

Capítulo 4

El agroecosistema: un sistema natural modificado

Santiago J. Sarandón

*Modificado del capítulo del libro:
Agroecología: El camino para una agricultura sustentable,
SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina. 2002*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La necesidad de una visión sistémica y holística para el abordaje de la producción agropecuaria

A pesar de la poca importancia que se le ha dado al estudio del funcionamiento de los ecosistemas en la formación de los profesionales de la agronomía, el objetivo de los agrónomos no es más ni menos que intervenir los ecosistemas para que estos produzcan ciertos bienes económicos en lugar de los que naturalmente producirían sin la intervención humana. Como señala Toledo (1994), "...toda producción rural finalmente implica una apropiación de ecosistemas, es decir, de totalidades o ensamblajes físico-biológicos dotados de un equilibrio dinámico, y que las especies o los materiales o las energías usufructuadas durante dicha apropiación no son simples elementos de aquello". Para ello, es necesario un abordaje diferente, basado en una visión de holística y sistémica y en un mayor conocimiento del rol que los componentes tienen en la producción agropecuaria.

Esto no es posible desde la visión fragmentaria y atomística prevaleciente aun hoy entre los agrónomos y las Instituciones de Educación agrícola. El cambio hacia una visión sistémica es, entonces, fundamental e implica que los agroecosistemas deben visualizarse como sistemas ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen por fin una producción de utilidad económica. Por otro lado, el abordaje holístico o generalista implica reconocer que el todo es más que la suma de las partes. Como señalan Lugo & Morris (1982) "es imposible interpretar el comportamiento de un sistema dado sólo basándose en estudios sobre el comportamiento de sus partes". Por ello, para abordar la complejidad del manejo sustentable de agroecosistemas, es esencial este tipo de enfoque ya que, la suma de varias visiones parciales de especialistas, muchas veces, no permite entender la totalidad del problema.

El conocimiento de estos fenómenos es necesario para un manejo que compatibilice la obtención de un flujo de bienes y servicios, sin comprometer la capacidad productiva de los recursos para las futuras generaciones.

El objetivo de este capítulo es señalar la importancia de aplicar el análisis de sistemas para el manejo de los agroecosistemas, resaltando las diferencias y similitudes de los principales procesos en ecosistemas naturales y agroecosistemas, y el impacto que las distintas prácticas agrícolas tienen sobre ellos.

2. EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Un sistema es un "arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo", (Becht, 1974).

Es fundamental entender que las propiedades de un sistema no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos.

Así como un reloj, no es sólo la suma de todas sus piezas, sino además, de la forma en que éstas están relacionadas o ensambladas, (ya que si pierden su relación, éste no funciona), así, en un sistema ecológico, no es sólo la suma de sus componentes, sino la forma en que éstos se interrelacionan lo que le da sus propiedades particulares. Y, en el caso de un agroecosistema, lo que le confiere sus características productivas.

En un sistema pueden reconocerse: componentes, interacciones entre sus componentes, entradas, salidas y límites.

2.1. Componentes de los sistemas

Los componentes de un sistema pueden ser muy variados, según se trate de sistemas biológicos, mecánicos o de cualquier otro tipo. Pueden encontrarse sistemas compuestos de muchos componentes y otros de muy pocos.

Los componentes de los ecosistemas y agroecosistemas pueden dividirse, según su función en productores, consumidores y detritívoros.

Los productores son aquellos componentes que tienen la particularidad, mediante el proceso de la fotosíntesis, de transformar y acumular energía lumínica en forma de energía química. Las plantas verdes, son los productores por excelencia.

Los consumidores se ubican en un nivel trófico superior y necesitan a los productores para subsistir, ya que, por su incapacidad de transformar la energía luminosa, deben alimentarse de los componentes que sí lo hacen. Los consumidores comprenden a todos los animales, tanto silvestres: liebres, insectos, como domesticados: vacas, ovejas, aves, etc. A los que se alimentan de vegetales, se los denomina consumidores primarios y los que se alimentan de animales se denominan consumidores secundarios, como el caso de las fieras, aves rapaces, predadores de insectos, etc.

Los detritívoros, son también consumidores, pero se alimentan de tejido muerto de las plantas, e intervienen en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. Aquí se encuentran varios grupos como los artrópodos y numerosos microorganismos fundamentales en estos procesos (ver capítulo suelos).

2.2. Límites y niveles jerárquicos

2.2.1. Definiendo los límites

Reconocer o definir los límites del sistema en estudio es un paso fundamental para aplicar el enfoque de sistemas. Estos no son fijos y dependen de nuestro objetivo o interés. La definición de los límites resulta indispensable para evaluar las salidas y entradas de y hacia el sistema. Si los límites no son precisos, no pueden percibirse entradas ni salidas, o pueden confundirse con salidas lo que no son más que flujos internos. Este concepto tiene especial importancia para el manejo de agroecosistemas ya que, por definición, su objetivo es producir un flujo constante de materiales (bienes y servicios) fuera del mismo, pero al mismo tiempo evitando o minimizando las salidas no deseadas: contaminantes, erosión de suelos y nutrientes, entre otros. Es importante tener en cuenta que, los límites del sistema no son sólo bidimensionales, sino tridimensionales. Es decir, que lo que se escapa por debajo y/o hacia la atmósfera también debe ser tenido en cuenta. Por ejemplo, en un cultivo de trigo, el límite inferior estará dado por la profundidad de exploración de las raíces. Ya que todo lo que se encuentre por debajo no está accesible o disponible para nuestro sistema trigo. Un nutriente que está a mayor profundidad que la capacidad de exploración de las raíces del trigo, se ha ido de nuestro sistema. El agregado de árboles a este sistema incrementaría sus límites inferiores y superiores, ampliando entonces la cantidad de recursos disponibles.

Otro aspecto a tener en cuenta es el nivel jerárquico, es decir, la relación que se establece entre diferentes sistemas. Un sistema puede ser un subsistema de un sistema de mayor jerarquía y, a su vez, contener varios subsistemas, y así sucesivamente. Se puede analizar a nivel país, cuenca, región, fincas, parcelas o plantas. ¿Cuál es el nivel de jerarquía que debemos tener en cuenta? Esto depende de nuestro objetivo, pero Hart, (1985) propone que, para cualquier estudio deben tenerse en cuenta, por lo menos tres niveles jerárquicos.

En general, para el estudio de un agroecosistema deben tenerse en cuenta, por lo menos 3 niveles jerárquicos: el sistema en estudio, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo.

Los sistemas tienen, además, una estructura que les permite cumplir con su función. La estructura de un sistema puede ser muy simple o compleja y depende de: número y tipo de componentes y del arreglo entre estos componentes. Un ecosistema puede tener numerosos componentes, como, por ejemplo, una selva tropical donde coexisten muchas especies, o puede tener pocos componentes, como un sistema de monocultivo de trigo. El arreglo o relación entre los componentes puede ser de varios tipos: competitivo, cuando utilizan los mismos recursos; cíclico, cuando forman parte de un ciclo biogeoquímico o trófico, cuando uno sirve de alimento a otro.

2.3. Procesos de los sistemas

En los sistemas naturales o agroecosistemas pueden reconocerse 5 procesos básicos (Lugo & Morris, 1982):

- fotosíntesis
- respiración
- flujo de nutrientes: ciclos biogeoquímicos
- sucesión
- procesos internos de regulación (ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos)

2.3.1. Fotosíntesis y respiración, producción primaria:

La *fotosíntesis* es la función primordial de los ecosistemas. Es la que permite, a través de una propiedad única de la clorofila, transformar la energía luminosa en energía química (hidratos de carbono), que luego es utilizada por las propias plantas o consumida por los animales. Este proceso es fundamental en cualquier ecosistema, y sobre todo en los agroecosistemas. A los componentes que realizan esta función, los vegetales, se los denomina productores primarios. Son los encargados de producir materia en el sistema. El producto de la fotosíntesis se denomina **Producción Primaria Bruta (PPB)** y es todo lo que las plantas fijan a través de este proceso. Sin embargo, no toda esta energía fijada se utiliza para el crecimiento del ecosistema, parte la usan para su manutención y parte para su crecimiento o acumulación de materia seca.

Fotosíntesis, biomasa y productividad

La energía fijada por unidad de área es la denominada **Fotosíntesis bruta**. Parte de esta energía se utiliza para los procesos metabólicos de las plantas mediante el fenómeno de la **Respiración (R)**, de sentido contrario a la fotosíntesis. El resto es la **Fotosíntesis Neta** que es lo que se utiliza para crecer, exportar, cosechar, alimento de heterótrofos.

Productividad primaria Bruta (PPB): es la cantidad total de energía fijada por unidad de área en un tiempo dado.

Productividad primaria Neta (PPN): es la energía fijada por unidad de área en un tiempo dado, luego de restarle la respiración de los autótrofos (las mismas plantas)

Productividad Neta de la comunidad (PNC): es la energía fijada luego de restarle la respiración de las propias plantas y del resto de heterótrofos (consumidores) de la comunidad; insectos, microorganismos, etc. Es la razón de ser de los agroecosistemas, lo que permite la exportación de productos: granos, frutas, tubérculos, forraje, leche, huevos, carne, etc.

El otro proceso esencial que ocurre en los ecosistemas naturales o agrícolas es la *respiración*. Este proceso consume lo acumulado por el proceso de fotosíntesis, para obtener energía para otros procesos vitales. La diferencia entre la fotosíntesis y lo consumido por la respiración es lo que se denomina **Producción Primaria Neta (PPN)** y es lo que determina si el ecosistema crece o no, si acumula materia o no. Por otra parte, la **Productividad Neta de la Comunidad (PNC):** es la energía fijada luego de restarle la respiración de las propias plantas y del resto de heterótrofos (consumidores) de la comunidad; insectos, microorganismos, etc.

Pueden darse tres condiciones: **PNC > 0**, **PNC = 0**, o **PNC < 0**. El primer caso es típico de los agroecosistemas, una producción primaria neta positiva: la fotosíntesis es mayor que la respiración. Es su

principal objetivo: la producción de un excedente para consumir o para vender y exportar a otros ecosistemas.

La situación donde la productividad primaria neta de la comunidad es igual a cero ($PNC = 0$) se da en algunos ecosistemas naturales maduros (que han llegado a su clímax ecológico). Esto no quiere decir que tengan poca biomasa (a veces, incluso esta es máxima), sino que la respiración (de sus componentes autótrofos y heterótrofos) es igual a la fotosíntesis y que por lo tanto, el sistema se mantiene con pocas variaciones en su cantidad de materia. Esto ocurre porque existen muchas estructuras que no realizan fotosíntesis pero que respiran, como las raíces, o troncos de los árboles, y muchos componentes no autótrofos que consumen lo producido pero que son esenciales para mantener las funciones del sistema. Es decir, se gasta o se invierte, en el automantenimiento del sistema.

No debe confundirse biomasa con productividad. La biomasa presente en un sistema, en un momento dado, puede ser el producto de muchos años de acumulación. La productividad es la cantidad acumulada en una unidad de tiempo y por unidad de área. Lugo & Morris (1982) señalan al respecto, que la biomasa per se no es una medida que indique la magnitud de la productividad de un sistema. Por ejemplo, en un bosque de eucaliptos de varios años, la biomasa puede ser muy importante, mucho mayor que en un cultivo de maíz, sin dudas, pero se ha conseguido a través de varios años de producción y la productividad puede no ser muy alta e incluso variar a lo largo del tiempo. No es lo mismo en etapas tempranas de su desarrollo, que en las etapas finales.

Los sistemas agrícolas optimizan la productividad neta, los ecosistemas naturales la productividad bruta, la biomasa y la eficiencia en el uso de la Energía

Por otro lado, los sistemas típicos donde la respiración es mayor a la fotosíntesis y que, por lo tanto, tienen una producción neta menor que cero ($PNC < 0$) son las ciudades, que por esa razón necesitan de la existencia de los agroecosistemas para producir un excedente para su sustento. Otro ejemplo son los sistemas de producción de pollos industriales o sistemas de producción de hongos, donde la energía que consumen los animales (granos, alimento balanceado) o que se utiliza como sustrato de los hongos (paja), es importada del excedente de producción de otros sistemas, que son subsidiarios de éste.

2.3.2. Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos son un proceso fundamental en los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, impulsados por la energía que atraviesa el sistema. Son transformaciones químicas que los materiales van sufriendo, a través de su paso por el suelo, el agua y el aire con intervención de componentes biológicos, en muchos casos microorganismos, que resultan fundamentales en estos procesos. Así las bacterias celulolíticas, nitrificadoras, nitrificadoras, etc., tiene un importante rol en la descomposición de la materia orgánica y su puesta a disposición para las plantas en forma de nutrientes. Algunos ciclos importantes para los agroecosistemas son el ciclo del C, del N y el del P. (Ver Capítulo 4.2., [Nutrientes](#)).

Cualquier nutriente, sólo está disponible parcialmente y en un determinado momento. Por ello, hay que establecer la diferencia entre la cantidad total y la disponible, que es la que sirve para ser apropiada por los componentes biológicos del sistema. Es decir, no debe confundirse "stock" con disponibilidad; un sistema puede tener un gran stock de algún nutriente, como el fósforo, pero poco de este estar disponible en un momento dado. La tasa o velocidad con que se hacen disponibles, tiene que ver con los ciclos biogeoquímicos. A su vez, el lugar o los componentes donde se almacenan los nutrientes, son diferentes en distintos tipos de ecosistemas. Así en un bosque tropical, gran parte de los nutrientes se almacenan en el tejido vegetal. Por el contrario, en los sistemas templados de praderas, con suelos profundos, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en el suelo.

2.3.3. Sucesión

Los ecosistemas no son estáticos, cambian en el tiempo y tienden a su desarrollo. Este fenómeno es conocido como sucesión o desarrollo del ecosistema, y distingue claramente a los sistemas que tienen componentes biológicos de los que son fundamentalmente físicos (Odum, 1998). Todos los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, tienen una tendencia hacia un cambio dinámico en el tiempo, que es consecuencia de fuerzas que irrumpen desde el exterior y de procesos de desarrollo generados dentro del sistema. El término sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que experimenta un ecosistema en el transcurso del tiempo.

La sucesión es un proceso ordenado, y por lo tanto previsible, que se da en todo ecosistema, incluso en los agroecosistemas. Culmina con el establecimiento de un ecosistema estable

Es el resultado de la modificación del medio ambiente físico y de la estructura de la población, por parte de la comunidad. Es una fuerza o tendencia del ecosistema que culmina con el establecimiento de un ecosistema estable. La etapa final de un ecosistema se conoce como clímax y su composición o comunidad final depende de las características agroclimáticas de la zona, geografía, clima, etc. Una de las características de esta etapa climácica es que son sistemas estables, o más o menos estables, en los cuales, teóricamente, se alcanza la máxima biomasa por unidad de energía (Odum, 1998). Las etapas de desarrollo se conocen como etapas serales y tienen mucho que ver con los sistemas agrícolas, ya que son las etapas permanentes de los agroecosistemas. El productor modifica la tendencia natural del ecosistema hacia la complejidad manteniéndolo permanentemente en etapas juveniles altamente productivas, mediante subsidios energéticos.

Los Agroecosistemas son ecosistemas mantenidos, a través de subsidios energéticos, en etapas tempranas de la sucesión, para obtener altos niveles de productividad (pero baja estabilidad)

2.3.4. Procesos internos de regulación

Se conoce con este nombre a una serie de procesos internos que ocurren en los ecosistemas naturales o agroecosistemas y que tienen que ver con los ciclos reproductivos, fases fenológicas y la partición o asignación de los recursos. Los ciclos reproductivos hacen referencia a la forma característica en que los diferentes componentes del sistema se reproducen a sí mismos. Por su parte, las fases fenológicas hacen referencia a los diferentes estadios en el desarrollo de los seres vivos, desde su nacimiento hasta su muerte. La partición o asignación de recursos es la manera en que la energía fijada como materia se distribuye entre los diferentes órganos de los componentes del sistema, en el caso de los vegetales: raíces, tallos, hojas, frutos, bulbos, estructuras defensivas, etc.

Todas estas propiedades les dan sus características a los ecosistemas y determinan la eficiencia con que realiza sus funciones, lo que se analizará cuando se compare el comportamiento de los sistemas.

2.3.5. Atributos o propiedades de los sistemas

Los sistemas pueden evaluarse de acuerdo a la forma en que cumplen sus funciones. Algunos atributos o propiedades que pueden resultar interesantes de ser evaluados en los Agroecosistemas son: la productividad, la eficiencia, la resiliencia, y la estabilidad.

La productividad: Es uno de los atributos más importantes desde el punto de vista agronómico. Se refiere a la producción de biomasa (total o de algún órgano en particular) en un período determinado de tiempo. Una medida muy usada de productividad es el rendimiento de los cultivos.

A pesar de que la productividad (rendimiento) se ha transformado en casi el único atributo que importa en la agricultura moderna, para la Agroecología interesan además otros atributos que pueden ser tan importantes como la productividad. O tal vez más, según el tipo de productor.

Uno de ellos es la eficiencia de los procesos, es decir, la relación entre insumos que ingresan y los que salen. Esto puede referirse a la energía, nutrientes, etc. Un sistema puede ser altamente productivo (alta productividad) pero poco eficiente porque esta productividad requiere un alto ingreso de algún insumo, como en el caso de algunos sistemas modernos de producción de alimentos.

La estabilidad es un atributo importante del sistema, y se refiere a la capacidad de resistencia a los cambios. Está relacionado también con otro atributo, la resiliencia, que es la capacidad de recuperarse luego de sufrir algún disturbio. Un sistema puede ser altamente productivo pero muy inestable o frágil.

Tanto la estabilidad como la resiliencia incorporan el factor tiempo, por lo que son medidas que sólo pueden obtenerse luego de una serie de años. De allí su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas.

La importancia que le asignemos a cada una de estas propiedades del sistema dependerá de los objetivos buscados.

3. AGROECOSISTEMAS Y ECOSISTEMAS NATURALES. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS

Los agroecosistemas, tal como los definió Odum (1984), son un tipo especial de ecosistema, intermedios entre los ecosistemas naturales y los ecosistemas urbanos como las ciudades, totalmente contruidos por el hombre. Los agroecosistemas tienen, tal vez, el mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema, debido a que ellos nos proveen de comida y fibras y tienen grandes impactos sobre la calidad del ambiente.

Varias son las diferencias y similitudes entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. El conocimiento de estas características y de la influencia que sobre ellas ejercen determinadas prácticas agrícolas es fundamental para planificar un manejo adecuado de los mismos, con el objetivo de una producción sustentable en el tiempo.

Algunas de las principales diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas se han sintetizado en la [Tabla 4.1](#) y se describen a continuación;

Tabla 4.1: Algunas similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas (modificado de Sarandón 2002)

Atributos	Ecosistema natural	Agroecosistema
Objetivo	Ninguno	Utilitario
Responsable	Nadie	Agricultor
Fuente de energía	Solar (mareas)	Solar + artificial (combustibles fósiles)
Diversidad genética	Alta	Baja
Diversidad específica	Alta	Baja
Fuerza de selección	Natural (evolución)	Hombre (económica)
Asignación de recursos	Equitativa (estr. competitivas)	Económica (granos, tubérculos)
Productividad	Baja (nula)	Alta
Biomasa	Alta	Media
Productividad / biomasa	Baja	Alta
Ciclo de nutrientes	Cerrado (prácticamente)	Abierto
Ocupación de nichos	Alta	Baja
Aprovechamiento de recursos	Alta	Baja
Continuidad espacio temporal	Alta	Baja
Sincronización entre plantas y microorganismos	Alta	Baja
Lixiviación de nutrientes	Baja	Alta
Erosión	Baja	Alta
Estabilidad	Alta	Baja
Resiliencia	Alta	Baja

3.1. El objetivo

Hart (1985) define al agroecosistema como un ecosistema que cuenta, por lo menos, con una población de utilidad agrícola. Independientemente de la definición que se tome, queda en claro que, a diferencia de los ecosistemas naturales (EN), los agroecosistemas (AES) tienen un objetivo, un propósito: la producción de alimentos o fibras, y por lo tanto, un responsable del manejo; el hombre. Este decide intervenir en la estructura natural de un ecosistema para cambiarlo y obtener de él otros productos que considera de mayor utilidad. Para eso tiene que modificar sus componentes y las interrelaciones entre ellos. Es decir, el productor y el agrónomo que lo asesora manejan ecosistemas en forma conciente o inconsciente. Pero el hombre no actúa o vive solo, sino que vive en una comunidad y decide su grado de intervención y sus objetivos a través de complejos mecanismos de decisión que involucran sus valores, creencias y conocimientos, dentro de un contexto socioeconómico y político determinado. Mitchell (1984) señala que la distribución de cultivos y los consumidores en los sistemas de producción de gran escala, están mayormente determinados por los factores económicos.

3.2. La energía en los ES y AES

El flujo de energía es uno de los procesos fundamentales en los ecosistemas. La energía emitida por el sol y recibida por las plantas (productores primarios) es la principal fuente de toda la vida en el planeta. A diferencia de la materia, la energía no se recicla, sólo circula y fluye a través de los sistemas, perdiendo capacidad de generar trabajo y aumentando, por lo tanto, la entropía. Este flujo energético unidireccional, como fenómeno universal es el resultado de la acción de las leyes o principios de la termodinámica (Ver capítulo [Energía](#)). Aunque por el primer principio, la energía no se destruye, sí cambia de calidad y se degrada, perdiendo la capacidad de generar trabajo y disipándose.

A diferencia de la materia, que se recicla, la Energía sólo se usa una vez

La eficiencia y el tipo de energía utilizada son una de las grandes diferencias entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. En un ecosistema natural la principal fuente de energía es el sol, a excepción de algunos ecosistemas donde la fuerza de las mareas tiene un rol importante como en regiones costeras. La cantidad de la energía que efectivamente llega al sistema, depende de las condiciones (latitud, altitud) del ecosistema en cuestión y de la época del año. Igualmente, sólo una pequeña fracción de la energía que llega a la atmósfera alcanza efectivamente las plantas. Sin embargo, esta pequeña energía es suficiente para sostener todos los procesos vitales de los agroecosistemas tan complejos como una pluviselva tropical.

En los agroecosistemas, además de la energía del sol, se utiliza energía de otras fuentes, principalmente energía fósil derivada del petróleo que, aún hoy, constituye la principal fuente de energía. En rigor, se trata también de energía solar que, por el proceso de fotosíntesis, fue convertida a carbono hace muchos millones de años. Pero no pertenece al flujo actual de energía emitida por el sol y, a diferencia de ésta, es un recurso no renovable que se agotará tarde o temprano (al ritmo actual de consumo, más temprano que tarde).

En un agroecosistema, el uso de energía proveniente de otras fuentes es, a veces, importantísimo, dependiendo de la intensidad, de los sistemas de manejo y los estilos de agricultura seleccionados. En sistemas altamente industrializados, como los cultivos en invernáculos con fertirriego, puede ser enorme. Esta energía entra al sistema no sólo en forma de combustibles, sino en forma de plaguicidas, fertilizantes, riego, labores, etc.

La eficiencia energética del sistema, puede ser medida como la relación entre la energía que sale y la que entra. O, en otras palabras, cuántas unidades de energía se obtienen (generalmente en forma de alimentos) por cada unidad que se invierte en el sistema. Cuando se hacen estos cálculos se obtienen resultados, a veces sorprendentes (ver capítulo 4.1. [Energía](#))

3.3. La biodiversidad en los agroecosistemas

La biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variación en genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas. A pesar de ser uno de los conceptos más importantes en ecología y uno de los puntales de la agricultura, aun permanece como una idea compleja y no completamente entendida.

La diversidad biológica o biodiversidad presente en un ecosistema dado, es altamente dependiente del tipo de ecosistema y de las condiciones climáticas de los mismos. No es la misma en una selva tropical que en un desierto o monte achaparrado.

La diversidad, tanto específica como genética es otra gran diferencia entre EN y AES. El manejo que el hombre hace de los ecosistemas consiste en reemplazar una gran cantidad de especies silvestres por unas pocas o sólo una especie de utilidad agrícola.

Agricultura y Biodiversidad

La agricultura moderna se caracteriza por su uniformidad a nivel genético y específico (Ej., híbridos simples de maíz), a nivel parcela (toda la parcela sembrada con la misma especie, sin presencia de vegetación espontánea: malezas), a nivel finca (grandes superficies con unos pocos cultivos) y a nivel región (zonas productoras de determinados cultivos), lo que se traduce también en la uniformidad del paisaje.

Un ejemplo de baja diversidad es la zona cerealera de la Pampa Húmeda Argentina, constituida por grandes superficies con pocos cultivos. Incluso, en los últimos años esta baja diversidad se ha llevado al límite en sistemas como los de las plantas transgénicas resistentes a herbicidas totales. Es el caso del cultivo de la soja RR (que ya ocupa más del 95% de la superficie con soja en la Argentina) donde no existen siquiera especies vegetales acompañantes (malezas), transformándolos en grandes desiertos verdes.

Otros sistemas de baja diversidad son los cultivos de especies hortícolas como el apio, tomate o frutilla en invernáculos que se tratan previamente con un esterilizante de suelo (bromuro de metilo). La idea aún predominante en muchos agrónomos es que el único ser vivo del sistema debe ser el cultivo. Sin embargo, el rol de la biodiversidad en los agroecosistemas está siendo revalorizado actualmente.

Los polinizadores, enemigos naturales, lombrices, y microorganismos del suelo son todos componentes claves de la biodiversidad que juegan importantes roles ecológicos, mediante procesos como los de introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, etc. (Altieri & Nicholls, 1999).

Existen varios tipos de diversidad que pueden ser consideradas en agroecosistemas o relacionadas con los agroecosistemas, que han sido clasificadas por Gliessman (2000) y se señalan en la [Tabla 4.2](#).

Tabla 4.2: Dimensiones de la diversidad ecológica en un Agroecosistema, (modificado de Gliessman, 2000)

Dimensión	Descripción
Genética	<i>Grado de variabilidad de genes en el sistema, dentro y entre las especies: variedades, híbridos, clones, etc...</i>
Especies	<i>Número de especies diferentes en el sistema.</i>
Vertical	<i>Número de distintos estratos o niveles en el sistema. Arquitectura de los cultivos.</i>
Horizontal	<i>Patrón de distribución espacial de organismos y/o cultivos en el sistema</i>
Estructural	<i>Número de hábitats, nichos, roles tróficos en el sistema. Estructuras complejas o simples.</i>
Funcional	<i>Complejidades de interacción, flujos de energía y ciclaje de materiales entre los componentes del sistema</i>
Temporal	<i>Grado de heterogeneidad en el tiempo: rotaciones, sucesiones de cultivos, ciclos diferentes.</i>

En este sentido, es importante destacar la importancia de reconocer la diversidad funcional más que la específica. No es lo mismo tener 3 especies semejantes o que cumplen un mismo rol en el agroecosistema, que tres especies con roles bien diferentes. La importancia de esto, está asociada al grado de redundancia que tengan las especies, algo que no es todavía del todo comprendido.

Es fundamental identificar aquellos componentes claves de la biodiversidad en sistemas de producción agrícola, responsables del mantenimiento de los procesos naturales y ciclos, y monitorear y evaluar los efectos de las diferentes prácticas y tecnologías agrícolas sobre esos componentes.

Un aspecto que debe ser considerado en el análisis es la diferencia entre diversidad y riqueza. La riqueza se refiere al número de especies, independientemente de que su distribución sea equitativa o no. La diversidad se refiere a su distribución equitativa. Por ejemplo, un sistema (A) puede tener 10 especies de cultivos, pero un 98% de su superficie cultivada con uno (maíz) y el resto con otros 9 cultivos. El sistema B, por el contrario, puede tener 10 especies, pero de manera tal que cada una ocupa un 10% de su territorio. Aunque el valor de riqueza es igual, la diversidad es mucho mayor en el sistema B. Para medir la diversidad se han propuesto varios índices, entre los cuales el índice de Shannon de la diversidad general (H) de empleo muy generalizado es uno de los mejores para efectuar comparaciones, entre otras cosas porque es razonablemente independiente del tamaño de la muestra (Odum, 1972). Permite evaluar la uniformidad de la distribución de especies, según la fórmula: $H = -\sum P_i \log P_i$, donde P_i es el valor de importancia para cada especie sobre el número total de especies.

No es posible lograr o pretender el mismo grado de biodiversidad en todos los agroecosistemas. Cada agroecosistema tiene su propio potencial de diversidad que está dado por las condiciones agroclimáticas de la zona, características geográficas, etc. Pero, sin duda, uno de los factores que más influyen o determinan el grado de diversidad de los agroecosistemas es la mente del productor, la idea que este tiene de lo que es un agroecosistema, y de la importancia que le otorga a la biodiversidad para su funcionamiento. Muchas veces, el problema es la uniformidad como objetivo o ideal agronómico. Como señala Vandana Shiva (1996), muchas veces, el problema es el monocultivo de las mentes.

3.4. Biodiversidad y estabilidad

La diversidad espacial y física pueden tener un importante rol en la estabilidad del sistema. En este sentido, no sólo es importante la cantidad de especies, sino también la variabilidad estructural del sistema. La disponibilidad de hábitats diversos que esto genera, parece ser importante para mantener una población variable y diversificada. Esto se refiere a la presencia de varios estratos aéreos que conforman la estructura vertical: hierbas, arbustos, árboles. Olson & Francis (1995), citan a *Southwood et al., 1979* quienes encontraron que la riqueza de especies de insectos se correlacionó pobremente con la riqueza de plantas, pero lo hizo bien con la estructura vertical.

A su vez, para los agroecosistemas la diversidad es también importante desde el punto de vista económico, ya que permite evitar o minimizar riesgos.

Viglizzo (1994) encontró que la sensibilidad a la variabilidad ambiental estaba relacionada negativamente con el grado de articulación interna del sistema. Por lo tanto, a mayor grado de articulación interna, menos propenso será el sistema a variaciones debidas al ambiente. Esto se debe a que en sistemas con más componentes, el disturbio externo tiene más oportunidades de ser canalizado y disipado que en sistemas simples, con pocos componentes. Pero el costo de mantenimiento, debido a los múltiples pasos metabólicos es alto y la productividad menor. Por lo tanto, la baja productividad de los modelos de producción más complejos y articulados, puede estar asociada a un alto costo de mantenimiento de una estructura interna más compleja. Mientras más alta sea la energía derivada para mantener la estructura del sistema, menor será la disponible para la producción (Viglizzo, 1994). De acuerdo con estas ideas, los sistemas simples, altamente productivos son mucho más vulnerables y menos estables que los sistemas más diversificados.

Sin embargo, por otra parte, una mayor productividad puede alcanzarse, a veces, con un aumento de la diversidad, logrando a su vez, una mayor estabilidad biológica y productiva. Esto fue demostrado por el

experimento de Héctor *et al.*, (1999) en Europa, donde demostró que la disminución de la diversidad traía como consecuencia una menor productividad total del sistema. Esto explica también las razones de uso de sistemas diversificados, de policultivos o cultivos múltiples o agroforestería por muchos agricultores en varias partes del mundo (ver capítulo [Policultivos](#))

3.5. Fuerza de selección: evolución vs. mejoramiento genético

Las fuerzas que actúan en los sistemas son muy diferentes entre un EN y un AES. En los EN, la selección natural actúa permanentemente, seleccionando a los individuos mejor adaptados para sobrevivir y reproducirse mediante el proceso de evolución. Por el contrario, en los AES, es el hombre quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque esta podría mejorar la capacidad de adaptación al ecosistema (Ej. la habilidad competitiva).

**¿La supervivencia de los más aptos o los más caros?
O Selección natural vs. selección comercial**

A diferencia de los Ecosistemas naturales, donde las fuerzas de la selección incansablemente seleccionan los individuos más aptos, los mejores adaptados, en los Agroecosistemas, el hombre es quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque éstas podrían mejorar la capacidad de adaptación al ecosistema. Características que, casi con seguridad no habría permitido sobrevivir a las plantas en ecosistemas naturales son consideradas como deseables por la selección humana.

Pero el mantenimiento de estos cultivos desvalidos, incapaces de defenderse por sí mismos y aún a veces de auto reproducirse, tiene un costo.

El resultado de esto es una gran diferencia en la partición o asignación de recursos entre EN y AES. Mientras que, en un ecosistema, las fuerzas de la selección natural privilegian individuos que tengan una partición de recursos hacia estructuras competitivas, en los AES, el objetivo son sólo las estructuras económicamente útiles. Cox (1984) señala que, creando estas especies, el hombre debe asumir la responsabilidad por las funciones ecológicas que han sido sacrificadas, incrementando el uso de subsidios energéticos para reemplazar las habilidades perdidas

Bajo esta concepción utilitarista, el hombre muchas veces ha descartado atributos competitivos que serían privilegiados y seleccionados en los ecosistemas naturales, basándose en el hecho que, una mayor capacidad competitiva, era sólo un gasto de energía en un sistema que no iba a tener problemas de competidores. Un ejemplo claro de esto ha sido la selección y mejoramiento de los cultivos modernos de varias especies. Como se ha comprobado en algunos cultivos como el trigo, el mayor rendimiento actual no se debe a su mayor capacidad de utilizar los recursos, o una mayor capacidad fotosintética sino sólo a una mayor capacidad de partición de la materia seca hacia el grano (Austin *et al.*, 1980). Esto ha sido en detrimento de algunas ventajas competitivas como la altura o un buen desarrollo radicular (Siddique *et al.*, 1990). Las variedades más antiguas y altas tendrían una mayor capacidad de exploración radical que las más modernas y de menor altura.

Las plantas seleccionadas son más productivas o potencialmente más productivas, pero requieren una mayor inversión de energía de parte del hombre para compensar aquella que no se ha invertido en sus sistemas de supervivencia o adaptación al medio.

3.6. Productividad, biomasa y etapa sucesional

Otras diferencias notables entre AES y EN son las relacionadas con su productividad y biomasa, de acuerdo con su etapa sucesional. En un ecosistema natural, que ha llegado a su clímax ecológico, la productividad neta de la comunidad (PNC) es generalmente cercana a cero. Esto no quiere decir que no haya fotosíntesis bruta, (esta incluso puede ser mayor que en un ecosistema joven), sino que esta es similar a la respiración: todo lo ganado se "gasta" en mantener el sistema. Es por esta razón que el hombre debe mantener sus agroecosistemas en etapas sucesionales tempranas para obtener una productividad todos los años.

Sin embargo, los AES, como todos los ecosistemas, tienen una tendencia hacia la complejidad y hacia la madurez. Esto es lo que cualquier agricultor percibe cuando intenta, luego de haber eliminado todas las

plantas con el arado, cultivar sólo maíz o trigo. Espontáneamente aparecen otros componentes del sistema que no fueron sembrados y que intentan ocupar los nichos disponibles y que compiten con nuestro cultivo (malezas). Una y otra vez se eliminan y una y otra vez reaparecen. El mantenimiento de este estado juvenil del Agroecosistema para lograr una máxima productividad debe ser hecho, por lo tanto a contramano de la tendencia natural para lo que se requiere invertir energía en forma de trabajo o herbicidas.

Mientras más alejado esté el agroecosistema de las características del sistema maduro de la zona, mayor será la cantidad de insumos que tendremos que invertir para mantenerlo en ese estado. Y mayores los costos ambientales que podemos ocasionar. Por ejemplo, no es lo mismo mantener una pastura polifítica en la Pampa Argentina, cuya formación climática es el pastizal, que mantener la producción de trigo en Israel, cuya formación climática es el desierto. O implantar un cultivo de soja en la Selva Misionera, desmonte mediante.

Mientras más alejado esté el Agroecosistema de las características del sistema maduro de la zona, mayor será la cantidad de insumos que tendremos que invertir para mantenerlo en ese estado. Y mayores los costos ambientales que podemos ocasionar.

En este sentido la Agroecología propone, no la posición idílica de "volver a la naturaleza", sino un punto de vista más racional, que intenta manejar los agroecosistemas de manera tal de seguir obteniendo un nivel de productividad, pero compatible con la disminución de los costos de mantenimiento y los impactos ambientales no deseados.

3.7. Ocupación de los nichos

En un ecosistema natural maduro, prácticamente todos los nichos están ocupados, todos los recursos están siendo utilizados aprovechados. Siempre hay algún componente del sistema con la capacidad de hacer uso de los recursos que aparecen como disponibles. Por el contrario, en un agroecosistema esto es totalmente diferente: durante gran parte del año hay recursos desaprovechados. Imaginemos una plantación de maíz: en el hemisferio sur, el 20 de septiembre se colocan, en un suelo desnudo, 60.000 semillas. Ha⁻¹ de individuos de un híbrido F1, todos iguales, que recién emergen 10 días después. En las primeras etapas del desarrollo del cultivo, existe, por lo tanto, una gran cantidad de recursos, agua, luz y nutrientes que están disponibles y que no pueden ser usados por la población del cultivo hasta mucho tiempo después. Lo que naturalmente sucede es que el sistema tiende a su clímax y estos recursos son utilizados por otras especies o de lo contrario, se pierden.

Es decir, en los agroecosistemas la utilización de los recursos es ineficiente, comparada con los EN y, por lo tanto, parte de ellos no pueden ser utilizados por el sistema. Hay un desfase entre los recursos disponibles y los componentes que están en condiciones de utilizarlos en un momento dado. Esto está relacionado a la existencia de nichos vacíos y a la baja diversidad de especies. Héctor *et al*, (1999) han demostrado recientemente que los sistemas más diversos aprovechan mejor los recursos y tiene mayor producción que los sistemas menos diversos.

3.8. Continuidad espacio-temporal y sincronización de microorganismos-plantas.

En un AES, la continuidad espacio temporal es inexistente o bastante errática. Los componentes del sistema pueden aparecer y desaparecer de manera brusca. En un cultivo de trigo, en un momento dado se colocan 300 plantas por m². Y tiempo después, de un día para el otro, se entierran con el arado enormes cantidades de residuos (el rastrojo). A su vez, la continuidad espacial es también interrumpida en los AES. En una finca es común ver terrenos con vegetación y otros en barbecho o descanso o recién arados. En un EN, esto constituye una rareza.

Como consecuencia de lo anterior, en los AES, la sincronización entre microorganismos y plantas puede entonces ser muy deficiente. No hay microorganismos suficientes para hacerse cargo de descomponer la gran cantidad de materia y energía que súbitamente ingresa al subsistema suelo. Esto se traduce en una baja eficiencia de estos procesos y un retraso en los mismos. Es decir, se producen enormes cantidades de compuestos que no pueden ser procesados por los otros componentes de la cadena trófica, porque estos no están aún en número suficiente. En el caso del N, la remoción del suelo y entierro de enormes cantidades de

residuos celulósicos, provoca una explosión en el desarrollo de estos microorganismos celulolíticos que consumen todo el N disponible originando entonces lo que se conoce como "hambre de N". Con la muerte de los mismos, este N vuelve al sistema donde puede ser aprovechado por las plantas.

La fertilización es otra práctica común en los agroecosistemas que tiene algunas consecuencias no deseadas. Generalmente, con la siembra de varias especies, como trigo o maíz, es común agregar los nutrientes (generalmente el N o el P) que este cultivo va a necesitar varios meses después. Esto se hace por un motivo práctico y económico, pero tiene consecuencia ecológicas muy claras. Este fertilizante, es procesado por los microorganismos del suelo y (en el caso del N) transformado en nitratos mucho antes que existan demandantes para el mismo. Por lo tanto, éste queda en la solución del suelo y, si las condiciones son desfavorables, es arrastrado por el agua de lluvia. La falta de sincronización entre estos procesos y las necesidades de las plantas, la existencia de recursos (nichos) disponibles y la poca capacidad de aprovechar los recursos en los agroecosistemas, junto con el hecho de la aplicación de fertilizantes, determina que el riesgo de lixiviación de nutrientes en los AES sea mayor que en los EN, donde prácticamente esto no ocurre.

A su vez, el fraccionamiento espacial de los agroecosistemas y la ausencia de vegetación en algunos períodos del año (barbecho) genera graves problemas de erosión o riesgos de erosión en los agroecosistemas que son generalmente poco comunes en los EN. En los AES los ciclos son abiertos y generan importantes pérdidas.

El manejo de los agroecosistemas debe buscar hacer más eficiente el uso de los recursos, tal vez mediante un aumento de la biodiversidad espacial y temporal. La presencia de ciertos niveles de vegetación espontánea podría, por ejemplo, reducir la erosión, disminuir el lixiviado de nutrientes y generar un aumento en la eficiencia de la captación de la energía con lo que aumentaría la acumulación de Carbono en el sistema.

Este es sólo uno de los ejemplos donde un mayor conocimiento de los procesos que ocurren en un agroecosistema puede ayudar a hacerlos más eficientes y conseguir mantener niveles altos de productividad con mínimas pérdidas de eficiencia y bajo impacto ambiental.

En este capítulo, se ha intentado demostrar la importancia de abordar el conocimiento de los agroecosistemas como sistemas complejos cuyas propiedades están determinadas por sus componentes y las interrelaciones entre ellos, dentro de un marco de manejo donde está el hombre íntimamente inserto en un contexto sociocultural que determina la manera en que toma sus decisiones.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Altieri MA** (1997) El Agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. En MA Altieri (Ed) Agroecología: bases teóricas para una agricultura sustentable. 87-115.
- Altieri MA & CI Nicholls** (1999) Biodiversity, ecosystem function, and insect pest management in agricultural systems. In Biodiversity in Agroecosystems, WW Collins & CO Qualset, (Eds), CRC Press: 69-84.
- Austin RB, J Bingham, RD Blackwell, LT Evans, MA Ford, CL Morgan & M Taylor** (1980) Genetics improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J Agric Sci* 94:675-689.
- Bayliss-Smith TP** (1982) The ecology of agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 112 pp.
- Cox GW** (1984) The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:187-208.
- Elliott ET & CV Cole** (1989) A perspective on agroecosystem science. *Ecology* 70(6): 1597-1602.
- Hart RD** (1985) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp 67-78.
- Hector A, B Schmid, C Beierkuhnlein, MC Caldeira, M Diemer, PG Dimitrakopoulos, JA Finn, H Freitas, PS Giller, J Good, R Harris, P Högberg, K Huss-Danell, J Joshi, A Jumpponen, C Körner, PW Leadley, M Loreau, A Minns, CPH Mulder, G O'Donovan, SJ Otway, JS Pereira, A Prinz, DJ Read, M Scherer-Lorenzen, ED Schulze, ASD Siamantziouras, EM Spehn, AC Terry, AY Troumbis, FI Woodward, S Yachi & JH Lawton** (1999) Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* (286):1123-1127.
- Lugo AE & YGL Morris** (1982) Los Sistemas ecológicos y la humanidad. Monografía N° 23. Serie de Biología OEA. 82 pp.
- Mitchell R** (1984) The ecological basis for comparative primary production. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:13-53.
- Murdoch WW** (1975) Diversity, complexity, stability and pest control *J. Appl. Ecol.* 12: 795-807.

- Odum EP** (1972) *Ecología*. Tercera Edición, Editorial Interamericana, México, 639 pp.
- Odum EP** (1984) Properties of agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. *Agricultural Ecosystem: Unifying concepts*. J Willey & Sons. New York:5-11
- Odum E** (1998) Conceptos de ciclos biogeoquímicos y factores limitantes, Cap. 4. *Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Vigésima reimpresión, Compañía Editorial Continental, México: 115-149.
- Olson R & Ch Francis** (1995) A hierarchical framework for evaluating diversity in agroecosystems. In: Olson R, CH Francis & S Kaffka (Eds.) *Explore the role of diversity in sustainable agriculture*, ASA, CSSA, SSA, Madison: 5-34.
- Pimentel D, G Berardi & S Fast** (1986) Energy efficiencies of farming wheat, corn and potatoes organically. In *Organic farming: Current technology and its role in a sustainable agriculture*, ASA Special Publication N° 46, Madison, USA: 151-161.
- Pimentel D, W Dazhong & M Giampietro** (1990) Technological changes in energy use in US Agricultural Production. In: SR Gliessman (Ed.) *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer Verlag: 305-322.
- Shiva V** (1996) Monocultivos de la mente. En: *Monocultivos y biotecnología (amenazas a la biodiversidad y la supervivencia del planeta)*. Instituto del Tercer Mundo (ITEM), Uruguay: 9-61.
- Siddique KH, RK Belford & D Tennant** (1990) Root: shoot ratios of old and modern, tall semi dwarf wheats in a mediterranean environment. *Plant and Soil* 121:89-98.
- Southwood TRE, VK Brown & PM Reader** (1979) The relationship of plant and insect diversities in succession. *Biol. J. Linn. Soc.*, 12: 327-348.
- Tivy J** (1990) *Agricultural Ecology*. Longman Scientific & Technical, UK, 287 pp.
- Toledo VM** (1994) Tres problemas en el estudio de la apropiación de los recursos naturales y sus repercusiones en la educación. En: *Ciencias Sociales y Formación Ambiental*. E Leff (compilador), Editorial Gedisa, Barcelona, España: 157-180.G.
- UNEP** (1997) *The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. Second Edition, Buenos Aires, Argentina, 4-15 Nov, 1996. 116 pp.
- Viglizzo EF** (1994) The response of low-input agricultural systems to environmental variability. A theoretical approach. *Agricultural systems* 44:1-17.