

CAPÍTULO 4

EL AGROECOSISTEMA: UN ECOSISTEMA MODIFICADO

Santiago J. Sarandón

Introducción

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 (Sarandón, 2011), el objetivo de los agrónomos no es otro que el de “intervenir”, es decir, modificar los ecosistemas para que éstos produzcan ciertos bienes (y servicios) económicos en lugar de los que naturalmente producirían sin la intervención humana. La comprensión de la complejidad de los agroecosistemas, sugiere que un enfoque simplista, reduccionista y fraccionado de la realidad (ver Capítulo 1), no es adecuado para un manejo sustentable, que incluye propósitos económicos, socioculturales, ecológicos y temporales (ver Capítulo 2) de los agroecosistemas.

El cambio hacia una visión sistémica es, entonces, fundamental e implica que los agroecosistemas deben visualizarse como sistemas (conjunto de componentes interrelacionados de determinada manera para cumplir un fin) ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen por fin la producción de bienes y servicios de importancia 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”. Esto quiere decir que no es posible entender cómo funciona un agroecosistema, un sistema agropecuario, (primer paso para saber si debemos sugerir un cambio o no) basándonos en el estudio detallado de algunos componentes, como el suelo (propiedades físicas, químicas, biológicas), la vegetación (por medio de censos, recuentos, medidas como biomasa, etc.), las enfermedades, las plagas, las malezas, el estado de los cultivos, los animales, etc., y luego “juntar” toda esta información.

Imaginémonos que pudiésemos contratar a los mejores especialistas de cada una de estas disciplinas o áreas de conocimiento y nos entregasen un informe completo y detallado de su estudio. El análisis de esta información (si pudiera hacerse), no necesariamente nos va a dar una idea clara del funcionamiento del sistema. Por ello, para abordar el desafío que implica el manejo sustentable de los agroecosistemas, es esencial aplicar un enfoque holístico. En este sentido, no se trata de aprender a “hablar” sobre lo que es un enfoque holístico, sino de utilizar este enfoque como un potente instrumento de abordaje.

Este conocimiento es necesario, entonces, para un manejo que compatibilice la obtención de un flujo de bienes y servicios, que satisfagan las necesidades de esta generación 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.

El enfoque de sistemas

La idea de aplicar el enfoque de sistemas no es nueva ni exclusiva de las ciencias agropecuarias ni de la Agroecología. Como señala Hart (1985a), la historia del concepto de sistemas es probablemente tan vieja como el ser humano mismo, pues siempre ha existido la necesidad de entender fenómenos complejos.

La Teoría General de Sistemas fue desarrollada por Von Bertalanfly en 1968. En la actualidad, el reconocimiento de la complejidad de los fenómenos que el ser humano debe comprender (y la imposibilidad del enfoque reduccionista para lograrlo), ha renovado el interés por el concepto de Sistemas, que hoy se usa como herramienta de trabajo en muchas ciencias. 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”.

Un sistema puede ser entendido como 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).

Las propiedades de un sistema no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos. Así como el funcionamiento de un reloj no está determinado sólo por la suma de todas sus piezas sino, además, por la forma en que éstas están relacionadas o ensambladas, (ya que si pierden su relación, éste no funciona), el funcionamiento de un sistema ecológico, no está definido sólo por la suma de sus componentes, sino por 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.

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

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

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. Por ejemplo, los agroecosistemas son sistemas muy complejos con componentes biológicos que han sido distribuidos en el tiempo y el espacio, interactuando con componentes socioculturales (objetivos, racionalidades, conocimientos y cultura de los agricultores).

Los componentes biológicos de los ecosistemas y agroecosistemas pueden dividirse, según su función en productores, consumidores y detritívoros o descomponedores. En cualquier agroecosistema, o sistema agropecuario, vamos a encontrar algunos o a todos éstos (cultivados o silvestres).

Los productores (*autótrofos*) 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: cultivos, vegetación espontánea, árboles, arbustos, etc. Estos componentes son la base de todos los otros y de la vida sobre la tierra. Cualquier ecosistema depende, directamente o indirectamente, de la capacidad de las plantas para fijar carbono por medio de la fotosíntesis.

Los consumidores (*heterótrofos*) 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 domesticados (vacas, cerdos, ovejas, aves, etc.) como silvestres (aves, liebres, insectos, 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, parásitos animales, etc.

Los detritívoros o descomponedores (*heterótrofos*), son también consumidores, pero se alimentan de tejido muerto de las plantas o cadáveres o deyecciones animales, e intervienen en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. Aquí se encuentran varios grupos como los artrópodos y numerosos microorganismos, micro, meso y macrofauna, fundamentales en estos procesos.

Límites y niveles jerárquicos

Definiendo los límites

Reconocer o definir los límites del sistema en estudio es un paso fundamental para aplicar el enfoque de sistemas. Lo primero que debemos

hacer es “recortar, es decir, identificar el sistema de nuestro interés. Para eso, debemos delimitarlo, fijar sus límites; éstos no son fijos y dependen de nuestro objetivo o interés.

La definición de los límites resulta indispensable para evaluar las salidas y entradas desde 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 evitar o minimizar las salidas no deseadas: contaminantes, suelos por erosión y nutrientes por lixiviación o volatilización, entre otros. Muchas veces, la incapacidad para aplicar el enfoque de sistemas ha llevado a varios errores conceptuales sobre el funcionamiento de los mismos o a minimizar o no percibir salidas que pueden causar importantes problemas (ver Capítulo 8).

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. Todo lo que se encuentre por debajo, no está accesible o disponible para el trigo. Un nutriente que está a mayor profundidad que la capacidad de exploración de las raíces del trigo, está fuera de nuestro sistema. La incorporación de árboles al mismo incrementaría sus límites inferiores y superiores, ampliando entonces la cantidad de recursos disponibles.

Niveles jerárquicos

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. El análisis puede realizarse a nivel de país,

de cuenca, de región, de fincas, de parcelas o de plantas ¿Cuál es el nivel de jerarquía que debemos tener en cuenta? Esto depende de nuestro objetivo, pero Hart (1985b) propone que, para cualquier estudio deben tenerse en cuenta, por lo menos, tres niveles jerárquicos: el sistema de interés (por ejemplo la finca a estudiar) el que está por encima, que lo contiene, (en este caso podría ser la región), y los sistemas que están dentro del sistema de interés. Imaginemos que nos interesa entender cómo funciona un sistema agropecuario, una finca, para decidir si es sustentable o no, y sugerir entonces los cambios necesarios. Esta finca está situada en algún lugar, en alguna región, que le da sus particularidades. Muchas veces, lo que sucede en la finca y su importancia depende de ese contexto. Por ejemplo, no es lo mismo una finca productora de frutilla o arándanos, en una región típicamente productora de estos cultivos, que en una en una región donde nadie más realiza esa producción. Esto puede implicar una enorme diferencia en el acceso a información, asesoramiento, insumos, mercados, posibilidad de venta de la producción, acceso a mano de obra calificada, etc. Por otro lado, todo lo que sale de nuestro sistema, va a parar a su entorno: ¿es una región de lluvias, con ríos, arroyos, con mucha pendiente, hay peligro de contaminación de aguas? ¿Hay poblaciones vulnerables cercanas? Muchas de estas cuestiones requieren entender el entorno, el supra sistema que engloba nuestro sistema.

Finalmente, nos interesa qué hay dentro de nuestro sistema, dentro de la finca, sus subsistemas: lotes de cultivos, animales, plantas silvestres, insectos, etc.

Estructura de los sistemas

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, (por ejemplo una selva tropical donde coexisten muchas especies), o puede tener pocos componentes, (por ejemplo 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.

Para poder comprender todas estas características el enfoque de sistemas resulta muy útil, aunque su construcción e interpretación requieren de algunas consideraciones básicas.

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.

Cómo emplear y entender el enfoque de sistemas en los Agroecosistemas

Entender el funcionamiento de un agroecosistema, por ejemplo de una finca, es esencial para poder diagnosticar si se están alcanzando o no los objetivos de la sustentabilidad y/o comprender los problemas que el diseño y manejo elegido tienen. Recordemos que cualquier sistema de producción agropecuario, no es más que un diseño (entre varios posibles) de distribución en el tiempo y el espacio de una serie de componentes vegetales y animales con un objetivo. Muchas veces, los problemas se presentan porque el diseño no es adecuado para el objetivo buscado.

El enfoque de sistemas es una herramienta apropiada para entender esto, porque nos permite generar un modelo simplificado de la realidad, para saber cómo está funcionando. Este esquema o modelo, si está bien construido, nos va a brindar información valiosa para comprender los límites, los componentes, sus relaciones, y las entradas y salidas (deseadas o no). Veamos un ejemplo: como una primera aproximación, podríamos construir un sencillo esquema (Figura 4.1.A.) donde definamos los límites, las salidas y entradas. Todavía no nos interesa, (o no podemos) establecer lo que hay dentro de este sistema: lo tomamos entonces como una “caja negra”, como podríamos entender una computadora. Aunque no entendemos aún los procesos internos, podemos

identificar entradas y salidas. Esto ya es un paso importante porque varias de estas salidas pueden ser no deseadas y causar problemas (ver Capítulo 1).

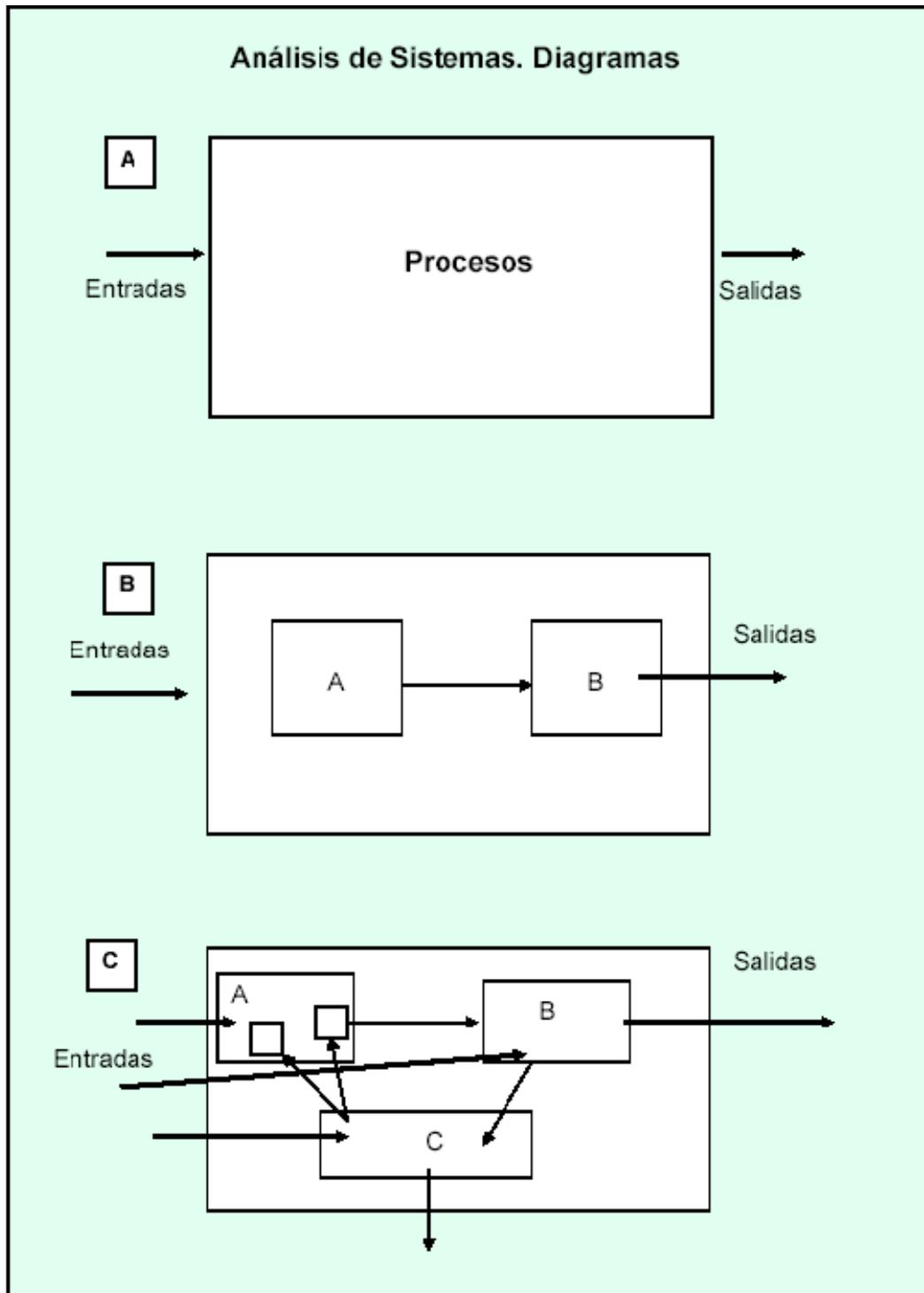


Figura 4.1: Diagrama representando 3 diferentes formas de esquematizar un sistema agropecuario

Es importante entender que lo que pretendemos es representar la realidad y no lo que deseamos que ocurra. Es decir, debemos poder definir todas las entradas y salidas del sistema, más allá de que sean deseadas o no. Por ejemplo, en un sistema de producción de maíz, que utiliza fertilizantes para la nutrición y pesticidas para controlar las plagas, la salida será el maíz (nuestro objetivo), pero, además, saldrán residuos de plaguicidas y de fertilizantes que irán a parar al agua o al aire, según su composición química y forma de aplicación. Estas salidas pueden constituir un problema significativo y es importante percibir las claramente.

Mediante el enfoque de sistemas, pretendemos entender lo que ocurre en la realidad y no lo que queremos que ocurra.

No representamos nuestros objetivos, sino la realidad. Y a veces no coinciden

El diagrama A, aunque sencillo, brinda poca información sobre lo que ocurre dentro del sistema: sus procesos y componentes. Si queremos profundizar nuestro entendimiento, entonces debemos agregar un poco más de información sobre los procesos internos del sistema.

En la Figura 4.1.B. representamos ahora dos componentes del sistema, que llamamos A y B y establecemos, con una flecha, el sentido o flujo de materia y energía desde A hacia B. Desde B identificamos también una salida de materia y energía del sistema. Este flujo de A hacia B puede ser, por ejemplo, la transferencia de materia desde una pastura (productor) hacia un animal (consumidor: ganado) que se alimenta de ésta y luego nosotros vendemos y extraemos del sistema. Por ejemplo un sistema de engorde de ganado (invernada).

Lamentablemente, los sistemas reales son un poco más complejos. Veamos la Figura 4.1.C. Aquí representamos 3 componentes: A, B, C. Se observa que ahora las entradas se han descompuesto en 3 flechas hacia los componentes A, B y C. Además, el componente A tiene 2 subcomponentes, de uno de los cuales sale un flujo de materia hacia B. De este componente B hay

dos flechas: una salida del sistema y un flujo hacia un tercer componente C, del cual se observa un flujo hacia A (ambos subcomponentes) y una salida del sistema.

Esto puede representar en forma más detallada un sistema de producción animal, donde A es el componente vegetal constituido por dos subsistemas: una pastura implantada y un componente vegetal silvestre: malezas no apetecidas por el ganado. Del componente cultivado sale un flujo de materia (forraje) hacia el componente B (ganado). Del ganado sale un flujo, una parte (deyecciones: bosta y orina), va hacia el componente C: suelo, y otra sale del sistema como carne. En el componente C (suelo) se observa un flujo de nutrientes hacia el componente A (vegetales), que se divide en los dos subcomponentes. Esto puede indicar, (si el recurso es escaso) una competencia entre estos dos componentes del sistema A. Del componente C sale, además, una flecha fuera del sistema lo que indicaría pérdidas de nutrientes o suelo por lixiviación, escorrentía o erosión.

Las entradas se han dividido en los 3 compartimientos o componentes, para brindar mejor información. Por ejemplo, hacia el componente A pueden entrar semillas, pesticidas (insecticidas y herbicidas), parte de estos van también hacia el suelo junto con los fertilizantes. El componente B requiere productos veterinarios, que no entrarían al sistema si este componente no existiera. Este tipo de diagrama ya nos da mejor información y nos permite ver si estamos consiguiendo el objetivo deseado. Se observa la salida de carne que es el objetivo buscado, pero también nos permite ver las consecuencias del diseño y el manejo elegido. En este caso, las salidas indeseadas, como los nutrientes del suelo (del componente C), junto con los residuos de los pesticidas aplicados. A su vez, detectamos que hay ingresos que son económicamente costosos como los pesticidas y los fertilizantes que, tal vez, podríamos reemplazar por algún proceso natural si nos interesara.

¿Cuál es el nivel de detalle que debemos buscar? Hemos visto que un diagrama demasiado simple es inadecuado porque, aunque sencillo de construir, brinda poca información. Por el contrario, un diagrama demasiado complicado, donde intentemos “meter” toda la realidad, todas las variables,

tampoco es adecuado porque pierde claridad y, por lo tanto, utilidad. Lo importante es que el esquema o diagrama construido sea útil. No debemos olvidar que simplemente es un elemento de diagnóstico para ayudarnos a entender la compleja realidad de los agroecosistemas.

Procesos de los sistemas

El número, el tipo y la disposición espacial y temporal de los componentes de un sistema, definen o establecen la ocurrencia de una serie de procesos que determinan el resultado final del mismo. Tanto en los sistemas naturales como en los agroecosistemas pueden reconocerse 5 procesos básicos (Lugo & Morris, 1982):

1. Fotosíntesis
2. Respiración
3. Flujo de nutrientes: ciclos biogeoquímicos
4. Sucesión
5. Procesos internos de regulación (ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos)

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. 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 respiración y parte para su crecimiento o acumulación de materia seca.

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 de las plantas se denomina Producción Primaria Neta (PPN) y es lo que determina si el estrato de los productores 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.

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 o para alimento de los heterótrofos.*

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

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

Productividad Neta de la Comunidad (PNC): $PPN - R$: es la energía fijada luego de restarle la respiración de las propias plantas (**R_a**) 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.

La **PNC** es lo que determina si el ecosistema acumula materia o no y puede ser mayor, igual o menor a 0 (cero). El primer caso es típico de los agroecosistemas, la fotosíntesis es mayor que la respiración total; se acumula materia seca. Es su principal objetivo: la producción de un excedente para consumir o para vender y exportar a otros ecosistemas. Por ejemplo, sembramos 100 Kg/ha de trigo y cosechamos 5.000 Kg/ha además del rastrojo (la paja).

La situación donde la productividad 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 ésta 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. Si pudiésemos pesar una selva con todos sus componentes veríamos que pesa aproximadamente lo mismo durante mucho tiempo: no crece ni se consume.

No debe confundirse biomasa con productividad. La biomasa presente en un sistema, en un momento dado, puede ser 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 mucho mayor que en un cultivo de maíz, sin dudas, pero se ha conseguido a través de varios años de producción. La productividad, en cambio, 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 de la comunidad, los ecosistemas naturales la productividad primaria 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, sistema de engorde a corral (“feed lot”), 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.

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, 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 8).

Cualquier nutriente, sólo está disponible parcialmente y en un determinado momento. Por ello, hay que establecer la diferencia entre el contenido total y el disponible, que es el que sirve para ser apropiado por los componentes biológicos del sistema. Es decir, un sistema puede tener un gran contenido de algún nutriente, como el fósforo, pero poco de éste 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.

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 (Figura 4.2). El término sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que experimenta un ecosistema en el transcurso del tiempo (ver Capítulo 6).

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.

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 climáxica 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 ser humano 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.

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. El índice de cosecha (relación grano u órgano cosechable/ parte aérea de un cultivo) es uno de los indicadores de partición más conocidos.

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

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 (forraje) o de algún órgano en particular (grano, tubérculo) por unidad de superficie en un período determinado de tiempo. Una medida muy usada de productividad es el rendimiento de los cultivos, tal vez porque, durante mucho tiempo, la disponibilidad de tierra era la principal limitante para la producción. Para la Agroecología interesan, además, otros atributos que pueden ser tan o más importantes que el rendimiento.

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, o agua, entre otros. 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. En la actualidad, además del rendimiento, debe

tenerse en cuenta la eficiencia con que se usan otros 3 insumos imprescindibles para la producción agropecuaria y escasos (y lo serán aún más en el futuro). Éstos son: el rendimiento por unidad de nutriente (especialmente el fósforo), por unidad de agua y/o por unidad de energía.

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. La capacidad de **resiliencia** (recuperación) de los Agroecosistemas ha adquirido fundamental importancia en los últimos años debido a la conciencia del cambio y variación climática y a la vulnerabilidad que esto implica para muchos agroecosistemas (Nicholls & Altieri, 2013).

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.

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

Agroecosistemas (AES) y ecosistemas naturales (EN). 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 ser humano. Los agroecosistemas tienen, tal vez, 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 diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas se han sintetizado en la Tabla 4.1.

Atributos	Ecosistema natural	Agroecosistema
Objetivo	Ninguno	Utilitario
Responsable	Nadie	Agricultor/a
Fuente de energía	Solar (mareas)	Solar + artificial (combustibles fósiles)
Diversidad genética	Alta	Baja
Diversidad específica	Alta	Baja
Fuerza de selección	Natural (evolución)	Humana (económica)
Asignación de recursos	Equitativa (estr. competitivas)	Económica (granos)
Productividad (PNC)	Baja (nula)	Alta
Biomasa	Alta	Media
Productividad / biomasa	Baja	Alta
Ciclo de nutrientes	Cerrado (prácticamente)	Abierto
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

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

El objetivo

Hart (1985 a y b) 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 ser humano. 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 distribuir y manipular en el tiempo y el espacio sus componentes y entender y dirigir las interrelaciones entre ellos. Es decir, el/la productor/a y el/la profesional que lo asesora manejan ecosistemas en forma consciente o inconsciente. Pero el ser humano 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. Como señala Mitchell (1984), la distribución de cultivos en los sistemas de producción de gran escala, están mayormente determinados por los factores económicos.

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 7). 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.

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 en ecosistemas tan complejos como una pluviselva tropical.

Sin embargo, en los agroecosistemas, además de la energía del sol, debemos utilizar energía de otras fuentes para sostener determinados procesos o evitar determinadas interacciones (competencia, herbivorismo de las plagas). Esto se debe a que, por definición, los agroecosistemas son ecosistemas modificados y deben contrarrestar y mantener una tendencia contracorriente a la sucesión natural (Figura 4.2). La principal preocupación es que, en la actualidad, la fuente principal de energía es fósil, derivada del petróleo. 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 de los estilos de agricultura seleccionados. En sistemas altamente industrializados, como los cultivos en invernáculos con fertirriego, o los sistemas de cría intensiva de animales, puede ser enorme. Esta energía entra al sistema no sólo en forma de combustibles (directa), sino en forma indirecta en la energía necesaria para la fabricación de los insumos o maquinarias (plaguicidas, fertilizantes, riego, tractor, etc.).

La biodiversidad en los agroecosistemas

La diversidad, tanto específica, como genética y estructural, es otra gran diferencia entre Ecosistemas Naturales (EN) y los Agroecosistemas (AES). El manejo que el ser humano hace de los ecosistemas consiste en reemplazar una gran cantidad de especies silvestres por unas pocas o sólo una especie de utilidad agrícola. Un ejemplo de ello es la zona cerealera de la Pampa Húmeda Argentina, constituida por grandes superficies con pocos cultivos. En los

últimos años, esta baja diversidad se ha llevado al límite, con el cultivo de la soja transgénica resistente a glifosato (RR), que ya ocupa unas 20 millones de hectáreas en la Argentina. Un modelo productivo, donde casi no existen siquiera especies vegetales acompañantes (malezas), se ha convertido en un gran desierto verde.

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. (Sarandón, 2002).

La biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variación en genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (UNEP, 1992). La biodiversidad es importante en los agroecosistemas porque provee, además de genes, importantes servicios ecológicos, esenciales para el mantenimiento de procesos esenciales de los agroecosistemas. A pesar de ser uno de los conceptos más importantes en ecología y uno de los recursos más importantes para la agricultura, aún permanece como una idea compleja, abstracta y no completamente entendida (ver Capítulo 5).

Uno de los desafíos es 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 (Sarandón, 2009). Los polinizadores, enemigos naturales, lombrices, y microorganismos del suelo, entre otros, 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, entre otros (Altieri & Nicholls, 1999).

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.

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 el grado de diversidad de los agroecosistemas es el relacionado con los objetivos y características socioculturales de los agricultores, su conocimiento y valoración de la biodiversidad (Gargoloff *et al.*, 2009, 2010, Vicente & Sarandón, 2013, Nosedá *et al.*, 2011). La diversidad cultural es, sin dudas, parte de la agrobiodiversidad (UNEP, 2000). Sólo preservados los saberes, valores, conocimientos, culturas de los agricultores, se podrán conservar la diversidad de cultivos y la diversidad asociada a estos (Sarandón, 2009). 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.

Fuerza de selección: evolución versus mejoramiento genético

Los agroecosistemas están permanentemente sometidos a una serie de fuerzas (muchas veces no percibidas claramente) que pueden tener importantes consecuencias para su manejo.

Estas fuerzas son diferentes en 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 (ver Capítulo 6). Por el contrario, en los AES, es el ser humano quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque estas

podrían, muchas veces, ser útiles o adecuadas para mejorar la capacidad de adaptación al ecosistema (Ej. la habilidad competitiva).

El resultado de esto es una gran diferencia en la partición o asignación de recursos entre EN y AES. Mientras que, en un ecosistema, la selección natural privilegia individuos que tengan una partición de recursos hacia estructuras competitivas (tallos, raíces), o defensivas (químicos, taninos, espinas, pelos, etc.), en los AES, el objetivo son sólo las estructuras económicamente útiles. El problema es que, seleccionado estas especies o creando genotipos con estas características, el ser humano debe asumir la responsabilidad por las funciones ecológicas que han sido sacrificadas, incrementando el uso de subsidios energéticos para reemplazar las habilidades perdidas (Cox, 1984).

Bajo esta concepción utilitarista, muchas veces se han descartado atributos competitivos que serían privilegiados y seleccionados en los ecosistemas naturales, basándose en el hecho de que una mayor capacidad competitiva era sólo un “gasto o desperdicio” 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 cultivares 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 de la especie, sino 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. Incluso se ha señalado que algunos trigos antiguos tenían una mejor capacidad de interactuar y consociarse con las micorrizas que los cultivares modernos (Hetrick *et al.*, 1992, Zhu *et al.*, 2001).

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

En un planeta donde la energía se está volviendo cada vez más escasa (y cara) esto es un problema (Anexo 4.1).

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, (ésta incluso puede ser mayor que en un ecosistema joven), sino que ésta es similar a la respiración: todo lo ganado se “gasta” en mantener el sistema. Es por esta razón que el ser humano debe mantener sus agroecosistemas en etapas sucesionales tempranas para obtener y cosechar su productividad periódicamente.

Anexo 4.1: ¿La supervivencia de los más aptos o los más rentables?

O Selección natural versus 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 ser humano 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 la productividad de estos cultivos, incapaces de defenderse por sí mismos y aún a veces de auto reproducirse, tiene un alto costo.

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 toda la vegetación 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 (ver Capítulo 9) y que compiten con nuestro cultivo (malezas). Una y otra vez se eliminan y una y otra vez reaparecen. El

mantenimiento de estos estados juveniles en los 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 insumos químicos (fertilizantes y plaguicidas) (Figura 4.2.).

Mientras más diferente sea, estructuralmente, el agroecosistema de las características del sistema maduro de la zona (el bioma predominante), 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 un sistema de producción de trigo en un lugar cuya formación climática es el desierto. O implantar un cultivo de soja en un ecosistema de Selva, como la de Misiones, 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, más complejo, que intenta manejar los agroecosistemas de manera tal de seguir obteniendo un elevado nivel de productividad (a nivel de sistema), pero compatible con la disminución de los costos de mantenimiento y los impactos ambientales no deseados.

Aprovechamiento de los recursos

En un ecosistema natural maduro, prácticamente todos los recursos (nutrientes del suelo, agua, energía, presas, etc.) son aprovechados al máximo. Como generalmente existen muchas especies, funcionalmente distintas, siempre hay algún componente del sistema, alguna especie, que tiene la capacidad de hacer uso de los recursos que se van haciendo disponibles. Por el contrario, en un agroecosistema esto es totalmente diferente: durante gran parte del año muchos recursos son desaprovechados, porque no hay

componentes para utilizarlos. Imaginemos un agroecosistema con un plantación de maíz: en el hemisferio sur, aproximadamente en el mes de septiembre u octubre se colocan, en una parcela unas 60.000 a 80.000 semillas/ha⁻¹ de individuos de un híbrido o variedad comercial, todos iguales, que recién emergerán unos 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, que (como hemos visto) ha sido llevado a una etapa juvenil y, por lo tanto, tiende a avanzar en la sucesión hasta su clímax ecológico, favorece la “aparición” de muchas especies espontáneas (malezas) que detectan y aprovechan esta gran disponibilidad de recursos. Si esto es evitado mediante su control o eliminación mecánica o química, como sucede muchas veces, gran parte de estos recursos se pierden, haciendo a los sistemas más ineficientes.

Es decir que 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 desfasaje entre los recursos disponibles y los componentes que están en condiciones de utilizarlos en un momento dado. Esto está relacionado a la existencia de disponibilidad de recursos y a la baja diversidad de especies, ya que se ha demostrado que los sistemas más diversos aprovechan mejor los recursos y tienen mayor producción que los sistemas menos diversos (Héctor *et al.*, 1999).

Continuidad espacio-temporal y sincronización de microorganismos-plantas.

En un ecosistema natural existe generalmente una continuidad espacio temporal. Si uno pudiese caminar por un ecosistema natural, un pastizal, un bosque, una selva, difícilmente percibiría contornos nítidos y definidos entre diferentes tipos de formaciones vegetales tanto espacial o temporalmente. Por el contrario, en un AES, la continuidad espacio temporal es inexistente o

bastante errática. Los componentes del sistema pueden aparecer y desaparecer de manera brusca. En una parcela donde se va a cultivar trigo, en un momento dado se colocan 300 semillas por m². Tiempo después, ya cosechado, de un día para el otro, se entierran con la rastra u otro implemento 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, separados por unos pocos metros. 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 éstos 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 por ejemplo de cultivos como el trigo o el 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 consecuencias 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, puede ser arrastrado fuera del sistema por el agua de lluvia. La falta de sincronización entre estos procesos y las necesidades de las plantas, la existencia de recursos

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, la discontinuidad 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 (hay una cosecha) y generan importantes pérdidas que es necesario reponer, en la medida de lo posible.

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 dentro y fuera de las parcelas de cultivos, 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.

Éste 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.

Conclusiones

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 ser humano íntimamente inserto en un contexto sociocultural que determina la manera en que toma sus decisiones.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué se entiende por enfoque de sistemas y cuál es su importancia o utilidad en el abordaje de los agroecosistemas?*
2. *¿Por qué es necesario definir los límites de un agroecosistema? ¿De qué dependen los mismos?*
3. *¿Por qué es importante establecer los niveles jerárquicos? ¿Cuántos niveles deben establecerse?*
4. *¿Cuál es la relación entre Producción Primaria Bruta y Producción Primaria Neta? ¿A que se le denomina Productividad Neta de la Comunidad? ¿Qué diferencia hay entre biomasa y productividad?*
5. *¿Cuál es el efecto o consecuencia del manejo de agroecosistemas sobre el fenómeno de sucesión? ¿Qué ejemplos conoce en su zona?*
6. *¿Cuáles son las propiedades o atributos de un agroecosistema? ¿Qué particularidades tienen?*
7. *¿Cuáles son las principales diferencias entre un ecosistema natural y un agroecosistema en lo que se refiere a la diversidad?*
8. *¿Cuáles son las principales diferencias entre un ecosistema natural y un agroecosistema en lo que se refiere a productividad neta de la comunidad y aprovechamiento de los recursos?*
9. *¿Por qué se afirma que los mecanismos y objetivos económicos usados como criterio en la selección y mejoramiento de los componentes de los agroecosistemas, implican la necesidad de un gasto de energía para su mantenimiento?*

Bibliografía citada

- 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.
- Becht G (1974) Systems theory, the key to holism and reductionism. *Bioscience* 24(10): 579-596.
- 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.
- Gargoloff NA, MM Bonicatto & SJ Sarandón (2009) Análisis del Conocimiento y Manejo de la Agrobiodiversidad en Horticultores Capitalizados, Familiares y Orgánicos de La Plata, Argentina. *Revista brasilera de Agroecología* 4(2):1724-1728.
- Gargoloff NA, EA Abbona & SJ Sarandón (2010) Análisis de la Racionalidad Ecológica en agricultores hortícolas de La Plata, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*, 5 (2): 288-302.

- Hart RD (1985a) Sistemas. En (Harte RD) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1: 9-19.
- Hart RD (1985b) 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 Höberg, 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.
- Hetrick BAD, GWT Wilson & TC Todd (1992) Relationships of mycorrhizal symbiosis, rooting strategy, and phenology among tallgrass prairie forbs. *Canadian Journal of Botany* 70, 1521-1528.
- 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) *Agricultural Ecosystem: Unifying concepts*. J Willey & Sons. New York:13-53.
- Nicholls CI & MA Altieri (2013) Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales, REDAGRES, CYTED, SOCLA. *Revista Agroecología*, 8, 91 pp.
- Nosedá C, SJ Sarandón, D Magda, N Girard, G González & R Gorriti (2011) Lógica y saberes campesinos en dos localidades ubicadas en la zona Norte del Alto Paraná, Misiones, Argentina: aportes para la producción agroecológica. *Cadernos de Agroecología* 6, (2): 5pp.
- 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 EP (1998) Conceptos de ciclos biogeoquímicos y factores limitantes. En: *Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Vigésima reimpresión, Compañía Editorial Continental, México: 115-149.
- Sarandón SJ (2002) La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 1: 23-48.
- Sarandón SJ (2009) Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*, Tomas León Siccard, Miguel A Altieri (Eds.), IDEAS 21, Sociedad Científica Latinoamérica de Agroecología (SOCLA), Universidad Nacional de Colombia, Opciones Graficas Editores, Bogotá, DC, Colombia, 4: 105-130.
- Sarandón, SJ (2011) Incorporando la Agroecología en las Instituciones de Educación Agrícola. Una necesidad para la Sustentabilidad Rural. *La Agroecología en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad Rural*. Jaime Morales Hernández (editor). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara, México. Ediciones Siglo XXI. pp.:168-189.
- 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.

- 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.
- UNEP (1992) Convention on Biological Diversity. UNEP – Environmental Law and Institutions Program Activity Centre, Nairobi. Disponible en: <http://www.cdb.int>. Último acceso septiembre de 2013.
- UNEP/CDB/COP/5 (2000) The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión. Apéndice. Nairobi
- Vicente L & SJ Sarandón (2013) Conocimiento y valoración de la vegetación espontánea por agricultores hortícolas de la plata. Su importancia para la conservación de la agrobiodiversidad. Rev. Bras. de Agroecología. 8(3): 57-71
- Von Bertalanffy L (1968) General systems theory. New York, George Braziller. 295 pp.
- Zhu YG, SE Smith, AR Barritt & FA Smith (2001) Phosphorus (P) efficiencies and mycorrhizal responsiveness of old and modern wheat cultivars. Plant and Soil 237, 249-255.