mínimo de recuperación de poblaciones (MRS).^{19/} Se refiere a poblaciones especialmente significativas por su valor económico y ecológico, y es la población mínima en clases de edad, número y estado sanitario, compatible con la supervivencia de la especie. Los estudios recientes de Terborgh ^{19/} muestran que el MRS, es tremendamente variable de especie a especie y entra en colisión con las necesidades de tierra agrícola en muchos países latinoamericanos. Por ejemplo, Terborgh,^{20/}

^{18/} Wetterberg et altr. "Conservação da natureza na Amazonia" IBDF, 1975, y Serie Técnica Nº 8, Proyecto PNUD/FAO/IBDF/BRA 45, 1976.

^{19/} MRS. Minimal Recovery State (MRS). UNEP-IUCN, Project FP/1110/79-01.

^{20/} Terborgh, J. "Faunal equilibria and the design of wildlife preserves" 1975.

trabajando en el Parque Nacional Manu en la Amazonia peruana, encontró que 1 900 km² pueden albergar 8 núcleos familiares de *Pteroneura brasiliensis*, lo que puede o no ser una población viable en el largo plazo.

Una población genéticamente viable de carnívoros grandes (jaguares) de la selva pluvial tropical de llanura, necesita una superficie de 2 500 km² y comprende 25 núcleos familiares 21/ y una superficie parecida (2 590) aconseja Terborgh 17/ para avifauna neotropical en selva pluvial tropical, con el objeto de reducir la tasa de extinción del stock inicial a menos del 1%/100 años.

Tanto el ECA como el EMRA, EMCA y el MRS, son conceptos que recién se están probando en América Latina, en distintos ecosistemas y en distintas realidades socio-económicas.

Se trata de conceptos fundamentales ligados a desarrollo y conservación como elementos dialécticos de una realidad productiva actual y futura.

3. Soluciones metodológicas para el estudio de ecosistemas

Actualmente las soluciones metodológicas para el estudio de la complejidad organizada del ecosistema derivan de técnicas que esquematizan la realidad para comprenderlas, sea con la teoría general de sistemas, sea con el enfoque experimentalista y el uso de fitotrones. De ningún modo el tema está agotado y esa metodología es la panacea.

El análisis de sistemas es una herramienta poderosa que se usa desde hace 45 años, requiere todavía no sólo ajustes sino, en nuestra opinión, flexibilidad en cuanto al tipo de información que realmente existe en América Latina. En ese sentido, los esfuerzos de Gallopín 22/ y su equipo son pioneros. El gran aporte del enfoque sistémico radica en que si antes se hablaba de propiedades para definir relaciones, ahora se usan relaciones para definir propiedades.

21/ Wetterberg, G.B. "A general programme for wildlife management and conservation in Brazil". FO/BFA/76/027, Technical report 6.

22/ Gallopín, G., 1972. Revista Argentina de Ecología 1 (1).

El punto de vista de Gallopín sobre ecosistemas y análisis de sistemas en América Latina, es el que sigue.

Es importante considerar críticamente el problema desde el punto de vista ecológico. La pregunta básica, no siempre planteada a priori, es la siguiente: ¿hasta qué punto las técnicas matemáticas usadas se adaptan al tratamiento de los problemas ecológicos y hasta qué punto las mismas técnicas condicionan la investigación y el tipo de respuestas que se requieren del problema? Cuando uno considera esta cuestión como ecólogo, es posible apreciar que, en última instancia, muchos de los resultados más importantes que se esperan de una investigación ecológica se expresan en forma cualitativa o semicuantitativa, del tipo de decidir si la población X reemplazará a la población Y, si el ecosistema es estable o será irreversiblemente alterado en un lapso acotado, etc. Por otra parte, un aspecto evidente de los datos ecológicos es que generalmente, y aún en los casos en que se utiliza instrumental sofisticado, su grado de precisión es relativamente bajo. Gran parte de la información primaria está sujeta a grandes errores, es sólo información ordinal (del tipo de X mayor que Y, menor que Y) o incluso nominal (cualitativa). El sólo hecho de plantear una ecuación diferencial lleva implícito el supuesto de un grado de precisión que casi siempre excede al de los datos originales. Este razonamiento es también válido para los modelos estocásticos, en cuanto suponen determinadas funciones de distribución aleatoria de las variables.

Se puede concluir entonces, que para analizar un sistema en forma global y eficiente no es absolutamente indispensable contar con enormes series de datos detallados, con sus requerimientos de métodos sofisticados y costosos de obtención y elaboración automática de los mismos, salvo en los casos poco frecuentes en que se considere realmente necesario efectuar predicciones cuantitativas con un alto grado de precisión.

Habiéndose mostrado así el uso del análisis de sistemas no está necesariamente asociado a costos elevados e instrumental sofisticado, es necesario mencionar las vías de ataque que, a juicio del autor, parecen más promisorias para una tarea de adecuación a las condiciones latinoamericanas. El estímulo principal en el desarrollo de un nuevo enfoque

/debería encontrarse

debería encontrarse en el área de las matemáticas no numéricas. La topología, la teoría de los conjuntos, el álgebra de Boole, la teoría de las relaciones, son ejemplos de ramas no numéricas de las matemáticas, que permiten explorar las características y propiedades de sistemas de variables cualitativas, y extraer conclusiones rigurosas a partir de conceptos no necesariamente definidos numéricamente, y aún incluso de conceptos imprecisos. Este tipo de teorías matemáticas debería jugar un papel muy importante, en conjunción con las técnicas de simulación, construcción de modelos dinámicos y experimentación matemática, en la elaboración de un enfoque no numérico del análisis de sistemas ecológicos en América Latina y en general en el Tercer Mundo. Por sus propias características, el desarrollo de un enfoque de este tipo requiere necesariamente la íntima colaboración entre ecólogos y matemáticos.

En conclusión, el autor está firmemente convencido que el desarrollo de nuevos enfoques del análisis de sistemas ecológicos, adecuados a las condiciones y problemas propios de América Latina, es uno de los grandes desafíos al ecólogo latinoamericano, íntimamente relacionado a los otros desafíos de magnitud que se le plantean, todos los cuales implican un gran aporte de originalidad creativa, seriedad científica, responsabilidad social y acción, tanto educativa como directa.

B. LA BIOSFERA COMO ECOSISTEMA

1. Lo que constituye la biosfera

Ciertas explicitaciones muy generales son necesarias si queremos comprender fenómenos tales como productividad, contaminación y deterioro.

Hasta ahora, la casi totalidad de la vida del hombre transcurre en la biosfera, sobre ella actúa y de ella recibe influencias y respuestas.

Esta biosfera tiene una película extremadamente delgada que envuelve el globo siguiendo el relieve e incluye como elementos o componentes a las únicas formas de vida conocidas en el universo. El espesor de esta capa irregular es de apenas 200 metros, que incluye 150 metros bajo el nivel del mar donde vive del grueso de la vida marina, y 50 metros en tierra, que es la altura de los gigantes del bosque.

Es la capa de trabajo fotosintético o eufótica e incluye en la interfase aire-suelo unos pocos centímetros del suelo, su superficie y la porción de la atmósfera donde el agua se presenta en su fase líquida. Por encima hay una parabiosfera con formas de vida deshidratadas, de bajo metabolismo (esporos de bacterias y hongos o aeroplancton),^{23/} que funcionalmente hablando equivalen a las cápsulas espaciales tripuladas, en el sentido de que tienen una oferta de alimento limitada y para continuar con ciertos procesos vitales, deben bajar a la zona eufótica.

En términos de altura absoluta sobre el mar, por encima de 6 200 metros, zona eólica, no hay vida activa porque no hay agua líquida y la presión de las fases (CO₂) es la mitad del nivel del mar. En el mar y cuerpos de agua dulce profundos, la vida no termina por debajo de la zona eufótica. Debajo de ella hay una zona gravitativa donde la gravedad moviliza el flujo energético por lluvia de cadáveres, deyecciones y organismos vivos.

La vida vegetal del océano es planctónica o móvil, pero en un sentido especial.

La turbulencia es la que impide que los océanos queden sin vida en superficie.

Las células del plancton son algo más densas que el agua de mar y en condiciones de calma, ellas se hunden lentamente de acuerdo a forma, tamaño y densidad.

Las células, cuando se hunden se dividen y la población de la superficie es continuamente renovada por surgencia turbulenta.

El hundimiento del fitoplancton es el medio más simple de salir de una parcela de agua donde se han agotado los nutrientes.

El peso de las células que determina caída de las células interactuando con la turbulencia en el medio acuoso equivalen a los huesos y las estructuras musculares interactuando con la gravedad, cuando caminamos en la interfase sólido-líquido.

^{23/} El aeroplancton juega un papel recién descubierto de "contenedor" de enfermedades virósicas, bacterianas y fúngicas, transportadas a distancia y descargadas en la atmósfera por los aviones transcontinentales (v.g. cólera).

Desde hace por lo menos 400 000 000 de años, la mezcla de gases y vapor de agua en la atmósfera alcanzó proporciones capaces de sustentar la vida.

Desde esa fecha hasta hoy las proporciones de la mezcla fueron mantenidas con incomparable precisión. Ese mantenimiento se produjo a través del reciclado de materia y energía por los seres vivos. Plantas, animales, hongos y bacterias usaron y devolvieron esos gases en idénticas proporciones.

De la mezcla de gases, el oxígeno es el crítico, lo que los analistas llamarían la constricción del sistema biosfera.

Por otro lado, un 70% de ese oxígeno producido proviene del fitoplancton. Ya podemos ir un poco más lejos y reconocer que en un sistema biológico, hay poblaciones que son más importantes que otras en relación a 3 cosas, a la fracción de material que produce, a la fracción de recursos del sistema que consume y a la fracción de espacio de nicho ocupado.

Es evidente que para la estabilidad de la biosfera, el valor de importancia del fitoplancton supera al del resto de las plantas.

La biosfera como megasistema biológico, modifica las temperaturas haciendo habitable el planeta, desacelera movimientos rápidos de grandes masas de agua, y modifica lo que se llama la trayectoria, o línea de comportamiento de sus subsistemas integrantes y lo hace de modo tal que la vida humana ha sido posible en el globo.

¿Qué tiene de especial la biosfera como ecosistema?:

- Abundante agua líquida.
- Recibe energía desde afuera.
- Posee vastas interfases entre los tres estados de la materia.
- Tiene organismos que metabolizan activamente, estructurados como sistemas complejos de macromoléculas orgánicas dispersas en medio acuoso.

La adaptabilidad de los organismos es tan grande que en los desiertos y en el ártico hay formas de vida (estrategias adaptativas) que contienen en su interior la única agua líquida de la vecindad.

Dentro de la biosfera, los ecosistemas más eficientes son los que ocupan interfases en especial allí donde una fase es la sólida (ecosistemas forestales, pastoriles).

Incluso la máxima productividad primaria del planeta se da en una interfase triple con las plantas superiores (macrofitas de pantanos, arrozales) con raíces en sedimentos bajo agua (barros) y las hojas al aire. Ello se debe a que en la interfase triple se optimizan las necesidades fundamentales de los productores primarios que son:

- Agua, que se mantiene a presión constante por la capa líquida ubicada encima del barro.
- Anhidrido carbónico, que es fácilmente tomado del aire, donde la velocidad de difusión sobre la superficie de absorción es máxima.
- Oxígeno.
- Nutrientes en la solución del agua de los poros del sedimento, abastecidos por fuentes externas gracias al pulso anual de inundación.

Aquí ya podemos avanzar reconociendo la existencia de ecosistemas cuya productividad alta y su propia estabilidad depende de pulsos drásticos (sequías, incendios, inundaciones).

El pulso de inundación como fertilizante es conocido desde milenios y ha sido admirablemente estudiado por Odum.^{24/}

El pulso fertilizante del fuego, maximizado en el sistema tumba-roza-quema de la agricultura itinerante requiere datos concretos por ser poco conocido, los que se presentan aparte. Desde hace 10 años se sabe que el banco de nutrientes de un bosque tropical y subtropical está en los árboles y no en el suelo, y el incendio forestal lo que hace es liberar nutrientes atrapados y transferirlos al suelo. La agricultura itinerante, con el sistema tumba-roza-quema, libera instantáneamente los nutrientes de la biomasa forestal, que se usan como fertilizantes de 3 cosechas de arroz, maíz o yuca (Zinke, P., in litt., 1979).

^{24/} La productividad primaria neta de un pantano o una sabana tropical anegable, llega a 4 000 g/m²/año de peso seco, casi iguala la de los cultivos, iguala a la de los arrecifes coralinos y supera en 500 gr la del bosque tropical (Leith, H. "Comparative productivity in ecosystems, the primary productivity". Proceed. 1rst. Congr. of Ecology, La Haya, 1974.

La rotación de tierras en ciclos de 10 años (Zinke, para Thailandia), garantiza la reconstitución del banco biológico de nutrientes.

La agricultura itinerante, si es estable, es un proceso productivo altamente eficiente ecológicamente hablando para sistemas cuya estabilidad depende del pulso fuego y de la rotación, no de cultivos sino de parcelas productivas.

2. Funcionamiento del ecosistema biosfera

La energía solar entra en el ciclo biológico casi exclusivamente a través de la producción fotosintética de materia orgánica por organismos que tienen clorofila (bacterias verdes y púrpura; algas azul-verdosas, fitoplancton y las plantas superiores).

La zona de trabajo fotosintético es la eufótica (pocos mm en el suelo, la atmósfera, la superficie del suelo, centímetros en agua turbia a 100 metros en lagos claros).

El funcionamiento energético de la biosfera depende de la reducción fotosintética de anhídrido carbónico para formar materia orgánica y O_2 molecular.

El resultado geoquímico de la fotosíntesis es producir una parte oxidada de la biosfera (atmósfera y agua libre donde está disuelto el grueso del oxígeno), y una reducida: los cuerpos de los organismos y los productos de su descomposición orgánica, el suelo orgánico, la hojarasca y los sedimentos acuáticos.

Lo importante día por día es la continua oxidación de la parte reducida para producir anhídrido carbónico y energía.

El proceso es frágil e ineficaz si pensamos que la película fotosintética de un lago u océano es de 1/10 de mm de espesor, que en un bosque 5 hojas encimadas usan toda la energía aprovechable, que la energía solar es un recurso direccional, y por lo tanto de difícil utilización cuando hay obstáculos entre dador y receptor.

La tierra firme fija sólo 1 a 3% de la energía del espectro visible.

Desde el ángulo funcional los ecosistemas se conciben como unidades procesadoras de energía,^{25/} cuyos umbrales de eficiencia no dependen de la energía radiante, sino por la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y agua.

La energía es el combustible que pone en funcionamiento los procesos ecológicos pero las velocidades a que ocurren, son controladas, en ecosistemas naturales, por la disponibilidad de nutrientes.

Las grandes hipótesis, que la ecología, como disciplina científica maneja a este respecto, son:

i) los ecosistemas adoptan estrategias para gastar inmediatamente la energía disponible, para minimizar las constricciones impuestas por escasez de nutrientes y agua.

ii) Los ecosistemas poseen mecanismos adaptativos de control asociados con actividades heterotróficas (v.g. descomposición y pastoreo), que le permiten conservar el capital de nutrientes. Por ejemplo, toda la gama de mecanismos antiherbívoros desenvueltos por las plantas en coevolución son los herbívoros: palatabilidad sólo parte del año, sólo después del fuego, sólo después de una helada, presencia de productos químicos secundarios antiherbívoros (fenoles, terpenos, flavonoides), estructuras físicas antiherbívoros (pelos, espinas), formas de crecimiento "defensivo" (enanías o muy altas).

iii) Por i) y ii), se desprende que los patrones de flujo energético no se pueden interpretar independientemente sin introducir errores en cuanto a las estrategias adaptativas de los ecosistemas para optimización y estabilidad.

iv) Lo anterior puede resumirse en la siguiente propuesta de Rigler:^{26/} el enfoque de flujo energético debe combinarse con el enfoque de ciclos de nutrientes si queremos alcanzar paradigmas operaciones en ecología.

^{25/} Reiche, E. y otros. "Principles of energy and material exchange in Ecosystems", in Proceedings 1rst. International Congress of Ecology, La Haya, 1974.

^{26/} Rigler, H. En proceedings 1rst. International Congress in Ecology, 1974.

3. Los niveles tróficos

Los estudios funcionales de flujo y ciclos han aceptado el sistema clasificatorio de la biología evolucionaria (las especies) y para simplificar la descripción de los ecosistemas han agrupado las especies en superunidades llamadas niveles tróficos. Esto ha producido un esquema de clasificación en el que las unidades (productores primarios, herbívoros, carnívoros, descomponedores) son un híbrido entre unidades morfológicas antiguas y unidades tróficas funcionales. A pesar de su incongruencia, las unidades son operativas.

Cada nivel trófico está representado por un pequeño número de especies de gran valor de importancia (por su número o biomasa), llamadas dominantes, que son las que realmente funcionan como acumuladoras de biomasa y circuladoras de energía en el ecosistema. Hay además, un enorme número de especies satélite (subordinadas, compañeras), que complementan o gatillan la actividad energética de las dominantes.

El funcionamiento óptimo del ecosistema es asegurado por mecanismos de control de determinadas poblaciones,^{27/} por las reacciones de los organismos pertenecientes a distintos niveles tróficos y además, por la composición de cada nivel trófico.

Un rol muy particular en el equilibrio de los ecosistemas terrestres, lo juega la relación entre número y clases de animales de temperatura variable y de temperatura constante (poiquiloterms y homeoterms).

La hipótesis actual de la ecología en cuanto al equilibrio dinámico del ecosistema, es que este equilibrio está regulado por la combinación de animales que difieren en su gasto energético y que influyen sobre los niveles tróficos más bajos.

4. Ciclos

El funcionamiento de los ecosistemas requiere ciclos de sus materiales biológicamente importantes, que son 14 elementos.

^{27/} Schwartz, S.S. Inst. of Plant and Animal Ecology, Sverdlovsk, U.R.S.S., in litt.

La velocidad de circulación de materiales en la biosfera es lenta y se mide, desde décadas, para materia orgánica, hasta cientos de millones de años para Ca y P.

En cuanto a dependencia del medio externo al ecosistema (de otros ecosistemas y de la atmósfera) y en cuanto a ciclos internos de nutrientes, parece haber dos tipos básicos, uno independiente y de circulación lenta, y otro dependiente y de circulación rápida.

Los bosques son independientes y de circulación lenta, a veces intermitente. En cuanto a entrada de nutrientes minerales desde fuera del ecosistema, ese tipo casi no depende del exterior y ha desenvuelto mecanismos internos muy eficientes de reciclado. Un ejemplo de bosque templado de Bélgica fue estudiado hace 8 años por Duvigneaud y De Smet.^{28/}

Allí sólo un 10% del flujo de nutrientes depende de entradas desde fuera, a través de lluvias y nieve. Eso significa que la entrada de nutrientes desde fuera del ecosistema es tremendamente baja para los 328 kg/ha de biomasa que soporta (peso de material vivo).

Parece ser una condición universal del ecosistema forestal que el grueso de los nutrientes estén inmovilizados en los tejidos de plantas y animales y que son liberados muy lentamente. La liberación instantánea se da por incendios, como ya se analizó. Es el típico sistema autoportante, o dicho de otra manera, con conexiones débiles con el ambiente externo, y con ciclo interno lento.

Otro ejemplo fue medido en la cuenca Hubbard Brook,^{29/} ocupada por un bosque templado. La única entrada externa no superaba el mg/litro y por año de 10 nutrientes medidos.

El otro tipo de ecosistemas en cuanto a ciclo de nutrientes, es aquel que mantiene una muy alta productividad gracias a que hay un flujo muy rápido de nutrientes desde y hacia otros ecosistemas.

^{28/} Duvigneaud y De Smet, citado en "The study of life", de G. Orians, 1977.

^{29/} Likens, G.E. y Broman, F.A. "Biogeochemical cycles, the Science teacher". 39 (4), 1972.

Ejemplos de esos son los bancos de anchoveta de Perú, cualquier llano lateral de inundación ligado a un sistema fluvial, pantanos salinos vinculados a estuarios, etc. Tomando los datos de Teal,^{30/} vemos que el sistema espartillar de borde de estuario exporta un 45% de su material orgánico sintetizado hacia afuera, hacia el estuario. Por otro lado, recibe flujo de nutrientes por medio de las mareas desde abajo y de esorrentía de agua dulce desde arriba.

Por otro lado, las fluctuaciones de los procesos biológicos son muy grandes, lo que se explica por las fluctuaciones de los pulsos de las mareas y de las crecientes de los ríos. Se trata de ecosistemas con estabilidad por pulsos.

En estos sistemas, la autorregulación interna es sustituida por una fuerte entrada de nutrientes desde afuera (inmigración) y una fuerte salida de materia orgánica (emigración).

En todos los sistemas naturales muy productivos, esa productividad es posible porque existe un acoplamiento muy fuerte entre ellos y una enorme fuente de nutrientes y de energía física.

C. ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ESTIMADORES DE DISTURBIO

Los ecosistemas terrestres están conformados por dos subsistemas: uno epigeo y otro hipogeo (Gráfico 1).

Entre estos dos subsistemas existe un constante flujo de materia y energía en el que prevalece una producción desde el epigeo y una regeneración o reciclado desde el hipogeo.

Entre ambos hay una capa de residuos químicos, orgánicos y humus que es el cuello de botella de todo el sistema. Esa capa sirve de filtro entre los dos subsistemas y es también una capa de regulación.

Desarrollando esos conceptos queremos avanzar con ciertas necesarias precisiones sobre la interfase aire-suelo.

^{30/} Teal, J., in "The study of Life". 2nd edition, by Gordon Orians, Allyn and Bacar edit., Boston, USA.

Esa capa de residuos o interfase aire-suelo, es la clave general, el sistema nervioso de un ecosistema, sea natural, sea silvoagropecuaria (donde está la mayor cantidad de información, y los controles más importantes). Nuestra hipótesis es que en la "interfase" aire-suelo, en los primeros 5 cm de suelo está, al decir de Quevedo, 31/ el "compartimento donde reside el sistema de comando y controles de cada ecosistema; el recinto de la vida más importante: el de reciclado".

Allí hay minerales, agua, gases y seres vivos 32/ conectados por complejos de descomposición. El proceso fundamental de descomposición comienza en la hoja caída, cuyos tejidos viven poco tiempo y van siendo atacados por bacterias (en suelo alcalino) y hongos (en suelo ácido).

El proceso de ataque comienza por un "ablandador de celulosa" y enzimas que van demoliendo moléculas complejas específicas. Los caminos que sigue la descomposición dependen de la acidez del suelo.

Si el proceso se origina en suelo ácido, al concluir la demolición de las macromoléculas el suelo se neutraliza y pueden actuar las bacterias y el proceso continúa con el "ablande" de ligninas.

En medio alcalino, los primeros operarios son las bacterias.

La energía utilizada para esos procesos es liberada por las macromoléculas de la hojarasca. La etapa estable es un complejo bioquímico de partículas minerales y orgánicas de tamaño conocido llamado humus. En toda capa de hojarasca y humus (5 primeros cm), desde el punto de vista geoquímico, hay granos minerales, materia orgánica semidestruida, materia orgánica en proceso de descomposición, materia orgánica sin descomponer, proteínas y nutrientes en solución. Las proteínas vienen de los cadáveres de bacterias. La acidez o alcalinidad crea heterogeneidad de microhabitats y nichos ecológicos en el subsistema hipogeo (ver grano grueso y fino). El elemento menos destructible de este subsistema epi-hipogeo o de interfase es el grano de arena, cuyo comportamiento en condiciones hídricas distintas cambia; en situaciones extremas puede llegar a ceder agua.

31/ Quevedo, Manuel. "Ecodesarrollo", in litt; Curso CIFCA-INDERENA, 1977, Santa Marta, Colombia.

32/ En el stock de seres vivos dominan bacterias, hongos, bacilos, espirilos, infusorios, amebas, crustáceos y microinsectos.

La interfase aire-suelo, como estimador de disturbio, ha sido motivo de generación "endógena" de metodología ad hoc, en Chile, por la escuela de Francesco di Castri.^{33/} En el análisis standard de suelos, la predicción o el juicio de si el manejo de un suelo es bueno o malo queda librado exclusivamente al componente abiótico del ecosistema. Es decir, si han cambiado la textura, la estructura y el quimismo.

Si queremos usar como indicador de manejo al suelo, a la caracterización físico-química habitual debe seguir como rutina otra biológica adicional, en particular zoológica. Gran parte de los elementos que componen el suelo lo forman las deyecciones características de la mesofauna que vive en los agujeros. A través de estos excrementos se forman los llamados complejos coloidales de arcilla y humus.

Para estudiar la influencia del hombre vía suelo, se analiza un subsistema endógeno o disturbado en relación a otro intacto, como lo ha hecho di Castri y colaboradores en Chile. En ese sentido, para analizar cambios se procede por un lado a estudiar las comunidades del suelo a lo largo de una transecta que corte un área intervenida por el hombre y otra homóloga intacta, si se puede, contigua. Por otro lado, se comparan las comunidades del suelo correspondientes a áreas homólogas con distintos lapsos de utilización cultura.

En casi todos estos estudios se compara una porción de ecosistema climáxico, es decir, el que tiene el mayor contenido de información, con otra donde la climax ha sido alterada por cultivo. En todos los casos, el indicador más sutil de alteración del sistema parece ser la mesofauna aerobionte del suelo y quiero comentarles algunos resultados obtenidos por di Castri comparando áreas alteradas con intactas (di Castri, Hurtubia, in litt).

^{33/} En Hurtubia, J. "Fundamento teórico de la importancia de la materia orgánica". Seminario regional de estudios integrados sobre ecología, Oficina de Ciencias de la UNESCO para América Latina, Montevideo, 1971. Se resume el punto de vista de la escuela de di Castri.

i.) En cuanto a organización, el área alterada es un sistema inmaduro, poco integrado con elevada redundancia y baja información,^{34/} con escaso o nulo control biológico intrínseco, prevaleciendo los controles físicos de carácter climático o edáfico. Todas esas características son las de una etapa pionera, pero a ello se agrega la presencia de un nuevo tipo de control alóctono, la información introducida por el hombre, que actúa interfiriendo el sistema, y perturbando el flujo normal de energía, en forma tal de posibilitar la exportación de una mayor cantidad de energía.

ii.) En cuanto a estructura, el área alterada es un sistema poco complejo, con cadenas de alimentación cortas, lo que permite que sean más frecuentes las interacciones específicas simples.

Las poblaciones son relativamente independientes de la densidad y su crecimiento tiende a ser exponencial, las fluctuaciones en la densidad son muy intensas e irregulares.

Por otro lado, la artificialización del paisaje conduce a un aumento de las presas con disminución de los predadores.

iii.) En cuanto a la función, el flujo de energía es más rápido, muestra grandes saltos por la escasa eficiencia termodinámica de cada eslabón de las cadenas tróficas. La productividad puede ser mayor debido a la menor complejidad del sistema y por lo tanto, al menor número de transformaciones de energía. La relación biomasa/productividad tiende a disminuir.

Esas son las características de organización, estructura y funcionamiento de los sistemas artificializados o interferidos, como llamamos a los influenciados por el hombre. Lo que para los biólogos de suelo es dramático es la destrucción, por las prácticas agrícolas, de la capa orgánica y de humus que separa los dos subsistemas.

Ellos consideran que en la capa orgánica hay el mayor contenido de diversidad biótica y allí hay alta concentración de sustancias inhibitoras

^{34/} Se usa el lenguaje de la teoría de la información, respetando el enfoque de la escuela de di Castri.

o estimulantes, las llamadas hormonas externas de difusión (ectocrinas), a las cuales esos autores asignan el rol de verdaderos transmisores de la información.

La pérdida de esa almohadilla, elimina una unidad de control o un importantísimo filtro, del subsistema edáfico. Ello trae como consecuencia que las zocenosís del suelo quedan sujetas a un verdadero microclima continental de alta inestabilidad horaria, diaria y estacional. En un cultivo, las interferencias climáticas y edáficas, que llamamos ruido en el sentido de la teoría de la información (ruido es aquel factor que impide que pueda asentarse una mayor cantidad de información real) son muy acentuados.

Esos ruidos climáticos se ven agravados por la ausencia en los cultivos de las capas de hojarasca y humus, es decir, ausencia de filtros (estabilizadores de influencias externas). Algunas prácticas agrícolas como la arada, el riego en manto, la quema del rastrojo, el uso de plaguicidas, etc., son fuentes de interferencias muy agudas. Según Hurtubia, 1971 (cf. 35), se ha determinado, para algunos suelos de Chile, que el contenido de información (es decir, la diversidad) inmediatamente por debajo de la línea de penetración del arado, es más alto que en las capas superiores.

Los riegos tendidos mantiformes, repiten, con un ritmo velocísimo e intolerable para cualquier sistema biológico, la aguda perturbación de las inundaciones.

III. ATRIBUTOS BASICOS DEL ECOSISTEMA

A. DIVERSIDAD

1. Diversidad específica

Diversidad o variedad es la gran táctica de la naturaleza. Mientras más especies diferentes hay en un área, menores serán las posibilidades de que una única especie pueda llegar a proliferar y asumir el control total del sistema.

La diversidad está ligada a problemas críticos de estilos de desarrollo en tierras vírgenes de América Latina, no sólo por el conocido fenómeno de "explosión de poblaciones nativas" que se transforman en plaga al avanzar el proceso de ocupación (palomas, catas, loros, pecaríes, roedores), sino al proceso inverso: el "colapso de poblaciones", económicamente importantes, por la aparición de plagas y enfermedades inéditas en el ecosistema como consecuencia de la implantación de la agricultura (v.g. aparición de ataques de insectos y hongos nuevos, incapaces de digerir lignina en los quebrachales del Chaco paraguayo).

Reproducción masiva de insectos plaga y roedores plaga, y colapso masivo de especies naturales económicamente importantes (v.g. el cuadro en Paraguay, Brasil meridional y Noreste de Argentina), recién comienza a estudiarse desde el punto de vista de enriquecimiento y declinio de ecosistemas.^{35/} Así Schwartz,^{35/} reestudiando la explosión de roedores, desde el ángulo de ciclo de nutrientes, encontró que en el pico poblacional, los roedores aportan al suelo como deyecciones, orines y cadáveres, 6.0 de Si; 6.0 de Al; 0.5 de Fe; 4 de P; 6 de Ca; 3 de Mg; 0.2 de Mn; 15 de K y 1.8 de Na en kg/ha.

Diversidad es una de las dimensiones más importantes de un ecosistema. La diversidad específica es una relación entre número de individuos de cada especie y número de especies. En el fondo, este valor sintético

^{35/} Schwartz, S.S. "Flow of energy and matter between trophic levels".
Proceedings 1rst. International Congress of Ecology, La Haya, 1974.

refleja el balance temporario de números, es decir, de individuos, establecido entre cada especie y todas las otras. Se trata de un patrón de abundancia relativa de todas las especies en una comunidad y representa una síntesis de todas sus interacciones, un sumario de las facilidades y dificultades que ha encontrado cada especie en el pasado reciente.

La diversidad es una expresión de un balance momentáneo que se ha establecido entre todas las especies de la comunidad. En plantas superiores los factores fundamentales que contribuyen para la diversidad son:

- diferencias en nutrición;
- estratificación de raíces;
- perfil de copa;
- posición y tipo de aparato fotosintético (monoestratal o multiestratal);
- tipo de germinación;
- estratificación de la comunidad;
- disturbios, es decir, fundamentalmente, pulsos de fuego, de las inundaciones y de los herbívoros.

En cuanto a diversidad específica, cualquier sistema ecológico manejado tiende a reducir la diversidad específica. El hombre simplifica pero ello le obliga a arriesgar cada vez más en cuanto a estabilidad de ese sistema que ha simplificado.

Para explicar porqué cuando se simplifica se quita estabilidad a un sistema, debemos mirar los mecanismos de evolución de los organismos. En condiciones intactas, las especies se relacionan entre sí en vínculos muy complejos que muy difícilmente pueden reconstruirse cuando las especies son reordenadas o simplemente eliminadas en parte como ocurre en ecosistemas intensamente manejados. Esas relaciones coadaptativas entre especies parecen ser las que proveen los procesos estabilizadores del sistema. Ejemplos de coadaptación van desde las relaciones simbióticas entre semillas y hongos microrízicos, entre animales y algas, mimetismo entre mariposas, fenómenos de nodriza, coloración protectora en insectos, formas protectoras y los maravillosos mecanismos de elaboración de productos químicos secundarios contra herbívoros, etc.

El equilibrio del hombre en el mundo biológico depende en buena medida de un conocimiento profundo de estas relaciones entre especies.

Queda todavía por estudiarse en qué medida el hombre puede deshacer esos complejos coadaptativos, sin crear costos de mantenimiento imprevisibles.

2. Diversidad espacial

Otra idea ligada a diversidad ambiental es la del grano o textura ambiental de Levins. El ambiente no es uniforme y a los seres vivos se le presenta como homogéneo para algunas actividades, digamos para anidar, y como heterogéneo para otras; digamos alimentarse. Además, un mismo ambiente puede ser heterogéneo para un organismo y homogéneo para otro.

Si toda la vida o toda una actividad del organismo se realiza en una porción homogénea de ambiente, se dice que el ambiente es de grano grueso para ese organismo. Por el contrario, si una actividad del organismo se desarrolla en todos los elementos que componen el patrón ambiental, decimos que la diversidad ambiental es de grano fino para ese organismo.

Un ejemplo fijará el concepto: en un quebrachal hay unas 10 especies de árboles pero para un insecto herbívoro que puede pasar toda su vida en un ejemplar de quebracho chaqueño, la diversidad ambiental será de grano grueso ya que en un sólo elemento del patrón, pasa toda su vida. Por otro lado, para un pájaro insectívoro o para un picáflor que visita diariamente varios árboles diferentes, la diversidad ambiental es de grano fino, es decir, su vida incluye tránsitos de un elemento a otro del patrón ambiental.

Las especies de grano fino utilizan la heterogeneidad ambiental tal como ella se encuentra. Mientras que las de grano grueso usan exclusivamente un elemento de esa irregularidad ambiental.

Con respecto a espacio, una planta puede ser de grano grueso es decir, toda su vida transcurre en un sólo lugar y ese lugar es homogéneo en sí mismo.

La diversidad espacial significa diferencias en propiedades biológicas y físicas en el espacio. Las variaciones en estructura proporcionan

refugios para parte de las poblaciones de las presas. Lo fundamental de la heterogeneidad espacial es que en diferentes partes del ecosistema están ocurriendo distintas cosas sobre todo con respecto a interacciones entre poblaciones.

Por ejemplo, en los manchones puros de brea en el Chaco, suele haber defoliación total producida por una oruga. Por otro lado, en ejemplares aislados, el ataque es muy bajo o inexistente.

La importancia de la heterogeneidad y de la discontinuidad puede explicarse en el sentido de que distintos eventos están pasando en distintos lugares del ecosistema, y los animales se mueven de un manchón a otro contribuyendo a estabilizar el sistema.

3. Diversidad temporal

Por otro lado, en cuanto a tiempo, una planta es de grano fino porque al ser de vida larga y no poder moverse, debe absorber y vivir en todos los elementos del patrón ambiental. Eso nos lleva a diversidad temporal, es decir, al concepto de que los ecosistemas son en si mismos diversos en el tiempo y están sometidos a una irregularidad ambiental que se expresa en el tiempo en forma de ciclos.

Todos los ecosistemas han evolucionado o respondiendo a ciclos de alternancia de factores, sean éstos expresados en 24 horas como los ciclos circadianos, mensual como los sistemas reproductivos, anual como los cambios fenológicos, etc.

Ciclos van ligados a perturbaciones intensas absolutamente necesarias para determinada actividad del ecosistema. Por ejemplo, en un ciclo sequía-humedad a que están sometidas las raíces del cardón en Catamarca, es necesario el pulso de sequía para que haya formación de pelos absorbentes al entrar la planta en su faz húmeda. Infinidad de procesos de abertura de órganos productores están también ligados a ciclos seco-húmedo.

Más adelante veremos que como el hombre ha introducido profundos cambios en la diversidad temporal, cada vez es más notoria la evolución de numerosos organismos y ecosistemas completos ligado a pulsos.

El concepto de regularizar que se usa mucho en hidrología, puede tener un significado altamente negativo para los ecosistemas ligados a

pulsos. Tan negativa como para que la eliminación de un pulso condicione la desaparición de ecosistemas enteros, como está documentado en el estuario del Magdalena en Colombia.^{36/}

4. Diversidad y estabilidad

Una hipótesis de trabajo entre ecólogos es que la diversidad fortalece la estabilidad. En ese sentido caben dos preguntas:

- ¿Hasta dónde es cierto que diversidad mejora la estabilidad?
- ¿Hasta dónde se puede diversificar un sistema manejado estabilizando su producción sin perjudicar las técnicas de cosecha o de empaquetado, etc., o simplemente perjudicando el producto final?

Hay dos aspectos de diversidad a tener en cuenta: el número de especies, y el grado en que una o muy pocas dominan numéricamente. Es decir, un bosque con 10 especies pero con el 99% de todos los individuos concentrados en una sola especie es menos diverso que otro con 5 especies, con igual número de individuos cada una.

Las evidencias de que reduciendo diversidad se pierde estabilidad existen. Por ejemplo, hay un trabajo de Morris en ataques de oruga de yemas en balsam fir, en Canadá. La infestación menor de oruga fue muy baja en lugares donde hay varias especies de árboles, tanto coníferas como latifoliadas. Cuando se sacaron las latifoliadas, la oruga alcanzó proporciones epidémicas. Esto se interpretó así: las latifoliadas causan discontinuidades entre individuos susceptibles y ello retarda el avance de la epidemia; hay combinación de diversidad específica y espacial.

La diversidad también aumenta la estabilidad por otros caminos como por ejemplo, aumentando el número de relaciones entre especies comerciales y no comerciales del ecosistema. Por ejemplo, es necesario conservar ciertas compuestas nativas en los alfalfares del Chaco (en Corzuela) para que allí se instale la Cuscuta, la que tiene preferencias acentuadas por ellas en relación con la alfalfa. Otro ejemplo es la necesidad de tener plantas nectaríferas para proveer alimento a los ejemplares adultos de

^{36/} J. Morello-OFISEL Ltda-UNEP. "Proyecto piloto de ecodesarrollo en Colombia". Vol.1, Ecorregión del complejo estuárico del río Magdalena, 1976. Bogotá, Colombia.

insectos parásitos que controlan las orugas que se alimentan de especies maderables de valor comercial.

Por otro lado, hay ciertas clases de diversidad que producen inestabilidad. Por ejemplo, cuando se introduce una especie exótica, es bastante común que se haga una peste. Esta capacidad para transformarse en invasora deriva de su falta de coadaptación con el stock local.

Considerando comunidades simples, la inestabilidad parece estar generada no tanto por la existencia de baja diversidad, sino más bien porque tienen especies artificial e incompletamente ligadas a otras. Mientras más predadores, parásitos y agentes patógenos potenciales tenga una especie, más garantías existen de que alguno de estos medios biológicos de control será operativo como estabilizador de su población. Del mismo modo, una especie podrá sobrevivir a escasez de cierto alimento si tiene otro recurso aprovechable a disposición.

Por otro lado, debe haber cierta flexibilidad en las relaciones entre especies de modo tal que si un canal de interrelaciones no trabaja, siempre hay otro disponible. El mejor ejemplo está en las especies predatoras que tienen varios tipos de presas de modo que pueden pasar de una especie a otra si su abundancia cambia. Estos mecanismos de estabilización operan más efectivamente cuando hay heterogeneidad espacial.

Estas relaciones múltiples de presa a predador son básicas para la estabilidad de los sistemas naturales. Un insecto herbívoro en una comunidad natural, tiene docenas de especies que lo tienen por presa. Es más que conocido el efecto producido inadvertidamente al eliminar o reducir las poblaciones de predadores de herbívoros con insecticidas.

Debe quedar bien claro que una epidemia ocurre cuando el sistema de control por predadores se reduce. Por otro lado, nuevas pestes aparecen cuando una especie inofensiva aumenta desmesuradamente en abundancia cuando sus predadores han sido eliminados.

5. Diversidad y agrosistemas

La intensidad de uso de un ecosistema por el hombre, puede definirse como la demanda por una cosecha específica (rendimiento, salida). Cualquier intensificación de la demanda será en detrimento de la diversidad.

/Lo dicho

Lo dicho hasta hora permite elaborar un esquema conceptual del manejo de sistemas agrícolas.

- Toda tierra cultivada, todo pastizal pastoreado, posee una tendencia intrínseca a volver a evolucionar hacia un sistema ecológico más complejo.

A esta tendencia se contraponen otra de afuera, la del hombre para quien el ideal es un sistema con dominancia llevada al máximo, es decir, con un sólo productor primario.

Para llegar a eso el agricultor tiene que frenar la tendencia del sistema a autogobernarse. Y tiene que frenarlo porque a medida que un sistema controla su propio funcionamiento, disminuye la posibilidad de explotación alóctona por el hombre.

Para suspender el autogobierno, hay que desarticular la trama trófica, simplificarla eliminando cadenas enteras. Esta tarea es realizada con el uso de insecticidas.

Por otro lado, para conseguir un monoproductor primario, se usan herbicidas.

- Nosotros debemos tener siempre en mente que un cultivo y un bosque climáxico representan 2 situaciones polares. El cultivo perfecto sin malezas representa el polo donde hay la máxima producción, es decir, la máxima posibilidad de explotación mientras se mantenga la integridad de la parte física del sistema. En el otro polo, el bosque corresponde a la máxima conservación, la máxima protección.

- Las únicas comunidades complejas de seres vivos que quedan en los cultivos son las de malezas y las endógenas 37/ y su estudio nos puede dar ciertas pautas anticipatorias.

- Cuando un componente físico del sistema cambia es porque ya las zocenosias edáficas han sufrido varias revoluciones. Digamos el planchado del suelo, la salinización secundaria, el piso de arado, tienen indicadores anticipatorios en cambios que ocurren en las zocenosias edáficas 38/ y cuyo valor anticipatorio es innegable. Hay perturbaciones físicas agudas

37/ Endógena, comunidad descomponedora del suelo o fauna.

38/ Comunidades animales del suelo, básicamente recicladores.

que admiten reacomodación del ecosistema y otras que no. Algunas perturbaciones con las que se maneja el hombre, como el fuego, la inundación, o riego, la movilización de material del suelo, etc. han sido agentes de selección biológica porque han sido operativas mucho antes de que el hombre comenzara a actuar, con acciones no homeopáticas.^{39/} Esas perturbaciones son incluso necesarias para la estabilidad del sistema si se ejercen en la misma área, con el mismo ritmo y con la misma intensidad con que se ejercen normalmente en la naturaleza.

En estos casos, se puede jugar con cierto cambio en ubicación geográfica, ritmo e intensidad de la perturbación para beneficio del hombre, sin que ello sea detrimental. Digamos por ejemplo: hay sistemas de los llanos sudamericanos que necesitan una inundación anual para importar nutrientes. Ese es un pulso de rejuvenecimiento altamente positivo. Pero si el hombre cambia la fecha de la inundación o inunda varias veces por año, el resultado puede ser destructivo. 3 incendios por año en los pastizales de Moxos, en Bolivia, aniquilan el pastizal. Un incendio contra viento eleva mucho la temperatura del suelo y tiene igual efecto letal.

- Por último, las acciones no homeopáticas, que llamamos quirúrgicas, como el desmonte con topadoras, la aradura, el riego en manto, la aplicación de plaguicidas, las rotaciones muy seguidas, el sobrepastoreo, etc., son drásticos y llevan elementos estructurales y funcionales del sistema a situaciones de crisis, fuga de suelos, fuga de nutrientes, pauperización del banco de semillas del suelo.

Si esas perturbaciones críticas se repiten mucho o se sobreponen más o menos simultáneamente (operaciones quirúrgicas simultáneas de distinta naturaleza) tienen efectos letales sobre el medio biológico y llegan a alterar el soporte físico del ecosistema. Erosión en manto y desaparición de la actividad biológica de los suelos.

^{39/} Acciones homeopáticas son las ejecutadas con equipos tecnológicos simples, sobre superficies pequeñas, con baja densidad de población: agricultura itinerante estable, caza sin armas de fuego, recolección manual, incendios localizados, localmente llamados "mateados" en el trópico y subtrópico latinoamericano.

Por último, es obvio que si las interferencias no son severas ni repetidas, o se incorporan filtros orgánicos (abonos, mantillo, hojarasca), que son al mismo tiempo sustrato para aumentar la diversidad de las comunidades edáficas, su efecto no será nocivo.

B. SUCESION

Sucesión es el desarrollo de un ecosistema, reemplazo ordenado de una comunidad por otra; ese reemplazo tiene la importancia de la comunidad precedente.

1. Etapas o estadios de una sucesión

Hay cambios profundos al pasar de un estadio al siguiente, varían los atributos, se puede comparar el desarrollo de una especie. La sucesión es un proceso ordenado: si tenemos los estadios a, b, c, para llegar a b hace falta que se haya producido a; y para llegar a c, hacen falta a y b. Las etapas son insustituibles, lo cual hace que la sucesión sea un proceso direccional y predecible.

La sucesión resulta de cambios producidos por la comunidad en el medio ambiente. La sucesión es controlada por la comunidad. El ambiente actúa determinando el origen y el techo - o destino final - al cual llega el ecosistema.

El medio controla: - la clase de sucesión;
- la velocidad;

- el techo - hasta donde llegará. Por ejemplo:

sobre un suelo lavado llegamos sólo a bosque de coníferas.

La estrategia de la sucesión es tomar un control creciente del medio ambiente con el objeto de obtener el máximo de protección ante sus perturbaciones. O sea, que a medida que se desarrolla una sucesión, van disminuyendo las variaciones del ambiente, disminuyen las variaciones de temperatura, de humedad, etc.

Al hecho que las variaciones del ambiente estén atenuadas en una sucesión se alude que el ambiente está filtrado, por ejemplo: "un golpe

/de calor"

de calor" no afecta a un ecosistema natural filtrado, como es un bosque, pero sí afecta a un monocultivo.

2. Sucesiones primarias y secundarias

Una sucesión primaria es la que se desarrolla sobre un islote recién emergido, o un glaciar que se retira. No hay suelo, sólo hay roca madre o soporte edáfico.

Una sucesión secundaria es la que se establece donde el hombre destruyó el ecosistema natural, por ejemplo, en un campo abandonado, o sea que hay suelo desarrollado; se las llama sucesiones "old field". Cuando se instala una sucesión, primaria o secundaria, se dan los siguientes procesos:

- Migración: de las estructuras reproductoras.
- Eccesis: germinación exitosa.
- Agregación: formación de colonias; todavía no existe competencia.
- Competencia: en este término amplio se engloba la competencia en sentido estricto y otras interacciones entre las poblaciones.

¿Cómo se toma control del medio físico? aumentando el número de especies, aumentando el número de nichos ecológicos, pasando de cadenas lineares a tramas, y de stenofagia a eurifagia.

3. Desarrollo de una sucesión, de suelo desnudo a climax

El proceso va de menor a mayor protección contra las variaciones del ambiente. Además, aumenta el gasto de mantenimiento. Relación producción vs. respiración (P/R); en sucesión temprana es mayor que 1; en climax: $P = R$.

Relación producción/biomasa (P/B): es alta en sucesión temprana y después disminuye. En pastos es de 90 a 10, en bosques es de 10 a 90. Las relaciones B/P, B/R, aumentan al desarrollarse la sucesión. La biomasa siempre aumenta al avanzar la sucesión.

La producción neta (Pn) disminuye al avanzar la sucesión.

Los valores de tiempo pueden ser años, si se trata de un bosque, o días, si se trata de la sucesión del plancton de una laguna formada por la lluvia. Vemos que la Pn es mucho mayor en sucesiones que en la climax. Usualmente hasta 40 años en un bosque P es mayor que R.

En una sucesión temprana, hay más producción autotrófica que heterotrófica. En un climax los metabolitos auto y heterotróficos están balanceados. Definimos el climax como aquel ecosistema donde los metabolitos auto y heterotróficos están equilibrados y donde una inmensa biomasa es mantenida con una producción diaria y una respiración proporcionalmente pequeña.

Existe otra clasificación de sucesión: la sucesión estacional, que es la que se produce en clima templado al pasar, por ejemplo, de invierno a verano.

4. Sucesión y cadenas y redes tróficas

En las primeras etapas de la sucesión son simples, lineales, por la baja diversidad específica.

En la climax hay redes tróficas. El grueso del flujo va a las cadenas detritívoras. En un bosque sólo un 10% de lo que se come es "vivo", el 90% se come muerto. En temprana sucesión es a la inversa.

En un bosque maduro se desarrollan procesos que limitan el pastoreo de los herbívoros:

- hay productos no diferibles: lignina y celulosa;
- hay control mutuo entre plantas y herbívoros;
- hay una mayor predación de herbívoros por los carnívoros.

Todo esto permite que exista una estructura biológica grande y compleja que atenúe las perturbaciones del ambiente. Pero una perturbación muy intensa puede romper estos mecanismos protectores y dar lugar a un crecimiento canceroso. Por ejemplo: la irradiación de un bosque entero con rayos gamma; los azúcares quedan retenidos en los ápices y aparecen los áfidos que se desarrollan mucho (crecimiento canceroso).

5. Sucesión y estratificación

Es la concentración de biomasa a distintos niveles. Con esto aumentan los filtros.

El aumento de filtros al avanzar la sucesión, es un esfuerzo por lograr un clima endógeno.

6. Sucesión y tamaño de los organismos

En sucesión temprana el tamaño es pequeño, la arquitectura de los organismos es simple, el tiempo de generación es corto, es decir, la tasa

/de reproducción

de reproducción es rápida. Predominan los organismos de selección. En sucesiones tardías el tamaño es grande, el tiempo de generación es largo, el crecimiento lento, hay alta capacidad competitiva. Selección K.

7. Sucesión y ciclos de nutrientes

En sucesión temprana los nutrientes son principalmente extrabióticos: vienen de afuera, son utilizados y se van. Es decir, que hay poco control de la comunidad sobre ellos.

En sucesiones maduras, los nutrientes son intrabióticos; los nutrientes son retenidos por el ecosistema para ciclarlos dentro del mismo. La pérdida de nutrientes hacia afuera es muy pequeña y es pequeña también la adición desde afuera para reponerlos.

Los cultivos hechos por el hombre son en general comunidades tempranas, lo cual implica que en ellos hay gran circulación de nutrientes. Por ello se aconseja para el trópico, cultivos que semejen una climax. Otra posibilidad es una agricultura itinerante: algunos años de cultivos, luego una sucesión - que se empieza con leguminosas -, y luego nuevamente cultivo.

8. Otras características de las etapas de una sucesión

En sucesión temprana hay poca diversidad específica. Se produce en cantidad. En sucesiones tardías hay gran diversidad. Se produce en calidad. En sucesiones medias todavía existen algunas especies dominantes.

Pocas especies acompañan a la sucesión desde temprana a climax. Son características de la climax:

- Máximo de simbiosis (este término en sentido muy amplio).
- Conservación de nutrientes.
- Estabilidad.
- Disminución del desorden (de la entropía).
- Aumento de la cantidad de información.

La estrategia de la sucesión es alcanzar una estructura lo más grande y diversa posible en relación a la energía disponible y al soporte físico que la sustenta.

La estrategia de la agricultura es: alta producción neta con poca biomasa. No se deja acumular la biomasa. Los cultivos son en general

/plantas de

plantas de sucesión temprana. Los antecesores del maíz son plantas pioneras. La comunidad joven es productiva, con alta velocidad de crecimiento, producen en cantidad.

La comunidad madura es protectora (crea debajo de ella un clima endógeno que oscila menos), es estable y produce calidad. Es posible lograr alta producción y alta protección. Algunos ejemplos de sucesiones.

En la selva se desarrolla un "suelo" suspendido en las ramas de los árboles, con su propia sucesión. Es una especie de jardín colgante. Se establecen los claveles del aire (tillandsia) y otras especies. Está tan regulada la humedad que pueden vivir allí las himenofiláceas, que son unos helechitos cuyas hojas son muy delgadas y no tienen ninguna protección contra la pérdida de agua.

El arrozal, es análogo del pantano natural. En pantanos tenemos: una época de seca e insolación; se produce descomposición aeróbica de la materia orgánica con liberación de nutrientes; y una época de inundación que permite una intensa floración. El arrozal es un cultivo de pulso de agua. Es muy productivo. La inundación le trae gran cantidad de nutrientes.

9. Teorías sobre el manejo de ecosistemas en función de la sucesión

Los paradigmas con que se manejan los ecosistemas en base a los conceptos de sucesión son:

Moderado balance producción-protección. Consiste en obtener moderada producción y moderada protección en todo el paisaje y es típico de países poco poblados (Canadá, Suecia y Australia).

Compartimentalizar en el espacio. Dividir en áreas productivas y áreas protectoras separadas, por ejemplo: agricultura intensiva al lado de cultivos perennes (Alemania Occidental, Francia), agricultura itinerante estable.

Compartimentalizar en el tiempo. Por ejemplo, un tratamiento violento y luego, descanso, lo que en pastoreo se denomina "voisin", rotaciones de todo tipo.

Estabilidad pulsatoria. Una perturbación física aguda actúa como regulador, manteniendo el sistema en un punto intermedio de la sucesión, es el caso del arrozal. El caso de pastizales incendiados es otra forma de estabilidad pulsatoria.

Uso múltiple, combinando para cada compartimento los paradigmas anteriores.

C. ESTABILIDAD

Con el tiempo los ecosistemas se van volviendo más diversos y más estables. Analizaremos los atributos de la estabilidad: estabilidad se refiere a la tendencia del sistema a volver a cierto punto de equilibrio después del disturbio (Cuadros 1 y 2). Los atributos de la estabilidad son:

- Constancia: significa la ausencia de cambio en algún parámetro del sistema, como ser: número de especies, composición taxonómica de las especies, estructura de formas de vida, representación proporcional de categorías ecológicas o atributos del ambiente.

El término indica que no hubo fluctuaciones en determinado intervalo. Por ejemplo, decimos que los climas son más estables en los trópicos, o que las poblaciones de vizcacha son inestables, quiere decir que hay fluctuaciones altas de su densidad.

- Inercia: significa capacidad del sistema para resistir perturbaciones externas.

Un sistema es más inerte que otro si cambia menos frente a igual perturbación externa (se miden los mismos parámetros que para constancia).

Mc Arthur (1959) usa estabilidad=inercia cuando se refiere a tramas tróficas donde un cambio dado en la abundancia de una especie producirá menos cambios en la abundancia de las otras especies.

- Elasticidad: velocidad para volver al estado inicial, después de un disturbio (perturbación); en otras palabras: es la forma de evaluar la capacidad de retorno después de una acción humana. Hollings (1973) propuso el término resiliencia.

Un sistema de gran elasticidad es el que vuelve al estado inicial más rápidamente. Tengan en cuenta que un sistema de alta inercia no tiene necesariamente alta elasticidad. Los dos se correlacionan inversamente.

- Amplitud: límites o rangos bajo los cuales se puede ejercer una acción disturbadora sin afectar el sistema. Un sistema de gran amplitud

/es aquel

es aquel que se puede separar mucho de su estado previo y todavía volver a él. Esto también se llama estabilidad global.

Nosotros manipulamos ecosistemas para maximizar productividad y constancia, pero la consecuencia para la amplitud puede ser sustancial. Diferenciamos riqueza como número de especies, de diversidad como número de especies jerárquicas por un valor de importancia (biomasa, densidad, etc.).

- Estabilidad cíclica: capacidad del sistema para oscilar alrededor de algún punto central o zona, sin alcanzarlo o alcanzándolo muy lentamente.

Algunas interacciones ecológicas importantes como ser predador-presa tienen esta propiedad y el patrón se llama: ciclo de límite estable.

- Estabilidad de trayectoria (canalización): propiedad de moverse hacia un punto final o zona, siguiendo algún camino determinado. Por ejemplo: si en una sucesión vegetal en la que eventos estocásticos pueden sacar el sistema de su camino, aparecen en el sistema fuerzas que tienden a volverlo a su trayectoria.

En general recomiendo no usar el término "madurez" por carecer éste de un significado claro y preciso.

- Análisis de estabilidad: para analizar estabilidad hay dos caminos:

i) Observación empírica: de la tasa de cambio en estructura (composición) o funcionamiento de ecosistemas. Por ejemplo: la tasa de cambio de especies en una sucesión, desde suelo desnudo hasta selva climáxica, disminuye el equilibrio. La tasa de cambio de animales disminuye proporcionalmente. Debe aclararse que se miden tasas de cambio en términos de duraciones de tiempo fijas (años) en lugar de tiempos generacionales de los respectivos organismos.

Esto vale para problemas aplicados de fluctuaciones de ecosistemas. Pero hay que distinguir entre fluctuaciones de tiempos generacionales equivalentes y fluctuaciones de tiempos generacionales distintos.

ii) Análisis de las interacciones interespecíficas en la comunidad: el equilibrio poblacional se determina colocando todas las tasas de crecimiento igual a cero.

Se hace una matriz de interacciones; el efecto de una especie en otra puede ser:

- a) no hay interacción.
- b) Hay competencia.
- c) Hay dependencia (uno de la presa y otro del predador).

Este análisis de matrices de comunidades sirve para determinar si un pulso es estable, si vuelve al estado inicial luego de la perturbación. También se puede calcular la velocidad de retorno.

Estos dos modelos que terminamos de ver se ocupan de variaciones en el tiempo y no en el espacio.

1. Estabilidad y procesos evolutivos

El ambiente físico es el elemento básico "con el que" y "dentro del cual" los organismos interactúan y evolucionan. Es una variable independiente clave y su constancia, o inconstancia, será un gran dominante de las características fenotípicas de los organismos y de cómo responden a las perturbaciones.

Es fácil determinar fenotipos óptimos en un ambiente constante. Cuando el ambiente fluctúa es difícil determinar el fenotipo óptimo.

La teoría de Levins (1968) de la respuesta a ambientes cambiantes, se basa en cuatro factores.

- i) Proporción de tiempo que dura un estado del ambiente (una condición del ambiente): o sea, durante cuánto tiempo y cuán a menudo el organismo estará bajo la influencia de ese estado ambiental.
- ii) Efecto de un determinado estado ambiental: en el ajuste de un organismo. Un ambiente que sube o baja mucho será un agente selectivo más poderoso para el ajuste, que un estudio que ocurre con mayor frecuencia.
- iii) Costo que paga un organismo por una respuesta adaptativa a un estado ambiental. Costo se puede medir en términos de gasto energético - o distribución de energía - y en términos de pérdida de ajuste en otros ambientes causado por una adaptación a un estado particular.
- iv) Predictibilidad o regularidad de ocurrencia de un estado, lo que determinará las clases de respuestas que los organismos podrán dar a ese estado.

El punto iii) se refiere al lema: "conocido" de muchas cosas, "maestro" de ninguna, que debe aparecer en el razonamiento de una teoría de adaptación a ambientes variables. Si fuera posible ser "maestro de todos" los estados, habría muchos menos organismos en el mundo, porque unos pocos fenotipos dominarían. O, de otro modo, si hubiera expertos o maestros de muchos estados, habría menos estados identificables.

2. Consecuencias comunitarias de estrategias individuales, en cuanto a estabilidad

Ambientes con disturbios físicos o estados que nunca operaron sobre organismos (o tan raros que el organismo no tiene memoria genética para esos ambientes) producirían serios efectos porque pocos organismos sobrevivirían a él.

Ambientes físicos para los cuales las respuestas fenotípicas son imposibles o muy costosas, producirían resultados catastróficos, aun cuando su ocurrencia fuera regular. Por ejemplo: en una zona de huracanes podría darse la posibilidad genética de creación de un organismo "anti-huracán", pero esto implica un altísimo costo en estructura y soporte para un organismo que sería superado por otros en los períodos inter-huracán.

Otras perturbaciones como aumento de densidad de especie, disminución de densidad de especie, aparición de individuos mutantes con propiedades diferentes.

IV. CONCLUSIONES: MODALIDADES DE ENFOQUE DE LA RELACION NATURALEZA-SOCIEDAD

- Del análisis individualista de esa relación es de donde surge la posición tremendista, catastrófica o apocalíptica.
- Del análisis idealista surge la vuelta a la naturaleza, la vuelta a la sociedad agraria.
- Hay un ecologismo biologista en el que subyace el concepto de que el hombre se analiza hasta su etapa evolutiva prehumana y nada más (ecología antihumanista, que para nosotros es igual a ecología biologista).

Esé ecologismo se para antes que el hombre pueda rematar en la instrumentalidad, proceso evolutivo que pudo alcanzar el hombre por la liberación de la mano, la posibilidad de yuxtaponer los dedos y la visión estereoscópica.

- En nuestra hipotetización nos preguntamos 40/ hasta qué punto, con la aparición del hombre, se interrumpe la evolución biológica (sensu neo-darwiniano) en el género homo, en todas las plantas y animales domésticos. Hasta qué punto el hombre crea nuevos estímulos de variación y evolución al cambiar la oferta climática, biogeoquímica, e inaugurar la ingeniería genética. 40/

La evolución biológica parece que queda sin horizonte cuando aparece la instrumentalidad; casi puede hablarse de una evolución biológica y una evolución de la instrumentalidad. 37/

- Ello nos lleva a hablar de una ruptura cualitativa cuando comienza la evolución cultural, y se superpone a la biológica. Esta evolución histórica es no sólo la del proceso de instrumentalización.

- Relación hombre-medio. Se mediatiza por instrumentos y por lenguaje.

El instrumento, además, crea la posibilidad de diferir en el tiempo acciones sobre la naturaleza. El instrumento crea la capacidad de relacionar

40/ Angel, A., 1977. "Ecodesarrollo y sociedad". Mimeografiado, Taller de Ecodesarrollo. INDERENA-CIFCA, Colombia.

condicionalmente al hombre con la naturaleza en el espacio y en el tiempo. El instrumento permite que el contacto hombre-naturaleza se adecúe a posibilidades nuevas de creación productiva: agricultura y domesticación.

En una etapa superior de la evolución cultural la instrumentalidad se expresa en: instrumentos físicos y acciones sociales.

- La evolución de la relación hombre-naturaleza pasa por 4-5 etapas:

- recolección;
- recolección y colección de desechos;
- recolección, colección de desechos y caza;
- caza, pesca y recolección;
- agricultura y domesticación.

- Sintetizando las relaciones hombre-naturaleza, nuestra hipótesis es que lo social necesita conservar la naturaleza y que para ello la instrumentalidad prolonga ciertas formas de evolución biológica pero no está limitada por la evolución orgánica, porque es capaz de dirigirla, orientarla, frenarla o acelerarla en dirección y con objetivos productivos prefijados (construcción de sistemas silvoagropecuarios, ingeniería genética, fito y zootecnia y creación de productos nuevos para los cuales no existe "memoria genética" como los hidrocarburos y sus derivados).

- Ciertos ciclos, como fuego-no fuego en la sabana, o inundación-sequía, tienen una persistencia en el tiempo como para que haya organismos con memoria genética ajustada a esos pulsos, pero el hombre ha cambiado la secuencia, intensidad y los ciclos de esos pulsos "desorientando" a la memoria genética. Un ejemplo: naturalmente hay una probabilidad de 1 vez en 25 años de incendio natural en los llanos colombianos.

El hombre, al introducir el vacuno, quema anualmente lo que ha desorganizado parcialmente el ecosistema pulsado por fuego.

- La naturaleza tiene pocos compuestos químicos de difícil digestión, entre ellos, la celulosa, para la que ha construido una máquina biológica excepcional: el rumiante y las polillas y la lignina, con estructura molecular desarticulable por muy pocos organismos como las termitas. La industria ha incorporado un amplio espectro de productos de difícil

digestión y el tiempo en que conviven esos productos con los descomponedores es demasiado corto, evolutivamente hablando, como para que haya una diversidad de bioconvertidores capaces de reciclarlos. Sin embargo, con algunos organismos de ciclo vital rapidísimo (muchas generaciones en poco tiempo) como las bacterias, ya hay tiempo generacional (no cronológico) como para que hayan aparecido unos pocos microorganismos capaces de digerir productos de la actividad industrial.

Lo que interesa destacar aquí es que hay un tiempo generacional en ecosistemas que es funcionalmente muchísimo más importante que el tiempo calendario.

- Cada grupo social en determinada estructura social, tiene un determinado comportamiento con respecto a la naturaleza. En la sociedad capitalista dependiente, los sectores de altos ingresos constituyen, invariablemente, una contradicción dialéctica, por un lado son los mecenas de tareas puntuales de conservación, de estudios prospectivos sobre la relación recurso, población, uso (Club de Roma) y por otro, sus ingresos son generados en forma directa o indirecta por la destrucción de algún recurso en algún lugar del globo.

Los sectores de bajos ingresos, si no viven del recurso, agotan el ecosistema. Es el caso de los hacheros del Chaco boliviano-paraguayo-argentino, que por exigencias dietéticas (hambre de proteína animal), destruyen la fauna mayor de todo el territorio que van barriando en búsqueda de los postes, durmientes y rollizos de quebracho colorado. Ellos también, por desbalance salarial, se ven obligados a cazar animales de piel valiosa y su actividad, forzada por razones económicas, ha hecho por ejemplo, retroceder el límite del tigre americano (Pantera enca palustris) desde San Luis hasta el Chaco paraguayo, 1.300 km de Sur a Norte.

Cuadro 1

FACTORES AMBIENTALES Y CARACTERISTICAS FENOTIPICAS
DE ESPECIE, QUE AUMENTAN DIFERENTES CLASES
DE ESTABILIDAD

-
- A. Inercia
1. Heterogeneidad ambiental en tiempo y espacio.
 2. Gran diversidad fenotípica de las especies.
 3. Multiplicidad de caminos o rutas energéticas.
 4. Variabilidad intraespecífica de la presa.
 5. Alta longevidad media de los individuos.
- B. Elasticidad
1. Tasa de natalidad dependiendo mucho de la densidad.
 2. Generaciones cortas.
 3. Alta capacidad de dispersión.
 4. Tendencias migratorias muy fuertes.
- C. Amplitud
1. Variabilidad intraespecífica de las especies componentes.
 2. Capacidad para dispersión a larga distancia.
 3. Amplia tolerancia física.
 4. Capacidad de cosecha generalizada generalista.
 5. Defensa contra predadores no dependiente de un margen pequeño de lugares de ocultamiento.
- D. Estabilidad cíclica
1. Límites altos de utilización de los recursos.
-

De Orians, 1979, in litt.

Cuadro 2

RASGOS DEL SISTEMA FORESTAL QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD

Bosque Templado	Selva Tropical
- Ambiente físico variable	- Ambiente físico constante
- Baja riqueza de especies	- Alta riqueza de especies
- Altas tasas reproductivas	- Bajas tasas reproductivas
- (Selección r)	- (Selección K)
- Letargo de semillas largo	- Ausencia de letargo o poco letargo
- Pocas especies raras	- Muchas especies raras
- Tasas de dispersión promedio altas	- Tasas de dispersión bajas
- Muchas especies migratorias	- Pocas especies migratorias
- Muchos generalistas de habitat	- Muchos especialistas de habitat
- Muchos generalistas de dieta	- Muchos especialistas de dieta

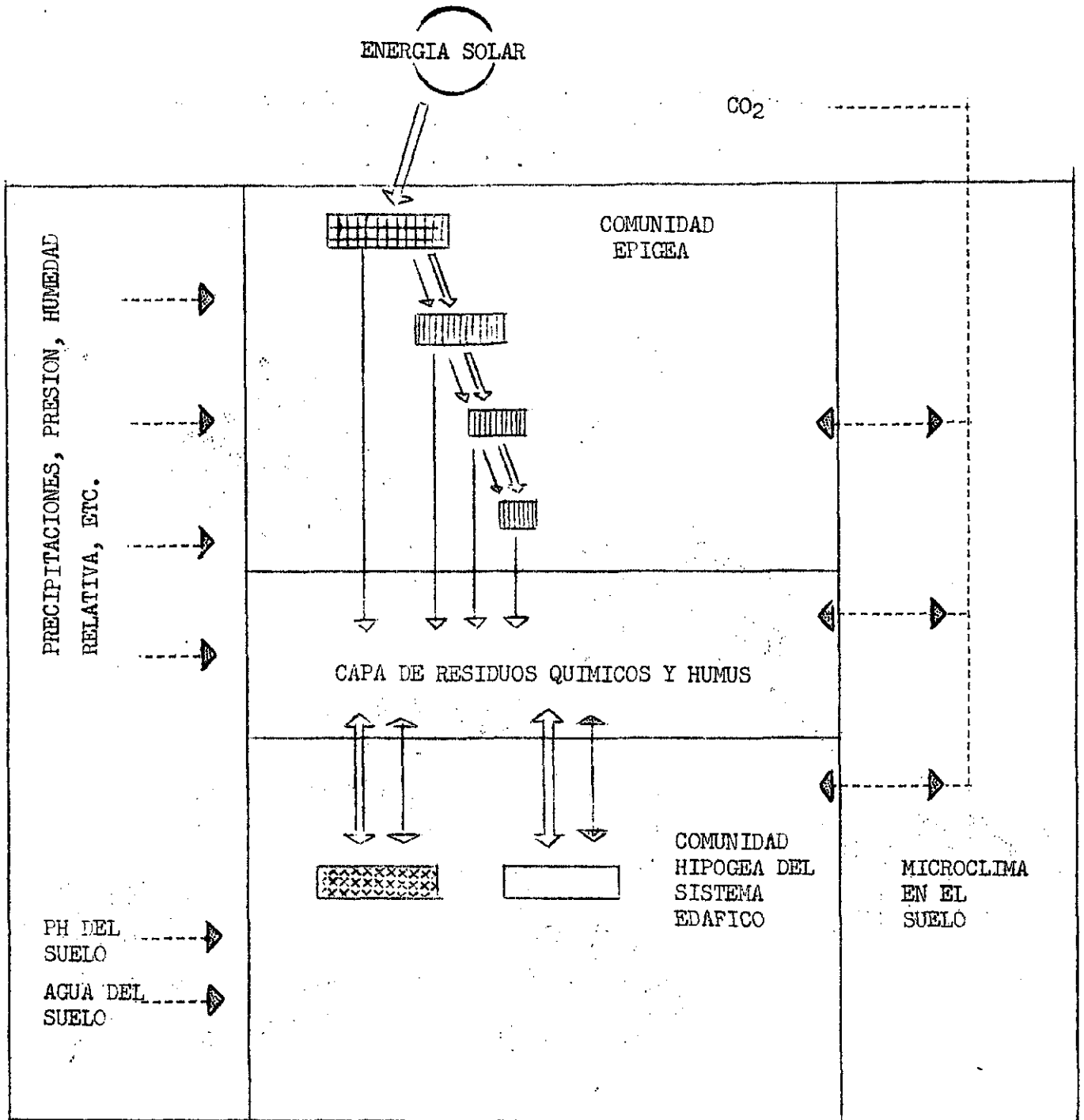
Comentario a Cuadro 2:

Bosques tropicales tienen alta inercia por su riqueza en especies (heterogeneidad de presas y multiplicidad de caminos energéticos), pero la selva puede tener baja elasticidad y amplitud para la especialización en habitat de muchas especies, falta de letargo de semillas y bajas tasas de dispersión.

Lo más importante, las perturbaciones normales del hombre son más amplias en ámbito tropical. Por ejemplo, la creación de monocultura técnica exitosa en agrosistemas clima templado, es más negativa en trópico. Bosques plantados y agricultura de cosecha única destruyen heterogeneidad en espacio y tiempo en un sistema en el que la riqueza en especies depende fuertemente de la heterogeneidad ambiental generada por esa riqueza en especies.

Clareos o descumbre es una seria perturbación cuando las plantas tienen semillas grandes dispersadas por animales, tales semillas no tienen letargo y, por lo tanto, debemos esperar extinciones masivas de especies cuando se hacen clareos.

Gráfico 1



PRODUCTORES



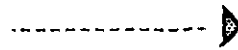
CONSUMIDORES



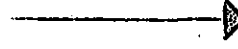
MICROFLORA DEL SUELO



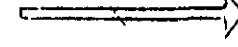
DESINTEGRADORES O SAPROFAGOS



CONTROLES ABIOTICOS



FLUJO DE MATERIA



FLUJO DE ENERGIA

Gráfico 2

DIAGRAMA DE LOS FLUJOS DE ENERGIA EN LOS ECOSISTEMAS DE PASTOREO Y LOS PROCESOS ASOCIADOS (Según: GALLOPIN, 1972 - MODIFICADO -)

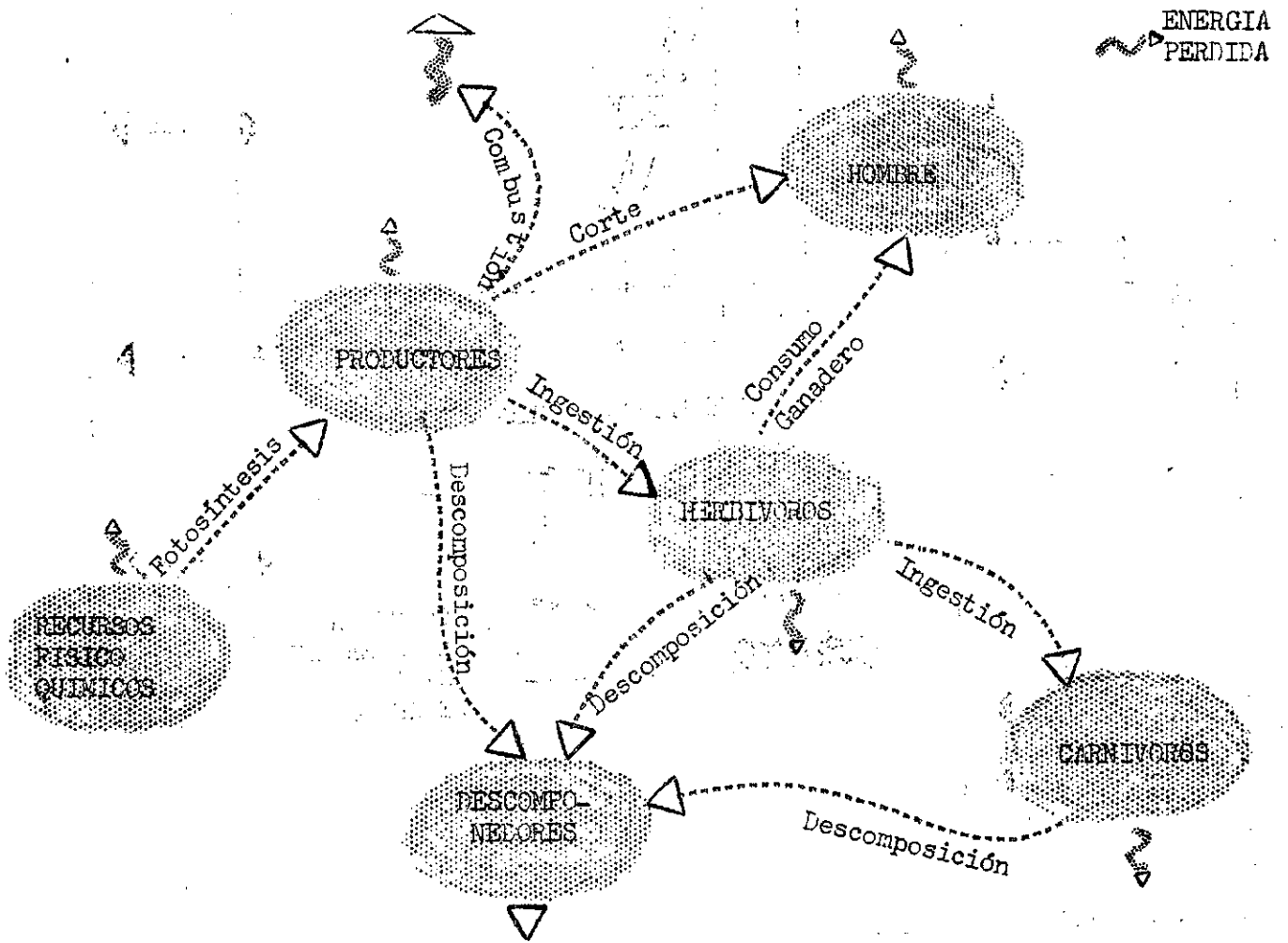


Gráfico 3

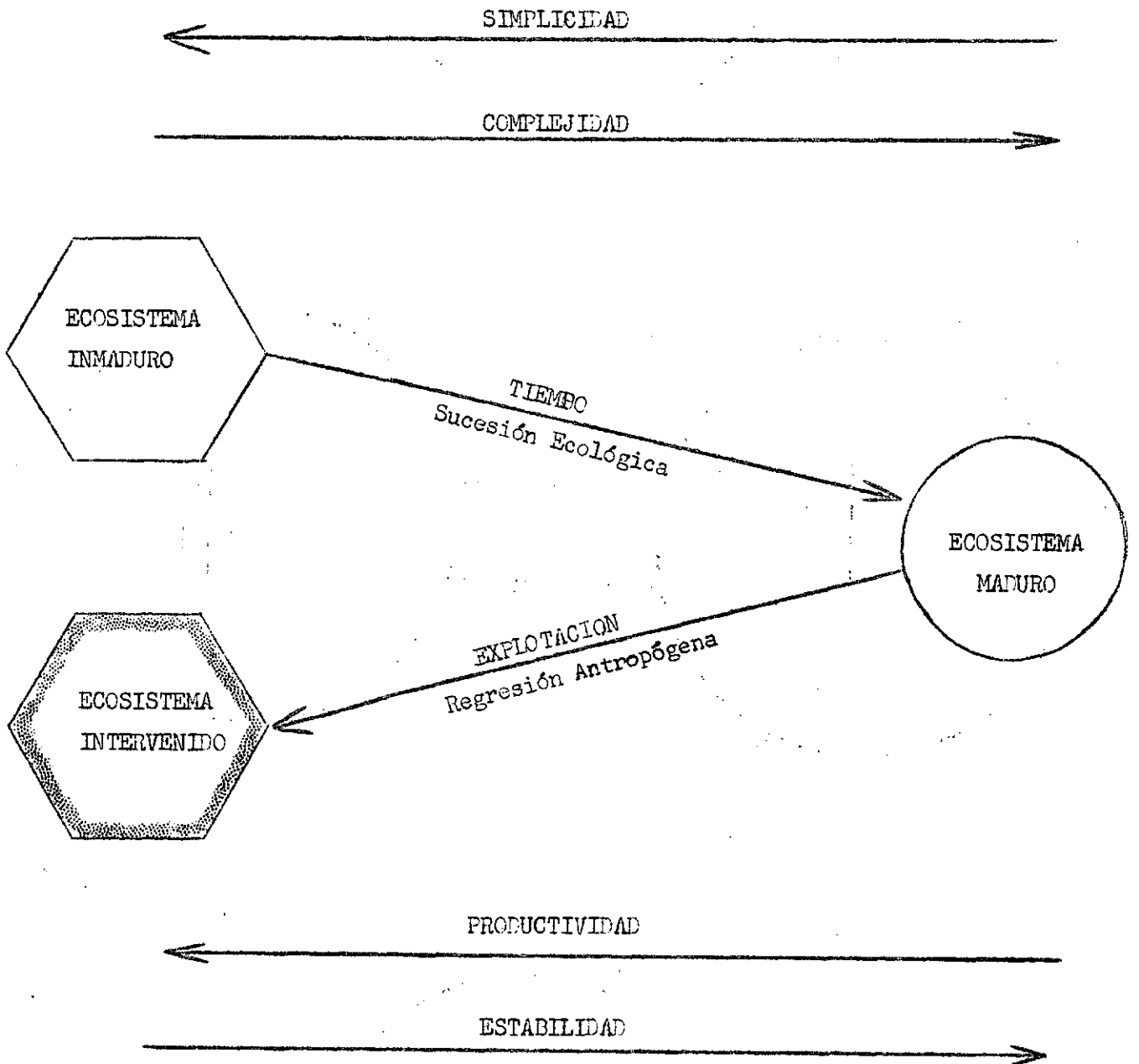


Gráfico 4

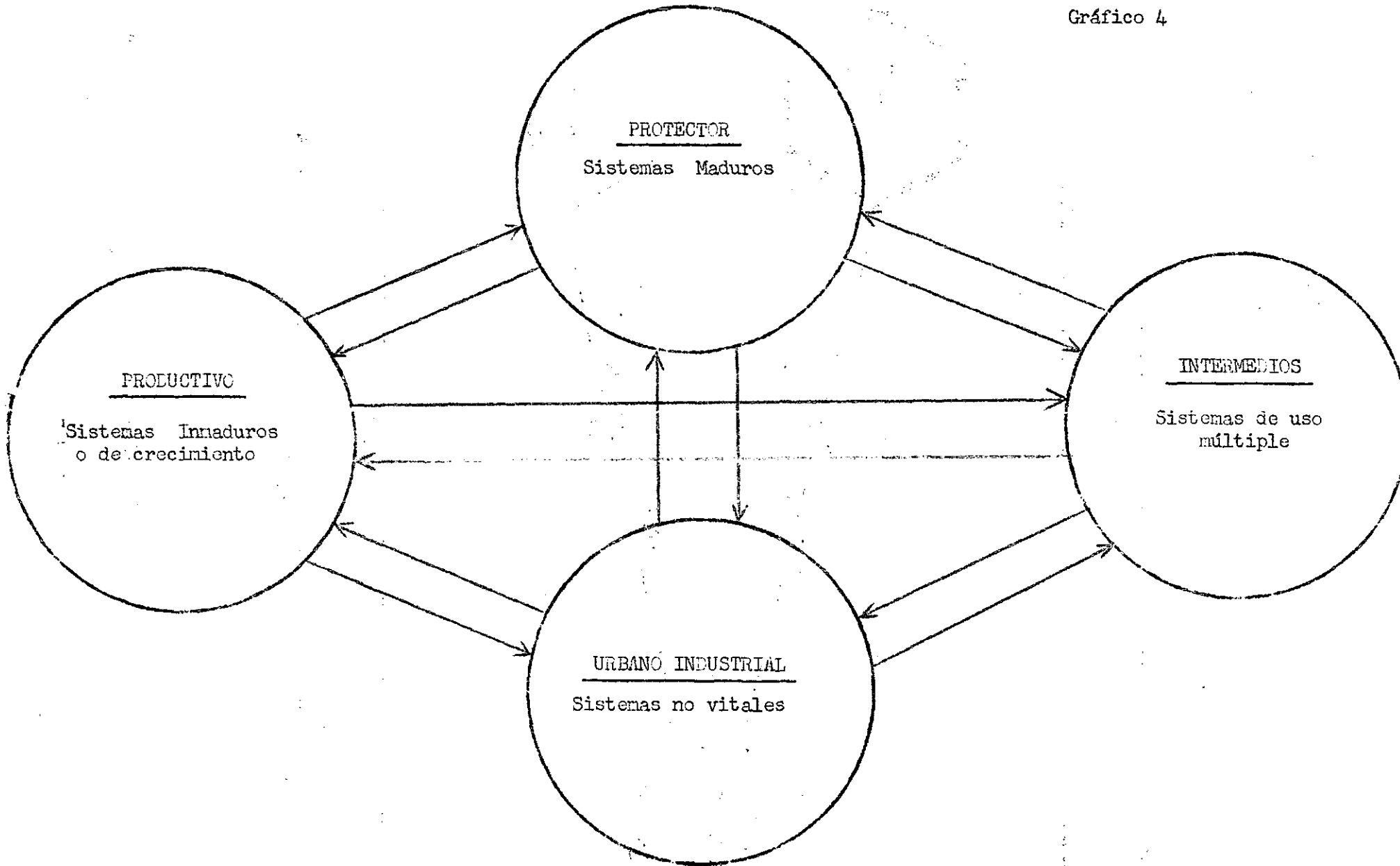
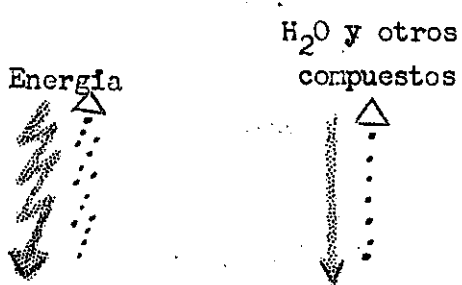


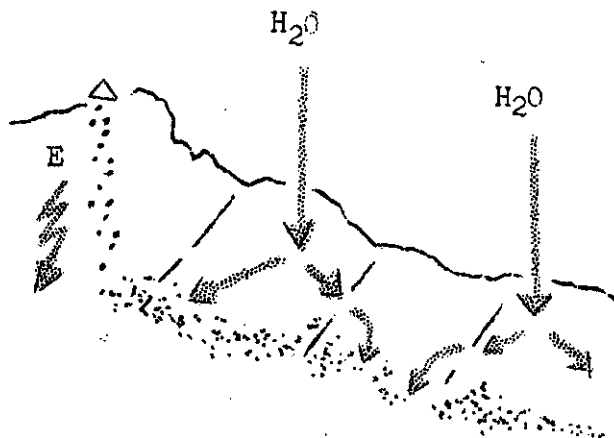
Gráfico 5

CLIMA



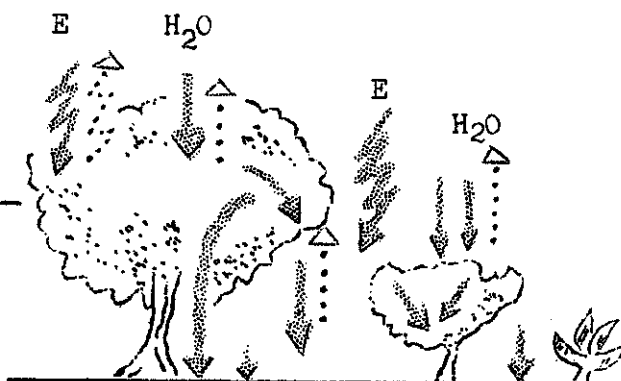
OFERTA

RELIEVE



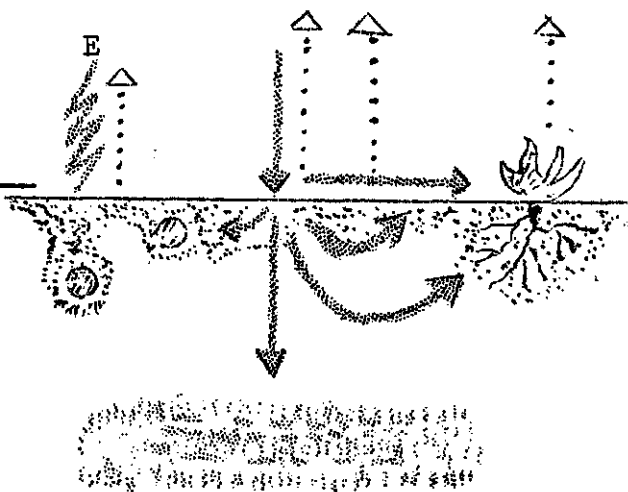
ACEPTOR
MACRO DISTRIBUIDOR

VEGETACION



MICRO DISTRIBUIDOR
CONSUMIDOR

SUELO



ACUMULADOR
DADOR
TRANSFERIDOR

Gráfico 6

EXPRESION DEL PATRON DE DISTRIBUCION DE ENERGIA.
DE ORIAN, G., 1977

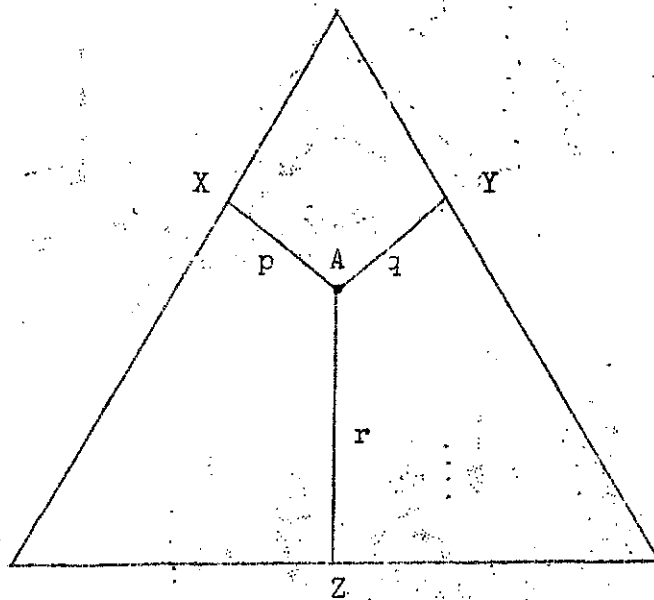


Gráfico 7

DISTRIBUCION DE ENERGIA EN ALGUNAS PLANTAS.
DE ORIAN, G., 1977

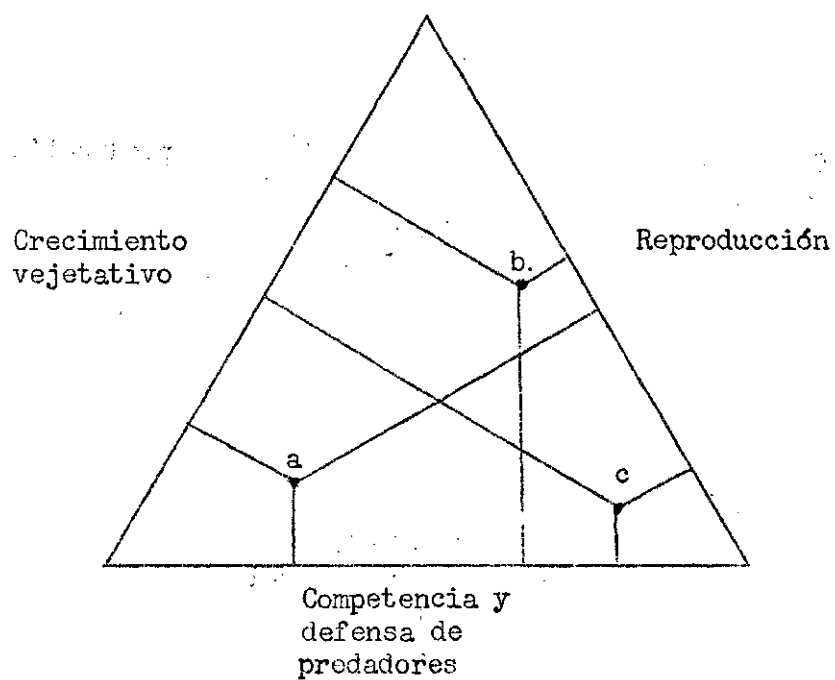


Gráfico 8

DISTRIBUCION DE ENERGIA EN ANIMALES.
DE ORIAN, G.; 1977

