

AGROECOLOGÍA Y AGROECOSISTEMAS

Stephen R. Gliessman

La base de la Agroecología es el concepto del ecosistema, el cual se define como un sistema funcional de relaciones complementarios entre organismos vivos y su ambiente, delimitado por bordos escogidos arbitrariamente, que en el espacio y el tiempo parece mantener un equilibrio estable pero dinámico. La Agroecología permite un análisis de las entradas y salidas de un agroecosistema, en una forma parecida a una piscina en un río. El productor tiene que pensar en más que su parcela, para entender lo que entra desde afuera dentro su finca (procedente del “río arriba”), además, los impactos “río abajo” del manejo de la parcela. La Agroecología propone cuatro componentes importantes para el estudio de la sostenibilidad de los agroecosistemas: flujo de energía; ciclos de nutrientes; mecanismos de regulación de poblaciones; y el equilibrio dinámico del sistema. La sostenibilidad, como concepto emergente y integrante de la Agroecología, está basada en los conocimientos de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas tradicionales, locales e indígenas. Por medio de un análisis comparativo de sistemas y desde un enfoque interdisciplinario, se puede vislumbrar las perspectivas para el futuro, donde el fundamento ecológico se combina con los componentes sociales, económicos, y políticos para lograr la sostenibilidad.

Introducción

La agricultura es más que una actividad económica diseñada para producir un cultivo o para hacer la ganancia más grande posible. Un agricultor no puede ocuparse solamente con los objetivos y metas de su propia parcela y esperar obtener la sostenibilidad a largo plazo. Discusiones sobre la agricultura sostenible deben ir mucho más allá de lo que pasa dentro de la cerca de una parcela. Actualmente, la agricultura se considera como un sistema mucho más grande con muchas partes que interactúan, incluyendo componentes ambientales, económicos y sociales.¹ Son las interacciones complejas y el balance entre todas estas partes que nos ha traído juntos para discutir la sostenibilidad, para determinar como nos vamos hacia esta meta más amplia, y como una perspectiva agroecológica enfocada en agroecosistemas sostenibles nos lleva a alcanzar estos objetivos de largo plazo.

Mucha de la agricultura moderna ha perdido el balance necesario para la sostenibilidad a largo plazo.² Con su dependencia excesiva en los combustibles del petróleo e insumos externos, la mayoría de los agroecosistemas están sobreutilizando y degradando los recursos del suelo, agua, genética y los recursos culturales, sobre los cuales la agricultura siempre ha dependido. Problemas con sostener la base de recursos naturales agrícolas solo se pueden ser ocultados por un tiempo limitado con las prácticas modernas y las tecnologías de altos insumos. En algún sentido, mientras le prestamos a las generaciones futuras una cantidad que siga aumentando de agua y combustibles del petróleo, los impactos negativos a las parcelas y comunidades agrícolas se volverán más evidentes. La conversión a agroecosistemas sostenibles tiene que ser nuestra meta.³

Para clarificar mi propia visión de los agroecosistemas, pienso en la agricultura como un río, y las parcelas son distintos puntos en este río. Cuando pensamos en una parcela como una “piscina” en una estela o calmada tranquila en una curva en el flujo del río, podemos imaginar cuantas cosas entran a una parcela, y también esperamos que muchas cosas salen con el flujo del río. Como un agricultor, trabajo duro para mantener mi piscina en el río (mi parcela) limpia y productiva. Trato de ser lo más cuidadoso que puedo en mi forma de cuidar el suelo, escoger cultivos para sembrar, controlar pestes y plagas, y mercadear mi cosecha. En los tiempos cuando no había tantas fincas, menos personas para alimentar, y exigencias menores sobre los

¹ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. Book Series Adv. in Agroecology, Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

FLORA, C., ed. *Interactions between agroecosystems and rural communities*. Book Series Adv. in Agroecology, Boca Raton, FL.: CRC Press, 2001.

² KIMBRELL, A., ed. *Fatal harvest: the tragedy of industrial agriculture*. Washington, D. C.: Island Press, 2002.

³ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. *Op. cit.*

agricultores y la tierra agrícola, yo podía mantener mi parcela en buena forma. Podía mantener mi “piscina” en el río bastante limpio, y no tenía que preocuparme mucho por lo que pasaba “río abajo” de mi parcela.

Sin embargo, esta estrategia se ha vuelto mucho más difícil hoy día. Encuentro que mi control sobre lo que entra a mi “piscina” se está disminuyendo. Enfrento una variedad de impactos que vienen de “río arriba” que pueden amenazar la sostenibilidad de mi parcela. Esto incluye los insumos que compro para mi parcela o los que llegan del entorno. Incluyen la disponibilidad y costo de la mano de obra, el acceso al mercado para mis productos, la política legislada que dicta la cantidad de agua que uso, las pesticidas que aplico, o como cuido mis animales, sin tomar en cuenta los caprichos del tiempo! Mi piscina se puede enlodar rápidamente.

También debo considerar más y más que la forma que cuido a mi “piscina” puede tener impactos en las “piscinas” de “río abajo”. La erosión del suelo y el vaciamiento (depletion) de la agua subterránea puede afectar de una forma negativa a las parcelas fuera de la mía. El uso inapropiado o ineficiente de las pesticidas y fertilizantes puede contaminar el agua y aire, y además dejar residuos potencialmente peligrosos en la comida que mi familia y otros consumirán. La forma que manejo a mi parcela se refleja en la viabilidad de las economías rurales agrícolas, nuestra comunidad local, y las culturas mas amplias. Indicadores claves son la pérdida de tierra agrícola a otras actividades y la pérdida de la agricultura familiar en general. Ambos los factores de “río arriba” y de “río abajo” son ligados en formas complejas, a menudo más allá de mi control, y se imponen en la sostenibilidad de mi parcela.

La perspectiva agroecológica

1 *El agroecosistema*

Cualquiera definición de la agricultura sostenible debe incluir como examinamos el sistema de producción como un agroecosistema. Tenemos que observar el sistema entero, o el “río” entero usando la analogía presentada anteriormente. Esta definición debe ir más allá de la visión estrecha enfocada principalmente en el desarrollo de prácticas y tecnologías para aumentar el rendimiento y mejorar el margen de las ganancias. Se deben evaluar estas prácticas y tecnologías en cuanto a su contribución a la sostenibilidad del sistema agrícola entera. Las nuevas tecnologías ofrecen

poca esperanza de contribuir a la sostenibilidad si no incluyen los impactos a largo plazo y más complejos del sistema agrícola entera en la evaluación. El sistema agrícola es un componente importante del sistema alimenticio.⁴

Una base principal de la Agroecología es el concepto del ecosistema, el cual se define como un sistema funcional de relaciones complementarios entre organismos vivos y su ambiente, delimitado por bordos escogidos arbitrariamente, que en el espacio y el tiempo parece mantener un equilibrio estable pero dinámico.⁵ Este equilibrio se puede considerar sostenible en un sentido definitivo. Un ecosistema bien desarrollado, maduro y natural es relativamente estable, se auto-sostiene, se recupera de la perturbación, se adapta al cambio, y mantenga la productividad con solamente las entradas energéticas de la radiación solar. Cuando extendemos el concepto del ecosistema a la agricultura, y consideramos los sistemas agrícolas como agroecosistemas, tenemos una base para pensar más allá de un enfoque principal sobre salidas tradicionales y fácilmente medidas (rendimiento o ganancia económica). Más bien podemos examinar el conjunto de interacciones biológicas, físicas, químicas, ecológicas, y culturales complejas que determinan los procesos que nos permitan alcanzar y sostener los rendimientos.

Muchas veces los agroecosistemas son más difíciles de estudiar que sistemas naturales porque el manejo humano complique la estructura y función normal del ecosistema. No se puede disputar el hecho de que se debe considerar una serie amplia de factores y procesos ecológicos, económicos, y sociales que interactúan para alcanzar un agroecosistema completamente sostenible. Siempre, la sostenibilidad ecológica es el cimiento sobre la cual dependen otros elementos de la sostenibilidad.

Un agroecosistema se crea cuando la manipulación humana y la alteración de un ecosistema se llevan a cabo con el propósito de establecer producción agrícola. Esto introduce varios cambios en la estructura y función del ecosistema natural (figura 1), y como resultado, cambia varias propiedades claves a nivel de sistema. Estas propiedades son frecuentemente llamadas propiedades emergentes – propiedades que se manifiestan cuando todo los componentes del sistema son organizados. Estos mismos propiedades también pueden servir como indicadores de la sostenibilidad del agroecosistema.⁶ Algunas de las propiedades emergentes claves de los ecosistemas, y como son alterados cuando se convierten a agroecosistemas, son los siguientes:

⁴ FRANCIS, C.; LIEBLEIN, G.; GLIESSMAN, S.; BRELAND, T. A.; CREAMER, N.; HARWOOD, R.; SALOMONSSON, L.; HELENIUS, J.; RICKERL, D.; SALVADOR, R.; WIENDEHOEFT, M.; SIMMONS, S.; ALLEN, P.; ALTIERI, M.; PORTER, J.; FLORA, C. & POINCELOT, R. Agroecology: the ecology of food systems. *J. Sustain. Agric.*, 22:99-118, 2003.

⁵ ODUM, E. P. *Ecology: bridging science and society*. Sunderland, MA.: Sinauer Associates Inc., 1996. GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2002.

⁶ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. *Op. cit.*

1.1 Flujo de energía

La energía fluye por un sistema natural como resultado de un conjunto complejo de interacciones tróficas, con la pérdida de una cantidad particular en cada etapa/fase de la cadena alimenticia, y con la mayor cantidad de energía moviéndose por la vía del detrito.⁷ La producción anual del sistema se puede calcular en términos de la productividad o biomasa primaria neta, cada componente con un contenido de energía particular. La intervención humana altera de una forma amplia al flujo de energía.⁸ Aunque la radiación solar es el mayor fuente de energía, muchos insumos se derivan de fuentes manufacturados por los humanos y muchos no se auto-sostienen. Muy a menudo los agroecosistemas se vuelvan sistemas de flujo de pasada, con un nivel alto de insumos de combustible del petróleo y una pérdida alta de energía del sistema cada cosecha. No se permite que la biomasa acumula dentro del sistema o que contribuye a conducir importantes procesos internos del ecosistema (ejemplo, materia orgánica muerta devuelta al suelo sirve como una fuente de energía para los microorganismos que son esenciales para el eficaz reciclaje de nutrientes). Para alcanzar la sostenibilidad, se debe maximizar las fuentes de energía renovable, y se debe suplir energía para las interacciones internas tróficas esenciales para mantener otras funciones ecosistémicas.

⁷ ODUM, E. P. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia, PA.: W. B. Saunders, 1971.

⁸ RAPPAPORT, R. A. The flow of energy in an agricultural society. *Scientific Amer.*, 224:117-132, 1971. PIMENTEL, D. & PIMENTEL, M. eds. *Food, energy and society*. 2nd ed., Niwot, CO.: University Press of Colorado, 1997.

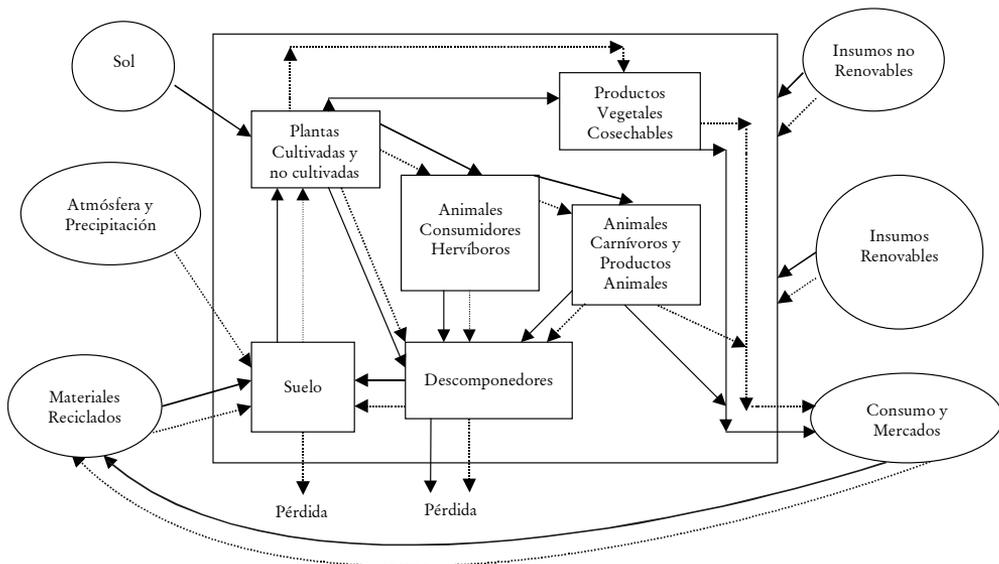


Figura 1: Componentes funcionales y estructurales de un ecosistema convertido a un agroecosistema sostenible. Las líneas continuas son flujo de energía y las líneas discontinuas son ciclos de nutrientes. Este modelo asume que los nutrientes y la energía remanente se regresan al agroecosistema como materiales reusables y que el uso de insumos humanos no renovables es mínimo

1.2 Reciclaje de nutrientes

Cantidades pequeñas de nutrientes entran al ecosistema continuamente por varios procesos hidrogeoquímicos. Luego estos nutrientes circulan dentro del ecosistema por series de ciclos interconectados complejos, donde generalmente son atados en materia orgánica.⁹ La influencia de los componentes biológicos de cada sistema se vuelven muy importantes para el movimiento eficaz de nutrientes, asegurando que la cantidad perdida del sistema es mínima. En un ecosistema maduro, estas pérdidas mínimas se reemplazan con entradas locales, lo cual mantiene el balance de nutrientes. La productividad de biomasa en los ecosistemas naturales es estrechamente ligada a las tasas anuales de reciclaje de nutrientes. En un agroecosistema, el reciclaje de nutrientes puede ser mínima, y cantidades importantes se pierden del sistema con la cosecha o como resultado de la lixiviación o erosión debido a la gran reducción en los niveles permanentes de biomasa dentro del sistema.¹⁰ La exposición frecuente del suelo sin cobertura en medio de los cultivos durante la época de siembra, o de terrenos sin cobertura entre épocas de cultivos, crea una “fuga” de nutrientes del sistema. La agricultura moderna depende de un alto nivel de insumos de nutrientes sintéticos derivados del petróleo para reemplazar estas pérdidas. La sostenibilidad requiere que estas “fugas” se reduzcan a un mínimo y que los mecanismos de reciclaje se reintroduzcan y se fortalezcan. Esencialmente, las sociedades humanas necesitan encontrar formas para devolver los nutrientes consumidos en los productos agrícolas hacia las parcelas — los agroecosistemas en donde fueron consumidos y producidos para empezar.

1.3 Mecanismos de regulación de poblaciones

La combinación compleja de las interacciones bióticas con los límites creados por la disponibilidad de recursos físicos controla el tamaño de las poblaciones de varios organismos y por ende se liga a y determina la productividad del ecosistema. La selección a través del tiempo tiende hacia el establecimiento de la estructura más compleja posible biológicamente dentro de los límites creados por el medio ambiente, lo cual permite el establecimiento de interacciones tróficas diversas y la diversificación de nichos. Debido a la selección genética dirigida y la domesticación, además que la simplificación de agroecosistemas (la pérdida de diversidad de nichos y la reducción en interacciones tróficas), las poblaciones de cultivos o animales raramente son auto-

⁹ BORMAN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycles. *Science*, 155:424-429, 1967.

¹⁰ TIVY, J. *Agricultural ecology*. London: Longman Scientific and Technical, 1990.

reproductivas o auto-reguladas. Los insumos humanos en la forma de semillas o agentes de control, los cuales casi siempre dependen de subsidios grandes de energía, determinan los tamaños de las poblaciones. La diversidad biológica se reduzca, los sistemas naturales de control de plagas se interrumpen, y muchos de los nichos y microhábitats quedan desocupados. El peligro de una epidemia catastrófica de plagas es alta, a pesar de la disponibilidad de la intervención humana y de insumos intensivos. Un enfoque en la sostenibilidad requiere la reintroducción de estructuras diversas y relaciones entre especie que permiten el funcionamiento de mecanismos naturales de control y regulación. Debemos aprender a trabajar con y aprovechar de la diversidad, en vez de enfocarnos hacia la simplificación de agroecosistemas.

1.4 El equilibrio dinámico

La riqueza o diversidad de especies en ecosistemas maduros permite un grado de resistencia a todas las perturbaciones menos las más dañinas. En muchos casos, las perturbaciones periódicas aseguran ambas la diversidad y la productividad más alta.¹¹ La estabilidad de sistemas no es un estado fijo o permanente, mas bien es un estado dinámico y altamente fluctuante que permite la recuperación del ecosistema siguiendo una perturbación. Esto promueve el establecimiento de un equilibrio ecológico que funciona sobre el uso sostenido de recursos, lo cual el ecosistema puede mantener indefinidamente o puede ajustar si cambia el medio ambiente. A la vez, no es frecuente ver a una epidemia de plaga de escala grande en un ecosistema saludable y balanceado. Sin embargo, debido a la reducción de la diversidad estructural y funcional natural, mucho de la resiliencia del sistema se pierde, y se tiene que mantener el uso de insumos externos derivados de los humanos en forma constante. Un sobre-énfasis en la maximización de rendimientos interrumpe el equilibrio anterior, y solo se puede mantener con la continuación de intervenciones externas. Para reintegrar la sostenibilidad, las propiedades emergentes de resistencia y resiliencia del sistema deben jugar un papel central en el diseño y manejo de agroecosistemas.

Debemos analizar ambos los impactos inmediatos y futuros del diseño y manejo de agroecosistemas para poder identificar los puntos claves de cada sistema sobre los cuales se debe enfocar la búsqueda de alternativas y la resolución de problemas. Debemos aprender a ser más competen-

¹¹ CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199:1302-1310, 1978.

tes en nuestros análisis agroecológicos para evitar problemas o cambios negativos antes de que ocurran, en vez de luchar para corregirlos. El enfoque agroecológico proporciona una alternativa.¹²

2 Aplicando la Agroecología

El proceso de entender la sostenibilidad de agroecosistemas tiene su base en dos tipos de ecosistemas: ecosistemas naturales y agroecosistemas tradicionales. Ambos demuestran evidencia amplia de una habilidad productiva de largo plazo, pero cada uno ofrece fundamentos de conocimiento distintos para entender esta habilidad. Los ecosistemas naturales son sistemas de referencia para entender la base ecológica para la sostenibilidad en un lugar particular. Los agroecosistemas tradicionales proporcionan muchos ejemplos de cómo una cultura y su entorno local han co-evolucionado con el tiempo por procesos que balancean las necesidades de la gente, expresadas como ecológicas, tecnológicas, y socio-económicas. La Agroecología, definida como la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles,¹³ aprovecha de ambos para crear un enfoque de investigación que se puede aplicar para convertir agroecosistemas convencionales y no sostenibles a agroecosistemas sostenibles.

Los ecosistemas naturales reflejan un periodo largo de evolución en el uso de recursos locales y la adaptación a condiciones ecológicas locales. Cada uno se ha vuelto un conjunto complejo de plantas y animales que co-habitan en un medio ambiente dado, y como resultado, proporcionan información extremadamente útil para el diseño de agroecosistemas adaptados localmente. Como he sugerido,¹⁴ “la mayor similitud estructural y funcional entre un agroecosistema y un ecosistema natural en su región biogeográfica, la mayor probabilidad que el agroecosistema será sostenible.” Si esta sugerencia se verifica, las estructuras y funciones de sistemas naturales se pueden utilizar como datos umbrales para sistemas más sostenibles. Los científicos han empezado explorar como un entendimiento de ecosistemas naturales se puede usar para guiar nuestra búsqueda para agroecosistemas sostenibles que respetan y protejan el medio ambiente y los recursos naturales.¹⁵

Los agroecosistemas tradicionales e indígenas son distintos que los sistemas convencionales porque fueron desarrollados en momentos y lugares en donde los insumos, fuera de la mano de obra y los recursos locales, no eran disponibles o deseados por la gente local. La forma de

¹² ALTIERI, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*, 2nd ed. Boulder, CO., Westview Press, 1995.
GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹³ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹⁴ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹⁵ SOULE, J. D. & PIPER, J. K. *Farming in nature's image*. Washington, D. C.: Island Press, 1992.
JACKSON, D. L. & JACKSON, L. L. *The farm as natural habitat*. Washington, D. C.: Island Press, 2002.

- ¹⁶ WILKEN, G. C. *Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America*. Berkeley, CA.: Univ. California Press, 1988.
- ALTIERI, M. A. Why study traditional agriculture? *En: CARROLL, C. R.; VANDERMEER, J. H. & ROSSET, P. M., eds., Agroecology*. New York: McGraw-Hill, 1990. p. 551-564.
- ¹⁷ ALTIERI, M. A. Why study traditional agriculture? *Op. cit.*
- ¹⁸ A M A D O R, M. F. & GLIESSMAN, S. R. An ecological approach to reducing external inputs through the use of intercropping. *En: GLIESSMAN, S. R., ed., Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York: Springer-Verlag, 1990.
- ¹⁹ LETOURNEAU, D. K. Associational resistance in squash monoculture and polycultures in tropical Mexico. *Environ. Entomol.*, 15:285-292, 1986.
- ²⁰ BETHLENFALVAY, G. J.; REYES-SOLIS, M. G.; CAMEL, S. B. & FERRERACERRATO, R. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal inoculum. *Physiologia Plantarum*, 82: 423-432. 1991.
- ²¹ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Alternative agriculture*. Washington, D. C.: National Acad. Press, 1989. USDA. U. S. Organic Agriculture. Washington, DC.: Econ. Res. Serv. Issues Center, 2000 www.econ.ag.gov/whatsnew/issues/organic/
- ²² SWEZEY, S. L. & BROOME, J. Growth predicted in biologically integrated and organic farming. *California Agric.*, 54:26-35, 2000.

producción demuestra una consideración por la sostenibilidad a largo plazo, en vez de un enfoque total en la maximización de rendimiento y ganancia. Los sistemas tradicionales continúan siendo importantes como la producción primaria de alimento para un gran parte de la población de los países en desarrollo, mientras que al mismo tiempo mantienen sus bases en conocimiento ecológico.¹⁶ Esta realidad demuestra su importancia para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles, especialmente hoy día cuando muchos de los agroecosistemas modernos convencionales han degradado sus bases ecológicas severamente a la medida que la fuerza mayor dentro de los sistemas alimentarios se ha vuelto los factores socio-económicos.¹⁷ Muchos agroecosistemas tradicionales son ejemplos sofisticados de la aplicación de conocimiento ecológico, y pueden servir como el punto de partida para la conversión a agroecosistemas más sostenibles en el futuro. El policultivo Mesoamericano tradicional de maíz-fríjol-calabaza es bien conocido como un sistema de cultivo en donde rendimientos más altos se logran por el complejo de interacciones entre componentes del agroecosistema.¹⁸ Ejemplos de tales interacciones se extienden desde el aumento de insectos benéficos debido a los microclimas atractivos y mayor abundancia de fuentes de polen y néctar,¹⁹ hasta la disponibilidad al maíz de nitrógeno fijado biológicamente por las conexiones de los hongos micorrizales con las raíces del fríjol.²⁰

¿Cómo puede la Agroecología conectar nuestro entendimiento de la estructura y función de ecosistemas naturales con el conocimiento inherente a las agroecosistemas tradicionales? Por un lado, el conocimiento del entorno que se deriva de entender la ecología local es una base esencial. Por otro lado, es la experiencia local de cultivar usando prácticas que tienen raíces en el multitud de generaciones de vivir y trabajar dentro de los límites de ese entorno. Juntamos ambos enfoques cuando trabajamos con agricultores en el proceso de convertirse a prácticas de manejo más ambientales, y por ende alcanzamos su potencial por contribuir a la sostenibilidad de largo plazo. Esta transición ya se está llevando a cabo. Muchos agricultores, a pesar de las presiones económicas intensas, se encuentran en el proceso de convertir sus granjas hacia un diseño y manejo más sostenible.²¹ En California, el incremento dramático en áreas orgánicas de varios cultivos se ha basado, en gran parte, en la innovación de agricultores.²² Es absolutamente necesario que los agroecólogos juegan un papel importante contribuyendo a este proceso de conversión.

La conversión de un agroecosistema a un diseño más sostenible es un proceso complejo. No es solamente la adopción de una práctica o tecnología nueva. No hay respuestas mágicas. Más bien, esta conversión usa el enfoque agroecológico descrita en el principio de este artículo. La parcela se percibe como parte de un sistema más grande de componentes interactuando – un agroecosistema. Debemos enfocarnos en el rediseño de ese sistema para promover el funcionamiento del rango completo de procesos ecológicos distintos.²³ En una investigación sobre la conversión de fresas convencionales al manejo orgánico, se observó varios cambios.²⁴ A medida que se redujo o eliminó el uso de insumos químicos sintéticos, y se enfatizó el reciclaje, la estructura y función del agroecosistema cambió. Varios procesos y relaciones empezaron a transformarse, empezando con el mejoramiento en la estructura básica del suelo, un aumento en el contenido de materia orgánica, y mayor diversidad y actividad de la biota benéfica del suelo. Cambios mayores empezaron a ocurrir en la actividad y las relaciones entre las poblaciones de arvenses, insectos y patógenos, y en el funcionamiento de mecanismos de control natural. Por ejemplo, ácaros depredadores gradualmente reemplazaron el uso de acaracidas sintéticas para el control de la araña roja, la peste más común de las fresas en California.

Al final, se ve afectada la dinámica y reciclaje de nutrientes, la eficiencia del uso de energía, y la productividad total del agroecosistema. Posiblemente requiere cambios en el manejo a diario de la parcela, planeamiento, mercadeo, y aún filosofía. Las necesidades específicas de cada agroecosistema variará, pero los principios enlistados en la tabla 1 pueden servir como una guía general para el proceso de conversión. El papel del agroecólogo es asistir al agricultor en la medición y monitoreo de estos cambios durante el periodo de conversión para guiar, ajustar y evaluar el proceso de conversión. Tal enfoque proporciona el marco esencial para determinar los requisitos para y los indicadores del diseño y manejo sostenible de agroecosistemas.

3 Comparando ecosistemas y agroecosistemas

El clave para desarrollar la sostenibilidad es construir una base ecológica fuerte debajo del agroecosistema, usando el conocimiento de la Agroecología descrito en este artículo. Entonces, esta base sirve como el marco para producir las cosechas sostenibles que necesitan los humanos.

²³ GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, Fl.: Lewis/CRC Press, 1998.

²⁴ GLIESSMAN, S. R.; WERNER, M. R.; SWEZEY, S.; CASWELL, E.; COCHRAN, J. & ROSADO-MAY, F. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. *California Agric.*, 50:24-31, 1996.

Sin embargo, para mantener cosechas sostenibles, el manejo humano es un requisito. Los agroecosistemas no son auto-suficientes, mas bien dependen de procesos naturales para mantener su productividad. Una semejanza a los ecosistemas naturales permite que el sistema se sostiene, a pesar de la remoción a largo plazo de biomasa, sin subsidios grandes de energía no-renovable y sin impactos negativos en el entorno ambiental.

Tabla 1: Principios para guiar el proceso de conversión al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles (modificado de Gliessman²⁵)

²⁵ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Op. cit.

Cambiar de un manejo de flujo de nutrientes, a uno de reciclaje de nutrientes, con mayor dependencia de procesos naturales como la fijación biológica de nitrógeno y las relaciones micorrízicas
Usar energía de fuentes renovables en reemplazos de fuentes no renovables
Eliminar el uso de insumos humanos externos no renovables, que tienen el potencial de dañar el ambiente y la salud de productores, trabajadores del campo o consumidores
Cuando se deba agregar materiales al sistema, usar materiales naturales en lugar de usar insumos sintéticos, manufacturados
Manejar las plagas, enfermedades y arceses en lugar de “controlarlas”
Reestablecer las relaciones biológicas que pueden darse naturalmente en la granja en lugar de reducirlas y simplificarlas
Hacer combinaciones más apropiadas entre el patrón de cultivos, y el potencial productivo y las limitaciones físicas del paisaje agrícola
Usar una estrategia de adaptación del potencial genético y biológico de las plantas cultivables y especies animales, a las condiciones ecológicas de la parcela, y no modificarla para satisfacer las necesidades de cultivos y animales
Valorar más el estado general de salud del agroecosistema, que el producto de un sistema de cultivo o el de una temporada del año
Enfatizar la conservación del suelo, agua, energía y recursos biológicos
Incorporar la idea de la sostenibilidad a largo plazo en el diseño y manejo del agroecosistema en conjunto

La tabla 2 compara los ecosistemas naturales con tres clases de agroecosistemas en términos de varios criterios ecológicos. Los agroecosistemas tradicionales son los más

parecidos a los ecosistemas naturales, como generalmente se enfocan en el uso de recursos localmente disponibles y renovables, el uso local de productos agrícolas, y el regreso de biomasa a la parcela. Los agroecosistemas sostenibles son muy similares en muchas propiedades, pero debido al enfoque más común de exportar la cosecha a mercados distantes, a la necesidad de comprar una cantidad importante de sus nutrientes, y al impacto más fuerte del mercado en la diversidad y manejo del agroecosistema, no son tan parecidos en otras. Comparados a sistemas convencionales, los agroecosistemas sostenibles son sujetos a rendimientos un poco más bajos y variables debido a la variación del tiempo que ocurre de un año a otro. Esta reducción en rendimientos puede ser más que compensada, desde la perspectiva de la sostenibilidad, por la ventaja que se gana de depender menos de los insumos externos, depender más de los controles naturales de plagas, y en reducir los impactos negativos fuera de la parcela.

Tabla 2: Las propiedades emergentes de ecosistemas naturales, agroecosistemas tradicionales, agroecosistemas convencionales, y agroecosistemas sostenibles. Las propiedades de los agroecosistemas son más aplicables a la escala de la parcela y a corto y mediano plazo

Propiedad Ecológica Emergente	Ecosistema Natural	Clase de Agroecosistema		
		Tradicional	Convencional	Sostenible
Productividad (proceso)	Media	Media	Baja/media	Media/alta
Diversidad de Especies	Alta	Media/alta	Baja	Media
Diversidad Estructural	Alta	Media/alta	Baja	Media
Diversidad Funcional	Alta	Media/alta	Baja	Media/alta
Estabilidad de egreso(cosecha)	Media	Alta	Baja/media	Alta
Acumulación de biomasa	Alta	Alta	Baja	Media/alta
Reciclaje de nutrientes	Alta	Alta	Baja	Alta
Relaciones tróficas	Alta	Alta	Baja	Media/Alta
Regulación natural de poblaciones	Alta	Alta	Baja	Media/Alta
Resistencia	Alta	Alta	Baja	Media
Resiliencia	Alta	Alta	Baja	Media
Dependencia de insumos humanos externos	Baja	Baja	Alta	Media
Autonomía	Alta	Alta	Baja	Alta
Desplazo humano de procesos ecológicos	Baja	Baja	Alta	Baja/media
Sostenibilidad	Alta	Media/alta	Baja	Alta

²⁶ ODUM, E. P. Properties of agroecosystems. *En*: LOWRANCE, R.; STINNER, B. R. & HOUSE, G. J., eds. *Agricultural ecosystems: unifying concepts*. New York: John Wiley & Sons, 1984. pp. 5-12.
 CONWAY, G. R. Agroecosystem analysis. *Agric. Admin.*, 20:31-55, 1985.
 ALTIERI, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. *Op. cit.*
 GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

Modificada de Odum, Conway, Altieri, y Gliessman.²⁶

Perspectivas futuras

Los problemas que sufre la agricultura crea la presión para hacer los cambios que nos llevarían a la agricultura sostenible. Sin embargo, expresar una necesidad de la sostenibilidad no es lo mismo que cuantificarla y hacer los cambios que se necesitan. El diseño y manejo de los agroecosistemas sostenibles, como un enfoque, está en sus etapas formativas. Se contruye inicialmente sobre los campos de la Ecología y las Ciencias Agrícolas, y emerge como la ciencia de la Agroecología. Esta combinación puede jugar un papel importante en desarrollar el conocimiento necesario para la transición a una agricultura sostenible.

Sin embargo, la agricultura sostenible es más. Incorpora una perspectiva cultural a la medida que el concepto se expande para incluir los humanos y sus impactos sobre los ambientes agrícolas. Los sistemas agrícolas son el resultado de la co-evolución que ocurre entre la cultura y el medio ambiente, y una agricultura sostenible que valora los componentes humanos tanto como los ecológicos. Nuestra "piscina" pequeña dentro del "río" se vuelve el punto clave para cambiar nuestra forma de practicar la agricultura, pero el cambio debe ocurrir dentro del contexto de las sociedades humanas en donde se practica la agricultura, el río entero en esta analogía.

Todos los sistemas agrícolas no pueden ser concebidos jamás estrictamente como actividades productivas impulsadas principalmente por las presiones económicas. Tenemos que reestablecer una conciencia de las bases ecológicas fuertes sobre las cuales la agricultura se desarrolló originalmente y de las cuales depende finalmente. Se ha dado muy poca importancia a los impactos de "río abajo" que se manifiestan fuera de la parcela, sea por los ecosistemas naturales alrededores de las comunidades humanas. Se necesita una base interdisciplinaria para evaluar estos impactos.

En el contexto más amplio de la sostenibilidad, debemos estudiar el medio ambiental del agroecosistema, tanto como el complejo de procesos involucrado en el mantenimiento de la productividad a largo plazo. Primero, deberíamos establecer la base ecológica de la sostenibilidad en términos del uso y conservación de los recursos, incluyendo el suelo, el agua, los recursos genéticos y la calidad del aire. Después debemos examinar las interacciones entre los varios organismos del agroecosistema, empezando con las interacciones al nivel de especie individual, terminando al nivel de ecosistema mientras que se manifiesta nuestro conocimiento de las dinámicas del sistema entero.

Stephen R. Gliessman es botánico, PhD en Ecología de Plantas y profesor de Agroecología en el Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad de California, Santa Cruz, Estados Unidos.

gliess@ucsc.edu

Traducción inicial del texto en inglés de Roseann Cohen, alumna en el programa de doctorado en el Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad de California. Carlos Guadarrama Zugasti, del Centro Regional de la Universidad Autónoma de Chapingo en Huatusco, Veracruz, México, tradujo la figura 1.

Entonces, nuestra comprensión de los procesos al nivel de ecosistema debe integrar los aspectos múltiples de los sistemas sociales, económicos y políticos dentro de los cuales funcionan los agroecosistemas, haciéndolos aún más complejos. Tal integración del conocimiento ecológico y social de los procesos agrícolas no nos llevará solamente a la reducción de insumos sintéticos usados para mantener la productividad. Además nos permitirá la evaluación de tales propiedades de los agroecosistemas como los efectos a largo plazo de distintas estrategias de insumo/egreso, la importancia de los servicios ambientales proporcionados por el paisaje agrícola, y las relaciones entre los componentes económicos y ecológicos del manejo sostenible del agroecosistema. La selección y comprensión apropiada de los insumos agrícolas de “río arriba” nos aseguran que los impactos “río abajo” promoverán un futuro sostenible.