

AGRICULTURA VERDE: FUNDAMENTOS AGROECOLOGICOS PARA DISEÑAR SISTEMAS AGRÍCOLAS BIODIVERSOS, RESILIENTES Y PRODUCTIVOS

Miguel A Altieri¹, Parviz Koohafkan², Eric Holt Gimenez³

¹College of Natural Resources, University of California -Berkeley, California 94720, USA; ²Land and Water Division, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00153, Rome, Italy; ³Institute for Food and Development Policy (Food First), Oakland, California 94618, USA

Resumen

Existen muchas perspectivas sobre como lograr una agricultura sostenible que sea al mismo tiempo productiva y eficiente en cuanto a recursos, de tal modo que provea alimentos suficientes y servicios ecosistémicos para las generaciones presentes y futuras en una era de cambio climático, gastos de energía en ascenso, inconformismo social, inestabilidad económica, y degradación ambiental creciente. Los sistemas agrícolas que sean capaces de enfrentar los desafíos de un mundo de rápidos cambios requieren un mínimo de seis principios agroecológicos que constituyen los elementos que definen a una Agricultura Verde. En este contexto, un gran desafío es identificar una serie de umbrales que toda estrategia de producción agrícola debe alcanzar para ser viable frente a los desafíos futuros. Solo aquellos estilos de agricultura que satisfacen criterios establecidos por umbrales predeterminados, y que a la vez avanzan a las comunidades rurales hacia una soberanía alimentaria, energética y tecnológica, serian entonces considerados como formas viables de agricultura verde, capaces de producir suficientes alimentos dentro del escenario climático, energético, ecológico y económico de las próximas dos décadas. Considerando los contextos ecológicos, socio-económicos, históricos y políticos en los cuales los sistemas agrícolas se han desarrollado y están evolucionando, es tan solo razonable definir una serie de principios flexibles y adaptables localmente asi como umbrales de sostenibilidad para los ecosistemas agrícolas del futuro inmediato.

Palabras claves: Agricultura global, sostenibilidad, soberanía alimentaria, umbrales

Summary

Green Agriculture: Foundations for Biodiverse, Resilient and Productive Agricultural Systems

There are many visions on how to achieve sustainable agriculture that is both productive and resource efficient, so that it provides enough food and ecosystem services for present and future generations in an era of climate change, increasing costs of energy, social unrest, financial instability and increasing environmental degradation. New agricultural systems that are able to confront the challenges of a rapidly changing world require a minimum of six principles that constitute the defining elements of a Green Agriculture. In this context, a major challenge is to identify a set of thresholds that any agricultural production strategy must meet beyond which unsustainable trends caused by the farming systems and associated technologies would lead to tipping-point phenomena. Only those styles of agriculture that meet the established threshold criteria while advancing rural communities towards food, energy and technological sovereignty would then be considered as viable forms of green agriculture capable of producing enough food within the climatic, energetic, ecological and economic scenarios of the next two decades or so.

Considering the diversity of ecological, socio-economical, historical and political contexts in which agricultural systems have developed and are evolving in, it is only wise to define a set of flexible and locally adaptable principles and boundaries of sustainability for the agroecosystems of the immediate future.

Keywords: Global agriculture, sustainability, food sovereignty, thresholds.

Introducción

Existen varias perspectivas sobre como mejorar la producción agrícola: desde la expansión a nuevas tierras, a aumentar la producción por hectárea a través del uso de insumos externos o modificación genética, o aumentando rendimientos por unidad de insumos, agua, nitrógeno o fósforo (NRC 2010). La intensificación de la agricultura a través del uso de variedades de cultivo de alto rendimiento, fertilización, irrigación, y pesticidas ha contribuido substancialmente al aumento de la producción de alimentos en los últimos 50 años. El sector agrícola ha sido exitoso en abastecer a una población global creciente y más afluyente (Royal Society 2009). La tasa de crecimiento en la producción total en la agricultura ha excedido la tasa de crecimiento de la población, aunque en algunos países y regiones, como África, la productividad ha sido baja. Hoy día, la mayoría de los expertos en alimentos y agricultura están de acuerdo que la producción de alimentos deberá aumentar substancialmente para el año 2050 (Godfray *et al.* 2010). Casi el 90 % de este proyectado aumento de la producción de alimentos se espera que venga de la intensificación, incluyendo zonas donde la tierra y el agua ya son escasas. Pero las cosas se complican a medida que las tasas de crecimiento de la producción agrícola han estado disminuyendo y la competencia por los escasos recursos de tierra y agua no parece menguar. Últimamente la creciente volatilidad de los precios de alimentos ha impactado severamente a los mas pobres, mas notablemente durante la escalada de los precios de alimentos del 2007-2008 (Holt-Gimenez y Patel 2009).

La relación entre la intensificación agrícola, el manejo de recursos naturales y el desarrollo socio-económico es compleja, ya que las actividades de producción impactan los recursos naturales duramente con implicaciones serias para la salud y el medioambiente. Cuando la dependencia del petróleo y los riesgos ecológicos de la agricultura industrial se toman en cuenta, surgen preguntas serias sobre la sostenibilidad social, económica y ambiental de estrategias agrícolas intensas en insumos (IAASTD 2009).

A menos que la huella ecológica de la agricultura sea reducida notoriamente a través de un efectivo manejo agroecológico, tanto los sistemas agrícolas y los ecosistemas naturales permanentes sufrirán mas degradación, aumentando la proporción de especies del mundo en peligro de extinción y limitando mas aun los servicios ecosistémicos proporcionados por la agricultura para la humanidad (Perfecto *et al.* 2009). Una complicación adicional es que la mayoría de los sistemas de monocultivo más modernos son particularmente vulnerables al cambio climático y muy poco ha sido hecho para mejorar su adaptabilidad a patrones cambiantes de precipitación, temperatura y eventos climáticos extremos (Rosenzweig y Hillel 2008). Esta realización ha llevado a

muchos expertos a sugerir que el uso de estrategias de manejo con base agroecológica puede sustentar la productividad, sostenibilidad y resiliencia de la producción agrícola mientras los impactos no deseados son reducidos (Altieri 2002, de Schutter 2010).

Por lo tanto, un desafío futuro clave para el manejo de sistemas agroecológicos depende en aumentar la eficiencia del uso de recursos para asegurar mas producción pero a la vez mas conservación de la biodiversidad y recursos naturales escasos, mientras se aumenta la resiliencia de los ecosistemas agrícolas frente a los riesgos crecientes relacionados con el clima, estreses bióticos y vaivenes económicos (Tilman *et al.* 2002, Pretty *et al.* 2010).

Las necesidades de una agricultura sostenible

En su informe al UN Human Rights Council, el Rapporteur especial para la ONU sobre el derecho a la alimentación, afirmó que para tomar medidas efectivas a satisfacer el derecho a los alimentos, los sistemas alimentarios deben asegurar la disponibilidad de los alimentos para todos, advirtiendo sin embargo que aumentando la producción de alimentos para satisfacer las necesidades futuras, aunque necesaria, no es suficiente. El informe recalcó el hecho que la agricultura debe desarrollarse de maneras que aumenten los ingresos de los pequeños agricultores y de los consumidores más pobres ya que el hambre no se debe a reservas bajas de alimentos sino que a la pobreza. También enfatizó que la agricultura no debe comprometer su capacidad para satisfacer las necesidades futuras socavando la biodiversidad y la base de los recursos naturales. El informe destaca el potencial de la agroecología como el mejor enfoque para acercarse al logro del derecho al acceso a alimentos suficientes en sus diferentes dimensiones: suficiencia, disponibilidad, accesibilidad, sostenibilidad y participación (de Schutter 2010).

Aunque no existe un consenso sobre una definición particular de agricultura sostenible, la urgencia para promover un paradigma nuevo de producción agrícola para asegurar una abundante producción de alimentos saludables y a precios asequibles para una creciente población humana es una tarea urgente e inevitable. Este desafío para que se cumpla, va a necesitar el uso de tecnologías y métodos ambientalmente benignos y socialmente equitativos, en un mundo con una base agrícola cultivable reducida (que también esta siendo desviada para producir biocombustibles), con menos y más costoso petróleo, cantidades cada vez más limitadas de agua y nitrógeno, y dentro de un escenario de un acelerado cambio climático, inconformismo social e incertidumbre económica (IAASTD 2009). El único sistema agrícola que podrá afrontar los desafíos futuros es uno que exhiba altos niveles de diversidad, productividad y eficiencia (IAASTD 2009). La transformación de

la producción agrícola que no solo sirva para producir alimentos abundantes sino que también llegue a ser un contribuyente mayor para la conservación de la biodiversidad global y una fuente continua de servicios ecológicos redistributivos y socio-económicos es sin duda un esfuerzo clave para ambos los científicos y los agricultores en la segunda década del siglo veinte y uno (Godfrey *et al.* 2010).

Directrices para una agricultura sostenible

Hay varias iniciativas en proceso que fijan "directrices" para una agricultura sostenible que apuntan a establecer un marco integral, de mejoramiento continuo con un conjunto común de métricas económicas, ambientales y sociales para determinar si un sistema agrícola esta siendo manejado de una manera sostenible (i.e. Sustainable Agriculture Standard of the Leonardo Academy [2007] and the Global Bioenergy Partnership 2010). Además, varias empresas agrícolas interesadas en implementar un programa de sostenibilidad están comprometidas en desarrollar un protocolo de autoevaluación de sus operaciones agrícolas particulares. La idea principal es que la empresa que promueve un modelo de desarrollo agrícola o comercial encuentre medios para implementar el plan de sostenibilidad para evaluar sus objetivos y usar métodos que mejoran su rendimiento en las esferas ambientales y económicas. Varias compañías han desarrollado su propio Código de Agricultura Sostenible y les piden a sus proveedores, y a los agricultores que los abastecen, adoptar prácticas sostenibles en sus fincas. Por ejemplo, Unilever adoptó una serie de principios de sostenibilidad agrícola (Pretty *et al.* 2008a) y espera que todos sus proveedores de materias primas agrícolas se comprometan a un estándar de rendimiento mínimo y a mejorar su rendimiento en forma continuada a través del tiempo para alcanzar objetivos de sostenibilidad. Durante un análisis de esta iniciativa, los investigadores seleccionaron diez indicadores de sostenibilidad agrícola en cultivos como guisantes, espinaca, tomates, te y aceite de palma, en 11 países para evaluar el progreso del abastecimiento sostenible de estos cultivos (Pretty *et al.* 2008b). Aparentemente, estas evaluaciones han sido muy importantes para que Unilever pueda desarrollar un enfoque más maduro de medir y monitorear la sostenibilidad agrícola. Aunque debido a limitaciones metodológicas e institucionales, los programas de monitoreo de multi-indicadores por varios años como originalmente fueron concebidos, son poco probables que se puedan aplicar a las cadenas completas de abastecimientos de productos en el corto plazo.

La idea detrás de establecer un conjunto de directrices agronómicas, ecológicas, sociales, económicas y ambientales, es que si los productores contratados siguen aquellas directrices, estas debieran ser capaces de promover una agricultura más eficiente, que conserve

la biodiversidad y beneficie a sus comunidades. La auditoría de estas directrices, debiera fomentar prácticas de manejo mejores que sustenten la sostenibilidad y resiliencia. El cumplimiento es evaluado por auditorías conducidas por entidades de inspecciones autorizadas y/o de certificación que miden el grado de conformidad de la finca con las normas sociales y ambientales indicadas por los criterios establecidos por las directrices. Como una herramienta el método es útil para las compañías y agricultores asociados interesados en mitigar los riesgos ambientales y sociales causados por sus actividades agrícolas a través de un proceso que motiva un mejoramiento continuo, tan bien como proveer una medida del rendimiento social y ambiental de cada finca y las mejores prácticas de manejo. Por ejemplo, el Rainforest Alliance (2007) desarrolló una serie de directrices que cubren el manejo ambiental, social, laboral y agronómico de las fincas. La certificación del Rainforest Alliance se basa en los tres pilares de sostenibilidad: protección ambiental, equidad social y viabilidad económica. Entre las tendencias esperadas en fincas tropicales que siguen las directrices están: menos erosión de los suelos, reducción de contaminación y desechos, mejor hábitat para la vida silvestre, menos riesgos para la salud humana y mejores condiciones de vida para los agricultores y campesinos.

Recientemente Conservation International y la Fundación Bill and Melinda Gates convocaron un taller para crear una red para el monitoreo global de la agricultura, servicios ecosistémicos y el bienestar rural. El propósito de la red será proveer un sistema para la medición y análisis integrado del bienestar humano derivado de la agricultura y las consecuencias ambientales para asegurar que el desarrollo sea sostenible (Conservación Internacional 2011). Ellos proponen un grupo de tres tipos de indicadores métricos y sintéticos para ser usados durante el proceso de intensificación agrícola:

1. Un grupo de indicadores para identificar las áreas adecuadas para la intensificación o para los servicios ecosistémicos.
2. Indicadores para evaluar el rendimiento del proceso de intensificación
3. Indicadores de conciencia situacional para capturar las diferentes dimensiones del impacto de la intensificación

Una desventaja aparente de esta proposición es que identifica la intensificación (aumentar la producción por área por medio del uso eficiente de insumos) como el único vehículo agrícola para la producción agrícola, no tomando en cuenta la diversidad de otros enfoques que en vez de intensificación enfatizan diversificación, sinergias y reciclaje. La metodología también crea una dicotomía entre las áreas dedicadas para la agricultura y para la naturaleza, ignorando el hecho de que hay for-

mas de agricultura (notablemente fincas diversificadas de pequeños agricultores) que simultáneamente producen alimentos y conservan biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados (Perfecto *et al.* 2009).

Aunque principios y directrices son de gran importancia para evaluar la sostenibilidad de las operaciones agrícolas, los grupos involucrados en tales procesos han encontrado gran dificultad para llegar a acuerdos en criterios, ni menos directrices, por lo tanto un número de defectos persisten y la aplicación de directrices permanece más bien limitada. Algunas personas piensan que sería contraproducente a la evolución de la agricultura sostenible la imposición de directrices generales y rígidas que pueden no encajar con las especificaciones de cada región agrícola y que incluso podrían inhibir la diversidad de enfoques de producción agrícola. Otros argumentan que la ciencia para apoyar tal auditoría todavía no está lista. Otros problemas que tienen muchos esquemas de certificación es que juzgan al agricultor en vez de a las tecnologías promovidas y en la mayoría de los casos dejan los costos de remediación y conversión a los agricultores para poder satisfacer las directrices de certificación, mientras que las empresas usualmente continúan pagando los mismos precios por los productos. Muchos agricultores restringidos por directrices adaptadas para la agricultura de exportación, prefieren ligarse a mercados locales y regionales y han optado por otros tipos de programas de certificación, como la certificación participativa de Rede Ecológica en el sur de Brasil (dos Santos y Mayer 2007). Ecológica consiste de un espacio de articulación entre agricultores familiares organizados, ONGs y consumidores solidarios cuyos objetivos son promover alternativas agroecológicas y desarrollar mercados solidarios que estrechen el círculo entre los productores locales y los consumidores, incrementando la seguridad alimentaria local y que la riqueza generada permanezca en la comunidad (van de Ploeg 2009).

Atributos y objetivos básicos de una "Agricultura Verde"

Existen muchos enfoques en disputa de cómo lograr nuevos modelos de una agricultura biodiversa, resiliente, productiva y eficiente en el uso de recursos que la humanidad necesita desesperadamente en el futuro inmediato. La agricultura de conservación (mínima o no labranza), intensificación sostenible, cultivos transgénicos, agricultura orgánica y sistemas agroecológicos son algunos de los enfoques propuestos, cada uno pretendiendo servir como un fundamento duradero para una estrategia de producción de alimentos sostenible. Aunque los objetivos de todos los enfoques pueden ser similares, las tecnologías propuestas (insumos altos versus bajos) metodologías (agricultor a agricultor versus de arriba hacia abajo) y escalas (monocultivos de gran

escala versus pequeñas fincas biodiversas) son muy diferentes y a menudo antagónicas. Con más de un billón de gente que padece hambre en el planeta y desajustes futuros climáticos y económicos inminentes, existe una necesidad urgente de que toda la comunidad científica trabaje junta en el diseño y escalonamiento de sistemas agrícolas verdaderamente sostenibles.

Un punto de partida sería ponerse de acuerdo sobre los atributos básicos que un sistema de producción sostenible debe exhibir. Criterios derivados de la literatura extensiva sobre agroecología y agricultura sostenible, sugieren una serie de atributos (Tabla 1, Fig. 1) que todo sistema agrícola debería exhibir para ser considerado sostenible (Altieri 1995, Gliessman 1998, UK Food Group 2010). La mayoría de los investigadores están de acuerdo que un atributo básico es el mantenimiento de la diversidad del agro-ecosistema y los servicios ecológicos derivados de las interacciones ecológicas benéficas entre los cultivos, animales y suelos. Cada vez más, la investigación sugiere que el nivel de regulación interna de la función en los agroecosistemas depende en gran parte del nivel de la biodiversidad de las plantas y animales presentes en el sistema y en su ambiente circundante (Altieri y Nicholls 2004). La biodiversidad desempeña una variedad de servicios ecológicos más allá de la producción de alimentos, incluyendo el reciclaje de nutrientes, regulación de procesos de microclima e hidrológicos locales, supresión de organismos indeseados y detoxificación de químicos nocivos, etc. (Fig. 2). Debido a que los procesos de renovación mediados por la diversidad y los servicios ecológicos son mayormente biológicos, su persistencia depende del mantenimiento de la integridad y diversidad biológica de los agroecosistemas. Los agricultores tradicionales tanto como los agro-ecólogos ofrecen una gran selección de opciones de manejo y diseños que mejoran la biodiversidad funcional de los campos agrícolas (Uphoff 2002, Toledo y Barrera-Bassols 2009).

Otra manera de examinar el potencial de intervenciones agrícolas para encarar en forma sustentable

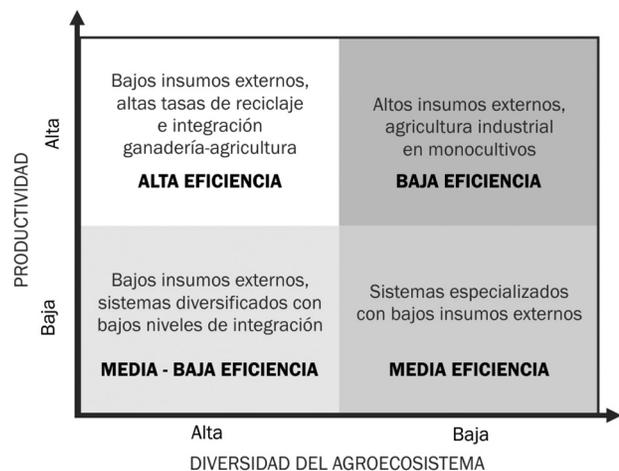


Figura 1. Características de los agroecosistemas del futuro: productividad, diversidad, integración y eficiencia (Funes-Monzote, 2009).

Tabla 1. Atributos básicos de sistemas agrícolas sostenibles

1. Uso de variedades de cultivos locales y mejoradas y razas de ganado para mejorar la diversidad genética y la adaptación a las condiciones bióticas y ambientales cambiantes.
2. Evitar el uso innecesario de tecnologías agroquímicas y otras que impactan adversamente al medio ambiente y a la salud humana (e.g. máquinas pesadas, cultivos transgénicos, etc).
3. Uso eficiente de recursos (nutrientes, agua, energía, etc.), uso reducido de energía no renovable y dependencia reducida del agricultor en insumos externos.
4. Aprovechar principios y procesos agroecológicos tales como reciclaje de nutrientes, fijación biológica de nitrógeno, alelopatía, control biológico a través de la promoción de sistemas agrícolas diversificados y utilizando la biodiversidad funcional.
5. Hacer uso productivo del capital humano en la forma de conocimientos y habilidades científicas tradicionales y modernas para hacer innovaciones y el uso del capital social a través del reconocimiento de la identidad cultural, métodos de participación y redes de agricultores para aumentar la solidaridad y el intercambio de innovaciones y tecnologías para resolver problemas.
6. Reducir la huella ecológica de prácticas de producción, distribución y consumo, de ese modo minimizando las emisiones de gases de invernadero y la contaminación del suelo y el agua.
7. Promover prácticas que mejoran la disponibilidad de agua limpia, secuestro de carbono, conservación de biodiversidad, suelo y aguas, etc.
8. Capacidad de adaptación aumentada basada en la premisa que la clave para hacer frente a cambios rápidos e imprevisibles es fortalecer la capacidad para responder a los cambios adecuadamente para mantener un balance entre la adaptabilidad a largo plazo y la eficiencia a corto plazo.
9. Fortalecer la capacidad de adaptación y resiliencia del sistema agrícola manteniendo la diversidad del agroecosistema, que no solo permite varias respuestas al cambio, pero que también asegura funciones claves en la finca.
10. Reconocimiento y conservación dinámica de sistemas agrícolas patrimoniales que permiten una cohesión social y un sentido de orgullo y promueven un sentido de pertenencia y reducen emigración.

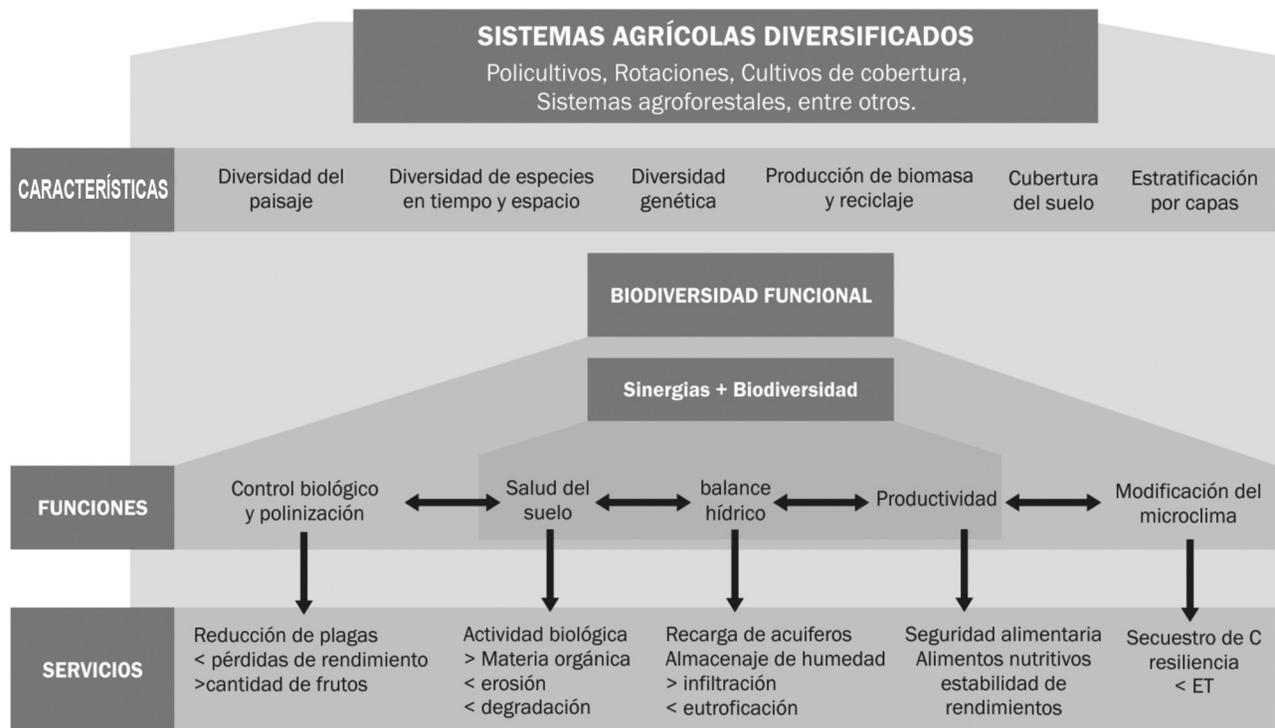


Figura 2. El rol ecológico de la biodiversidad en el funcionamiento de los agroecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos por los sistemas agrícolas diversificados (López-Ridaura et al, 2002)

temas urgentes, es establecer un grupo de preguntas (Tabla 2) que examine si las prácticas de manejo actuales están contribuyendo al bienestar rural sostenible mejorando o no el capital natural, humano, social, físico y económico. En este respecto, muchas organizaciones (notablemente IFAD y ODI) han promovido

una metodología llamada “sustainable livelihoods approach” para evaluar el bienestar rural sostenible. Esta herramienta provee un marco analítico que promueve el análisis sistemático de los procesos subyacentes y la causa de la pobreza, inseguridad alimentaria y degradación ambiental. Aunque no es el único marco,

sus ventajas son que enfoca su atención en las definiciones de pobreza, seguridad alimentaria, etc. por la propia gente, y toma en consideración una gran gama de factores que causan o contribuyen a los problemas de la comunidad. Estos son esquematizados en un marco que identifica el estado de los capitales, los riesgos y resultados del bienestar rural, permitiendo que múltiples perspectivas de las partes interesadas sean consideradas en la identificación de prioridades prácticas de acción para afrontar los riesgos y mejorar los capitales (Scoones 1998).

Tabla 2. Conjunto de preguntas guidoras para evaluar si los sistemas agrícolas propuestos están contribuyendo al bienestar rural sostenible

1. ¿Están reduciendo la pobreza?
2. ¿Están basadas en derechos de la gente y equidad social?
3. ¿Reducen la exclusión social, particularmente para las mujeres, minorías y la población indígena?
4. ¿Protegen el acceso y derechos a la tierra, agua y otros recursos naturales?
5. ¿Favorecen la redistribución (en vez de la concentración) de los recursos productivos?
6. ¿Aumentan substancialmente la producción de alimentos y contribuyen a la seguridad alimentaria de la familia y una mejor nutrición?
7. ¿Mejoran el acceso de las familias al agua y su disponibilidad?
8. ¿Regeneran y conservan suelos, y aumentan (mantienen) la fertilidad del suelo?
9. ¿Reducen la degradación/pérdida del suelo y mejoran la regeneración y conservación del suelo?
10. ¿Mantienen o mejoran la materia orgánica, la vida biológica y biodiversidad del suelo?
11. ¿Previenen los brotes de plagas y enfermedades?
12. ¿Conservan y fomentan la agrobiodiversidad?
13. ¿Reducen emisiones de gases de invernadero?
14. ¿Aumentan las oportunidades de ingresos y empleo?
15. ¿Reducen la variación de producción agrícola bajo condiciones de estrés climático?
16. ¿Mejoran la diversificación y resiliencia agrícola?
17. ¿Reducen los costos de inversión y la dependencia de los agricultores en insumos externos?
18. ¿Aumentan el grado y efectividad de las organizaciones de los agricultores?
19. ¿Aumentan la formación de capital humano?
20. ¿Contribuyen a la soberanía alimentaria, energética y tecnológica locales/regionales?

Definiendo Indicadores para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas

Los sistemas agrícolas – aun los más tradicionales – no son sistemas estáticos, de hecho están constantemente cambiando a través del tiempo. Las fuerzas principales que dan forma a los cambios agrícolas actuales

son: crecimiento y dinámica de la población, fuerzas del mercado global, inversión en la agricultura y en el sector rural, avances importantes en la ciencia y la tecnología, cambios y variabilidad climática, demandas del consumidor, subsidios agrícolas y las presiones de movimientos sociales que exigen soberanía alimentaria, reforma agraria y reducción de la pobreza. Solo las políticas alimentarias y agrícolas que sean capaces de responder adecuadamente a estas fuerzas tienen la posibilidad de ser sostenibles en un mundo de rápidos cambios.

El diseño de agroecosistemas que exhiban muchos de los atributos de sostenibilidad (ver Tabla 1) ha llegado a ser un objetivo clave de la investigación científica y las políticas agrarias. Muchos autores han desarrollado métodos para evaluar la sostenibilidad ecológica, económica y social de agroecosistemas, haciendo un cálculo aproximado de la productividad, estabilidad, resiliencia y adaptabilidad de sistemas particulares de producción (Hansen y Jones 1996, Van der Werf y Petit 2002)

¿Cómo una estrategia dada impacta la sostenibilidad general del sistema de manejo de los recursos naturales? ¿Cuál es el enfoque más apropiado para explorar las dimensiones económicas, ambientales y sociales de los sistemas agrícolas? ¿Cómo puede ser evaluada la sostenibilidad de un agroecosistema? Estas son preguntas inevitables que enfrentan los científicos y especialistas del desarrollo cuando tratan con agroecosistemas complejos en un mundo cambiante.

Al nivel de finca, una tarea importante consiste en identificar los indicadores que señalan problemas específicos de rendimiento o manejos deficientes, o identificar cambios ambientales indeseables y las acciones a tomar. El foco radica en cambiar prácticas a nivel de la finca de una manera que mejore la salud de la finca en su totalidad (Rigby *et al.* 2001). Hay muchos argumentos sobre si usar indicadores específicos o universales. Algunos argumentan que los indicadores importantes de sostenibilidad son específicos al lugar y cambian entre eco-regiones. Por ejemplo, en las laderas, la erosión del suelo tiene un mayor impacto en la sostenibilidad, pero en las planicies bajas, la erosión es insignificante y puede que no sea un indicador útil, sino más bien el contenido de materia orgánica del suelo puede que sea más relevante. Aunque usualmente cada indicador trata con un aspecto de la sostenibilidad, una evaluación completa de un sistema agrícola debe incluir varios valores de indicadores, pero en vez de que se presenten separadamente, sean integrados para así llagar a una evaluación holística de las dimensiones socio-económicas, agronómicas y ambientales (Castoldi y Bechini 2010).

Una corriente de opinión plantea que la definición y consecuentemente el procedimiento para medir la agricultura sostenible es el mismo a pesar de la diversidad de situaciones que prevalecen en diferentes fincas. Bajo este principio, la sostenibilidad es definida como un grupo de requisitos que deben ser cumplidos por

cualquier finca a pesar de las amplias diferencias en la situación prevaleciente en los diversos sistemas (Harrington 1992). El procedimiento de usar un grupo común de indicadores ofrece un protocolo para medir la sostenibilidad al nivel de finca: definir los requisitos para sostenibilidad y luego seleccionando un grupo común de indicadores evaluar si estos requisitos se cumplen. De acuerdo a la mayoría de los métodos, un sistema agrícola es considerado sostenible si conserva una base de recursos naturales y continúa satisfaciendo las necesidades del agricultor en el largo plazo. Cualquier sistema que fracase para satisfacer estos dos requisitos esta destinado a degradarse significativamente a corto plazo y es por lo tanto considerado no sostenible.

El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales [MESMIS] propone un enfoque interdisciplinario integrado para evaluar las sostenibilidad de los sistemas agrícolas (López-Redaura *et al.* 2002). El marco es aplicable dentro de los siguientes parámetros:

1. La sostenibilidad de los sistemas MRN es definida por ciertos atributos generales: productividad, estabilidad, viabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia.
2. La evaluación es solo válida para un sistema de manejo en un lugar geográfico dado, escala espacial (e.g. parcela, unidad de producción, comunidad, etc.) y en un periodo determinado de tiempo.
3. Es un proceso participativo que requiere un equipo de evaluación interdisciplinario. El equipo de evaluación usualmente incluye gente de afuera y participantes locales.
4. La sostenibilidad no es medida per se, pero es obtenida a través de la comparación de dos o mas sistemas. La comparación es hecha transversalmente (e.g. comparando un sistema alternativo y de referencia al mismo tiempo), o longitudinalmente (e.g. analizando la evolución de un mismo sistema a lo largo del tiempo).

Usando MESMIS, Lopez-Ridaura *et al.* (2002) definieron indicadores tales como independencia de insumos externos, producción de granos, adaptabilidad del sistema, autosuficiencia alimentaria, diversidad de especies, etc. Como se observa en la Figura 3, un diagrama tipo AMOEBA es usado para mostrar en términos cualitativos hasta donde el objetivo ha sido alcanzado para cada indicador dando el porcentaje del valor actual con respecto al valor ideal (valor de referencia). Esto permite una comparación simple pero exhaustiva de las ventajas y limitaciones de dos sistemas que están siendo evaluados y comparados, indicando los puntos débiles que necesitan mejoramiento.

Los indicadores también pueden ser agrupados de acuerdo a su relevancia con el estado del capital social, económico, y natural de cada sistema agrícola siendo

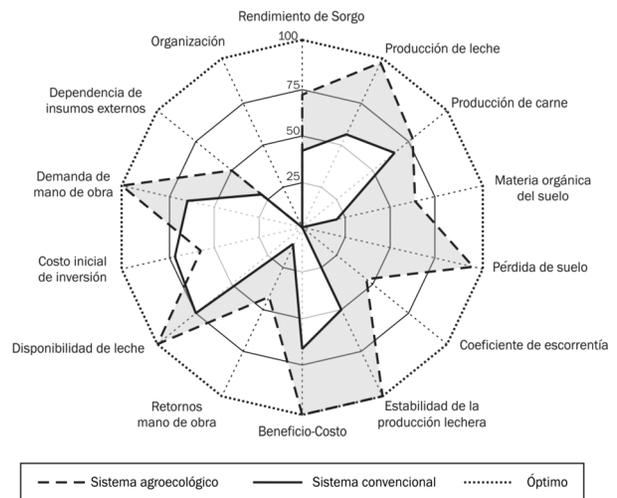


Figura 3. Un diagrama tipo AMOEBA con indicadores que comparan dos sistemas agrosilvopastoriles (Agroecológico versus Convencional) en México. Los indicadores se expresan en unidades óptimas y en % de óptimos derivados localmente (López Ridaura *et al.* 2002)

evaluado. La asimetría de la "amoeba" indica hasta que punto cada sistema agrícola carece de sostenibilidad o en que aspectos cada indicador débil. Un análisis de los puntos débiles puede conducir a sugerencias de intervenciones claves necesarias para mejorar el rendimiento de sistema. Comparando amoebas de varios sistemas agrícolas, resultados de un lugar pueden ser transferidos a otro. También reconstruyendo las amoebas en cada finca, cada año después de intervenciones agroecológicas, se puede observar si algún progreso se ha logrado a favor o en contra de la sostenibilidad.

Definiendo umbrales de performancia en una Agricultura Verde

La mayoría de los científicos y promotores de la agricultura verde están de acuerdo con la necesidad de diseñar un agricultura que respete los límites de los recursos naturales locales/regionales, incluyendo la capacidad de proveer servicios ecológicos (Pretty *et al.* 2010). Por esta razón, es importante identificar tales límites antes de alcanzar los *tipping points* (puntos de inflexion) que conducen a consecuencias potencialmente de largo plazo y/o irreversibles. Un rango deseado de valores para un grupo de indicadores seleccionados debe ser mantenido para el funcionamiento normal del agroecosistema. Dentro de este rango crítico, el agroecosistema debe desempeñar sus múltiples funciones. Dadas las complejidades de llegar a valores de parámetros críticos y el hecho que los indicadores interactúan unos con otros (el valor de uno es afectado por uno o mas parámetros seleccionados), tal vez, lo mejor que se puede hacer es desarrollar un grupo de pautas que pueden ayudar a poner límites para situaciones de cultivos/ medioambiente definidas.

Como se planteaba arriba, mientras que existen numerosos indicadores de sostenibilidad, muy pocos de ellos sugieren y monitorean el fenómeno umbral. Los umbrales pueden ser definidos como transiciones no lineales en el funcionamiento de sistemas manejados por humanos, tales como epidemias de enfermedades de cultivos que ocurren en áreas grandes causadas por intervenciones antropogénicas (i.e. plantando monocultivos de gran escala con una base genética estrecha: Carpenter *et al.* 2001). Algunos procesos de los ecosistemas no están asociados con umbrales conocidos al nivel de campo o paisaje, pero pueden a través del deterioro continuo de funciones ecológicas claves (tales como pérdida de biodiversidad benéfica), causar colapsos funcionales, generando reacciones que provocan o aumentan la probabilidad de alcanzar umbrales en otros procesos tales como la pérdida de regulación de plagas o la fertilidad del suelo biológicamente mediada.

Aludiendo al concepto de fronteras planetarias desarrollado por Rockstrom *et al.* (2009), puede ser posible establecer valores de varias variables de control a una distancia "segura" de un nivel peligroso. Determinar una distancia segura involucra juicios normativos de cómo científicos y agricultores deciden lidiar con riesgos e incertidumbre en la agricultura. Ciertas fronteras ya han sido transgredidas en la agricultura (i.e. resistencia de pesticidas por más de 500 especies de artrópodos, rápida disminución de polinizadores de cultivos, etc.). Un problema es que las fronteras son interdependientes, porque transgrediendo una puede cambiar la posición de otras fronteras o causar que otras sean transgredidas. Los impactos sociales y ecológicos de transgredir fronteras será una función de la resiliencia de las sociedades rurales y urbanas afectadas. Walker y Meyers (2004) describen una base de datos evolutiva que se enfoca en sistemas ecológicos y sociales conectados, en particular aquellos que exhiben umbrales en relación al uso de ecosistemas en el manejo de recursos naturales. En la caracterización de los ejemplos, énfasis es puesto en describir el umbral: las variables en las que el umbral

ocurre, las variables que fluctúan como una consecuencia del cambio, y los factores que han impulsado el cambio.

Una de las pocas metodologías disponibles que especifica umbrales para indicadores escogidos es la descrita por Gómez *et al.* 1996. Usando niveles de umbrales (el valor mínimo de un indicador sobre el cual comienza una tendencia hacia la sostenibilidad), los autores usaron la producción, ingresos y estabilidad (frecuencia de desastres) como los indicadores de satisfacción de los agricultores, mientras la profundidad del suelo, capacidad de retención de agua, balance de nutrientes, contenido de materia orgánica, cubierta de suelos, y la diversidad biológica fueron usados como indicadores de conservación de recursos. De acuerdo a estos investigadores, un indicador se dice que está a un nivel sostenible si sobrepasa un nivel designado de cada umbral; los umbrales son establecidos provisoriamente, basados en las condiciones locales promedio. La tabla 3 muestra valores derivados de una evaluación de 10 fincas en Cebu, Filipinas. Los valores individuales de cada finca para un indicador son comparados al umbral, donde alcanzando el umbral de un indicador recibe un puntaje de uno. Sólo las fincas que exhiben una clasificación promedio de más de 1.0 para la satisfacción del agricultor y conservación de recursos son consideradas sostenibles. Así en la Finca 5, la frecuencia del fracaso de los cultivos está por debajo del umbral, pero la producción e ingresos son lo suficientemente altos para compensar esta diferencia. Sin embargo, esta capacidad para compensar es permisible sólo entre los indicadores del mismo índice (i.e., dentro de la satisfacción del agricultor) pero no a través de otros índices. Así, el exceso de producción o ingresos no puede compensar las deficiencias en profundidad del suelo y materia orgánica.

Un test Litmus para una Agricultora Verde

Como se explica mas arriba, la idea es identificar un grupo de umbrales que cualquier estrategia de produc-

Tabla 3. Indicadores umbrales de sostenibilidad para 10 fincas en Cebu, Filipinas. Se requiere un promedio >1,0 para satisfacción del agricultor y la conservación de recursos para considerarse sustentable (Gómez et al 1996).

Finca Nº	Satisfacción del agricultor				Conservación de recursos				Índice de sostenibilidad
	Rendimiento	Ingreso	Fracaso del cultivo	Índice	Profundidad	Materia orgánica	Cobertura de suelo	Índice	
1	1,18	1,40	1,33	1,30	1,69	1,65	1,66	1,66	1,48
2	0,89	0,90	1,00	0,93	1,15	0,49	0,93	0,85	NS
3	0,89	1,08	1,00	0,99	1,25	0,68	1,13	1,02	NS
4	1,26	1,37	0,66	1,10	0,54	0,57	0,93	0,68	NS
5	0,09	1,13	0,80	1,01	1,24	1,18	1,07	1,16	1,08
6	1,01	1,26	0,80	1,02	1,01	0,75	0,93	0,89	NS
7	0,55	0,21	1,00	0,59	0,68	1,51	0,47	0,88	NS
8	0,32	0,16	1,33	0,60	0,39	0,77	0,00	0,38	NS
9	0,61	0,64	1,00	0,75	1,44	1,64	0,00	1,02	NS
10	0,51	0,18	1,33	0,67	0,61	0,77	0,07	0,48	NS

ción agrícola debe cumplir mas allá de la cual tendencias no sostenibles causadas por los sistemas agrícolas y tecnologías asociadas llevaría a un fenómeno *tipping point*. Por ejemplo, podría decirse que los cultivos transgenicos pueden mejorar la productividad y reducir las cargas agroquímicas, pero la pregunta es si acaso puede hacerlo emitiendo menos GHGs, no erosionar los suelos o reducir la diversidad genética, etc., dentro de rangos de valores de umbrales permitidos? Otros pueden argumentar que mientras la agricultura orgánica puede conservar la biodiversidad y los recursos naturales y tender a ser carbón neutro, puede que no rinda lo suficiente para producir una fuente abundante de alimentos. Cálculos aproximados de las consecuencias económicas, sociales, ecológicas de trasgresión de un umbral, sugeriría que la estrategia agrícola no deber ser desplegada y forzaría a los agricultores, organización o empresa que promueve la estrategia a refinar el sistema o tecnología de producción de tal modo que cuando es desplegada sus impactos permanecen dentro de los límites aceptables de los umbrales. Un enfoque evaluativo basado en umbrales puede a) dar una alerta avanzada de daños inminentes o pérdidas en salud de un sistema socio-ecológico antes de que un umbral sea sobrepasado, b) monitorear cambios del sistema una vez que la tecnología es desplegada y c) sugerir alternativas de cómo las tecnologías lanzadas pueden permanecer dentro de los umbrales establecidos.

Como se representa en la Figura 4, para que una estrategia agrícola pueda caer dentro del criterio de un agricultura verde, debe contener los requisitos básicos de un sistema agrícola viable y duradero capaz de afrontar los desafíos del siglo XXI, mientras sus objetivos de producción son logrados dentro de ciertos límites en términos de impacto ambiental, niveles de degradación de la tierra, uso de insumos y energía, emisiones GHG, etc. Los

umbrales definidos son específicos al lugar o región, por lo que sus valores cambian de acuerdo a las condiciones ambientales y socio-económicas prevalecientes. En la misma región, el rango de los valores de los umbrales puede ser el mismo para un sistema intensivo de gran escala que para un sistema de bajo insumo de escala pequeña, ya que la producción será medida por unidad de GHG emitido, por unidad de energía o agua usada, por unidad de N perdido, etc. Los sistemas que sobrepasan lo niveles de umbrales no serán considerados sostenibles y por lo tanto requerirán modificaciones. La mayoría de la incertidumbre en la cuantificación de umbrales se debe a la carencia de conocimientos científicos sobre la naturaleza de los umbrales biofísicos, la incertidumbre intrínseca de cómo los sistemas complejos actúan, las maneras en que otros procesos biofísicos tales como mecanismos de retroalimentación interactúan con la variable de control principal, e incertidumbre con respecto al tiempo permitido de desborde de una variable de control crítica en el sistema antes que un umbral es cruzado (Rockstrom *et al.* 2009). Esto genera una zona de incertidumbre alrededor de cada umbral propuesto. No hay duda que los umbrales propuestos puede que sean primeramente cálculos aproximados, rodeados de grandes incertidumbres y lagunas en el conocimiento. Llenar estas lagunas requerirá de mayores avances en la agroecología y ciencia de la resiliencia aplicados a nivel local para captar las especificaciones de cada región.

Los umbrales pueden también ser establecidos examinando si las tecnologías propuestas o los sistemas agrícolas pueden alcanzar los requisitos básicos de soberanía alimentaria, energética y tecnológica. La soberanía alimentaria es un derecho de todos para tener acceso a alimentos seguros, nutritivos y culturalmente apropiados en la cantidad y calidad suficiente para preservar una vida saludable y humanamente digna. Simi-

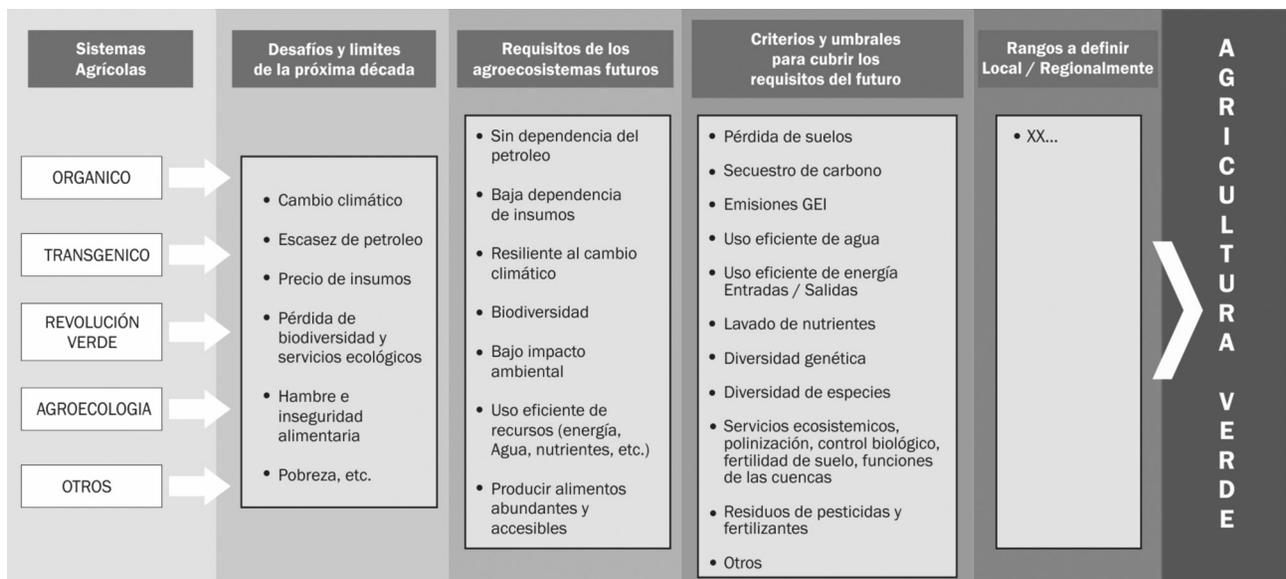


Figura 4. Requisitos básicos para un agroecosistema viable y durable capaz de producir bajo escenarios del siglo 21 y de mantener su producción dentro de ciertos umbrales establecidos local o regionalmente.

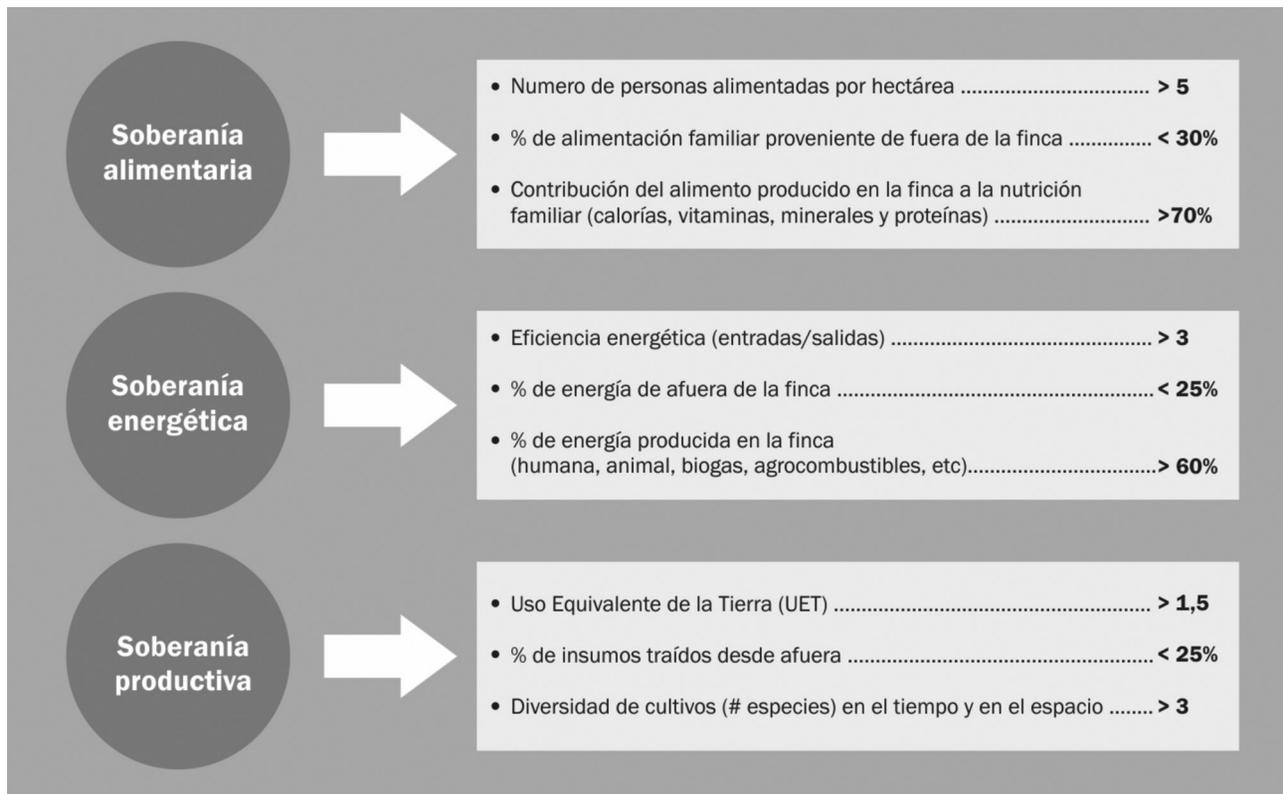


Figura 5. Valores límite hipotéticos establecidos para cada tipo de soberanía en una comunidad agrícola.

larmente, la soberanía energética es el derecho de toda la gente para tener acceso a energía suficiente dentro de los límites ecológicos de fuentes sostenibles apropiadas para una vida digna. La soberanía tecnológica se refiere a la capacidad de manejo para lograr las dos otras formas de soberanía, promoviendo servicios ambientales derivados de la agrobiodiversidad existente y usando recursos disponibles localmente. Una familia, comunidad o región puede considerarse soberana si cumple con los niveles de umbrales establecidos de una manera participativa para cada tipo de soberanía como es ilustrado por un ejemplo hipotético (Fig. 5). Llegar a valores acordados por todas las partes interesadas puede ser difícil, y los valores variarán de comunidad a comunidad. Sin embargo, el método provee un marco para que las comunidades rurales puedan determinar los valores mínimos para la producción de alimentos, conservación de la biodiversidad, eficiencia energética, etc., permitiéndoles así evaluar si están o no avanzando hacia un estado básico de soberanía de alimentos, energía y tecnología.

Existe una necesidad urgente para evaluar en que forma una sociedad esta aumentando la producción agrícola mientras que simultáneamente conserva los servicios ecosistémicos en una era de cambio climático, costos de energía e inestabilidad económica. Hay una serie de herramientas analíticas propuestas para definir y calcular indicadores agrícolas, ambientales, económicos y sociales así como los umbrales. El desafío es llegar a un consenso en el conjunto de métricas y mecanismos

institucionales a ser utilizados en la auditoría de varios sistemas de producción y/o tecnologías siendo propuestas o desplegadas por organizaciones internacionales y nacionales (privadas o públicas). Cualquiera que sean los mecanismos acordados, sólo aquellos estilos de agricultura que cumplen con el criterio establecido de umbrales y que avanzan las comunidades hacia la soberanía alimentarias, energética y tecnológica serían entonces considerados como un sistema de Agricultura Verde de base agroecológica. Tales sistemas deben ser escalonados dadas sus capacidades para producir suficientes alimentos mientras proveen servicios ecosistémicos dentro de las limitaciones climáticas, energéticas, ecológicas y económicas de las próximas dos décadas.

Referencias

- Altieri MA. 2002. Agroecology: The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93.
- Altieri, M.A., 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Haworth Press.
- Carpenter SR, Walker B, Anderies JM, Abel N. 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4: 765–781.

- Castoldi, N, Bechini L. 2010. Integrated sustainability assessment of cropping systems with agroecological and economic indicators in northern Italy. *European Journal of Agronomy* 32: 59-72
- Conservation International. 2011. Synthesis Report: workshop on global monitoring of agriculture, ecosystem services and livelihoods. Seattle: Bill and Melinda Gates Foundation.
- de Schutter O. 2010. Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food. Un General Assembly. Human Rights Council Sixteenth Session, Agenda item 3 A/HRC/16/49.
- Dos Santos LCR, Mayer PH. 2007. A experiencia de Rede Ecvovida no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2: 17-26
- Gliessman SR. 1998. *Agroecology: ecological process in sustainable agriculture*. Michigan: Ann Arbor Press.
- Global Bioenergy Partnership. 2010. Bioenergy and food security. On <http://www.globalbioenergy.org/bioenergyinfo/bioenergy-and-food-security/en/>
- Godfray C, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson L, Toulmin SM. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812-818.
- Gomez AA, Swete DE, Syers JK, Coughlan KJ. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. En *Methods for Assessing Soil Quality SSSA. Special Pub. 49*, Madison, Wisconsin.
- Hansen JW, Jones JW. 1996 A systems framework for characterizing farm sustainability. *Agricultural Systems* 51: 185-201.
- Harrington LW. 1992. Measuring sustainability: issues and alternatives. *Journal for Farming Systems Research-Extension* 3: 1-20.
- Holt-Gimenez E, Patel R. 2009. *Food rebellions: the real story of the world food crisis and what we can do about it*. Fahumu Books and Grassroots International. Oxford, UK.
- IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development). 2009. *Agriculture at a Crossroads*. En International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development Global report, Island Press, Washington, D.C.
- Leonardo Academy. 2007. Sustainable Agriculture Practice Standard for Food, Fiber and Biofuel Crop Producers and Agricultural Product Handlers and Processors. On <http://www.leonardoacademy.org/programs/standards/agstandard.html>
- Lopez-Ridaura S, Masera O, Astier M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems: The Mesmis framework. *Ecological Indicators* 2: 135-148.
- NRC (National Research Council). 2010. *Toward Sustainable Agricultural Systems in the 21st century*. National Research Council Report, The National Academies, Washington D.C.
- Perfecto I, Vandermeer J, Wright A. 2009. *Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty*. London: Earthscan.
- Pretty J, Sutherland WJ, Ashby J, Auburn J, Baulcombe D, Bell M, Bentley J, Bickersteth S, Brown K, Burke J, Campbell H, Chen K, Crowley E, Crute I, Dobbelaere D, Edwards-Jones G, Funes-Monzote F, Godfray HCJ, Griffon M, Gypmantisiri P, Haddad L, Halavatau S, Herren H, Holderness M, Izac am, Jones M, Koohafkan P, Lal R, Lang T, McNeely J, Mueller A, Nisbett N, Noble A, Pingali P, Pinto Y, Rabbinge R, Ravindranath NH, Rola Z, Roling N, Sage C, Settle W, Sha JM, Shiming L, Simons T, Smith P, Strzepeck K, Swaine H, Terry E, Tomich TP, Toulmin C, Trigo E, Twomlow S, Vis JK, Wilson J, Pilgrim S. 2010. Top 100 agricultural questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of ASgricultural Sustainability* 8: 219-236
- Pretty J, Smith G, Goulding KWT, Groves SJ, Henderson I, Hine RE, King V, van Oostrum J, Pendlington DJ, Vis JK, Walter C. 2008a. Multi-year assessment of Unilever's progress towards agricultural sustainability I: indicators, methodology and pilot farm results. *International Journal of Agricultural Sustainability* 6: 37-62
- Pretty J, Smith G, Goulding KWT, Groves SJ, Henderson I, Hine RE, King V, van Oostrum J, Pendlington DJ, Vis JK, Walter C. 2008b. Multi-year assessment of Unilever's progress towards agricultural sustainability II: outcomes for peas (UK), spinach (Germany, Italy), tomatoes (Australia, Brazil, Greece, USA), tea (Kenya, Tanzania, India) and oil palm (Ghana). *International Journal of Agricultural Sustainability* 6: 63-68
- Rainforest Alliance. 2007. *Our work in sustainable agriculture*. On <http://www.rainforest-alliance.org/work/agriculture>.
- Rigby D, Woodhosue P, Trevor Y, Burton M. 2001 Constructing a farm level indicator of sustainable agriculture practice. *Ecological Economics* 39: 463-478.
- Rockstrom J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Stuart Chapin III F, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley JA. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Rosenzweig C, Hillel D. 2008 *Climate change and the global harvest: impacts of El Nino and other oscillations on agroecosystems*. New York: Oxford University Press.

- Royal Society 2009 Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. RS Policy Document 11/09. The Royal Society, London.
- Scoones I. 2008. Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. IDS Working Paper 72. Institute of Development Studies, Brighton.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production. *Practices. Nature* 418: 671-677.
- Toledo VM, Barrera-Bassals N. 2009. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Barcelona: ICARIA.
- UK Food Group. 2010. Securing future food: toward ecological food provision. UK Food Group Briefing, London.
- Uphoff N. 2002. *Agroecological Innovations: Increasing Food Production with Participatory Development*. London: Earthscan.
- Van der Ploeg JD. 2009. *The new peasantries: new struggles for autonomy and sustainability in an era of empire and globalization*. Earthscan, London.
- Van der Werf HGM, Petit J. 2002. Evaluation of environmental impacts of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 131-145.
- Walker B, Meyers JA. 2004. Thresholds in ecological and social-ecological systems: a developing database. *Ecology and Society* 9 (2): 3 (online) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art3>.