

LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A BASE DE MONOCULTIVOS A GRAN ESCALA EN AMÉRICA

Miguel A Altieri

Department of Environmental Science, Policy and Management, Division of Insect Biology, University of California, Berkeley, 137 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114. E-mail: agroeco3@nature.berkeley.edu

Resumen

Este artículo examina la expansión de los agrocombustibles en América y los impactos ecológicos asociados a las tecnologías usadas en la producción de monocultivos a gran escala de maíz y soya. Además de la deforestación y el desplazamiento de tierras dedicadas a alimentos debido a la expansión de los agrocombustibles, el uso masivo de cultivos transgénicos y la entrada de agroquímicos, principalmente de fertilizantes y herbicidas que se usan en la producción de los agrocombustibles, plantean graves problemas medioambientales.

Palabras claves: Biocombustibles, monocultivo, deforestación, impactos ecológicos.

Summary

The ecological impacts of large scale biofuel monocultures in the Americas

The paper examines the expansion of biofuels in the American continent and the ecological impacts of the agrochemical technologies linked to soybean and maize monocultures. In addition to deforestation and displacement of lands devoted to food production, the massive use of transgenic crops and agrochemicals (fertilizers and pesticides) used in the production of biofuels represent grave environmental risks.

Key words: Biofuels, monocultures, deforestation, ecological impacts.

Introducción

Varias corporaciones, gobiernos, instituciones científicas y algunas organizaciones ambientales están promocionando los agrocombustibles como una alternativa prometedora al petróleo afirmando que servirán como una alternativa que reemplazará al petróleo, mitigando el cambio climático, reduciendo las emisiones de gas de invernadero, mejorando los ingresos del agricultor y promoviendo el desarrollo rural (Demirbas 2009). Sin embargo, investigación y análisis rigurosos conducido por ecologistas y científicos sociales respetados sugieren que el auge industrial a gran escala de los agrocombustibles resulta ya ser desastroso para pequeños y medianos agricultores, el medioambiente, la biodiversidad y los consumidores, en particular los pobres (Bravo 2006).

Este artículo analiza las implicaciones ecológicas de los sistemas de producción de agrocombustibles, sosteniendo que al contrario de las falsas afirmaciones de las corporaciones que promueven estos "combustibles verdes," el cultivo masivo de maíz, caña de azúcar, soya, palma de aceite, y otras cosechas actualmente fomentadas por la industria de combustibles, no reducirá las

emisiones de gas de invernadero, sino que desplazará decenas de miles de agricultores, reducirá la seguridad alimentaria en muchos países, acelerará la deforestación y profundizará la huella ecológica de la agricultura industrial, causando una variedad de nuevos problemas económicos, ambientales, y sociales. La consolidación y el poder sin precedentes de una serie de corporaciones, las cuales aprovechan las débiles políticas nacionales que favorecen la expansión de los agrocombustibles, han puesto en marcha la expansión de un sistema de producción especializado que se basa en grandes granjas con monocultivos de cultivos manejados con niveles altos de agroquímicos, en especial de herbicidas y fertilizantes nitrogenados que cuando se aplican masivamente dejan como resultado consecuencias ambientales (Altieri y Bravo 2007). En regiones ya bajo estrés de agua, la producción de agrocombustibles puede disminuir posteriormente la futura disponibilidad de agua para la irrigación y otras opciones de desarrollo (Shattuck 2008).

Los agrocombustibles se están introduciendo en un mundo gobernado en gran parte por políticas neoliberales con reglas comerciales que tienen una tendencia fuerte contra la regulación y cualquier "restricción co-

mercial" para proteger el medioambiente, el clima o las comunidades. Qué cosechas se cultivan, cuánto, cómo y dónde se determina, en términos generales, por un mercado que favorece los agrocombustibles más baratos, es decir, la producción más alta de plantas tropicales, como la palma de aceite y la caña de azúcar. Los cultivos inferiores pueden capturar el mercado si los costos se mantienen bajos y los gobiernos garantizan un suministro ilimitado de tierras y subsidios nuevos. El biodiesel de soya y el etanol de maíz son ejemplos fundamentales (Shapouri y McAloon 2004). Los bosques, la biodiversidad, el suelo sano, el agua limpia, y las emisiones de gas de invernadero permanecen como "externalidades" en los reportes, que inevitablemente se están sacrificando por verdaderas ganancias rápidas. A pesar de que en algunos países, como Argentina, Brasil y los Estados Unidos, el modelo de producción de los agrocombustibles parece tener éxito a un nivel macroeconómico, los impactos ambientales asociados a la producción de los agrocombustibles se acumulan en porcentajes alarmantes y no se reflejan en los indicadores económicos. Hasta ahora no hay ningún sistema claro para cuantificar los costos ambientales de estos nuevos modelos de desarrollo.

Los agrocombustibles: Extensión, expansión y niveles de producción

Mientras los Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea daban cuenta del 75% de la producción global de biocombustibles en 2006, ésta se está expandiendo con rapidez a otras partes del mundo alcanzando aproximadamente el 3 % del área agrícola cosechada a nivel mundial, que era alrededor de 850 millones de hectáreas en 2005 (Scharlemann y Laurance 2008).

El área global cultivada con cosechas transgénicas alcanzó 114.3 millones de hectáreas en 2007, con la mayoría del maíz y soya transgénicos usados para la producción de biocombustible. Del área global, el 57% (58.6 millones de hectáreas) está dedicado a la soya Roundup Ready (RR). Sólo En Brasil, aproximadamente 750.000 ha de soya RR se usaron en 2007 para la producción de biodiesel. En Argentina en el 2007/2008, 16.0 millones de hectáreas se usaron para cultivar soya biotecnológica y 2.8 millones de hectáreas se usaron para cultivar el maíz transgénico (James 2007). Los investigadores están manipulando genéticamente variedades de caña de azúcar y de maíz que contienen la enzima alfa-amilasa, que facilitaría la elaboración de etanol.

1. Producción de etanol

Desde el año 2000 ha habido un crecimiento exponencial del sector de los biocombustibles. Sólo entre 2004 y 2005, la producción global de etanol subió casi el 13%, de 10.77 mil millones de galones a 12.15 mil millones de galones; entre 2005 y 2006 hubo un aumento

adicional del 11% a 13.49 mil millones de galones. Se espera que el etanol derivado del maíz constituya el 99% de todo el biocombustible usado en los Estados Unidos y que su producción exceda los objetivos para el 2012 de 7,5 mil millones de galones por año (Pimentel 2003). En los Estados Unidos la cantidad de maíz que se cultiva para producir etanol en las destilerías se ha triplicado, de 18 millones de toneladas en 2001 a 55 millones de toneladas en 2006 (Bravo 2006). El área cultivada de maíz en los Estados Unidos aumentó de 78 millones de acres en 2006 a 92 millones de acres en 2007.

Brasil ha producido azúcar para combustible de etanol desde 1975. A partir del 2005, había 313 plantas procesadoras de etanol, con una capacidad de producción de 16 millones de metros cúbicos. Brasil es el productor más grande de caña de azúcar en el mundo y produce el 60 % del etanol de azúcar total del mundo con la caña cultivada en 3 millones de hectáreas (Jason 2004). En 2005, la producción alcanzó un record de 16.5 mil millones de litros, de los cuales 2 mil millones de litros se destinaron para la exportación.

Dedicando toda la producción actual de maíz y soya estadounidense a los biocombustibles supliría sólo el 12% de las necesidades de gasolina del país. El área de tierra agrícola de los Estados Unidos suma 625.000 acres cuadrados. Con los porcentajes actuales, satisfacer la demanda de aceite de los biocombustibles requeriría 1.4 millón de millas cuadradas de maíz para etanol. Dakota del Sur e Iowa ya dedican más del 50% de su maíz a la producción de etanol, lo cual ha llevado a la disminución del suministro de maíz para la alimentación de los animales y del consumo humano. Aunque una quinta parte del maíz estadounidense cosechado se dedicó a la producción de etanol en 2006, sólo satisfizo el 3% del total de las necesidades de combustible de los Estados Unidos (Pimentel y Patzek 2005).

2. Biodiesel

La producción de biocombustibles también está aumentando. En el 2006, el biocombustible dio cuenta del 12.35% de la producción global de biocombustibles, es decir 15.39 mil millones de galones. Los principales países productores de biodiesel (explicando al menos el 10% del área de tierra global destinado a los biocombustibles) son China, India y Canadá para la colza; la Federación Rusa, Ucrania e India para la semilla de girasol; Malasia, Indonesia, Colombia y Nigeria para palma de aceite; y los Estados Unidos, Brasil, Argentina y China para la soya. Actualmente, más del 95% de la materia prima para el biodiesel lo suministra la colza (el 84%), la semilla del girasol (13%), la palma africana (1%), y la soya (1%). Incluso si la mitad de la producción agrícola de estas principales materias primas fueran dedicadas a la producción de biodiesel (el área actual de tierra global con cultivos para el biodiesel –150.6 millones de hectáreas– con una capacidad de producción eficaz de

biodiesel de 120 millones de toneladas/año), aún satisfaría aproximadamente menos del 60% –156.7 millones de toneladas/año– de la capacidad requerida para 2050 (Pahl 2008).

En los Estados Unidos, la producción de biodiesel se triplicó de 25 millones de galones en 2004 a 75 millones de galones en 2005. En 2006, los Estados Unidos produjeron 250 millones de galones de biodiesel, un aumento de 10 veces desde el 2004. Alrededor de 67 nuevas refinerías están en construcción, con inversiones de gigantes de la agroindustria como ADM y Cargill. Alrededor del 1.5% de la cosecha de soya produce 68 millones de galones de biodiesel, equivalente a menos del 0.1% del consumo de gasolina. Por lo tanto, si toda la cosecha de soya se dedicara a la producción de biodiesel, abastecería sólo el 6% de las necesidades nacionales de diesel; se requerirían casi 8.8 millones de millas cuadradas de soya para la autosuficiencia de biodiesel, más de 8 veces la tierra arable de Estados Unidos (Pimentel y Patzek 2005). Puesto que los Estados Unidos no será capaz de producir localmente suficiente biomasa de biocombustibles para satisfacer su apetito de energía, están aumentando el área bajo cultivos de energéticos en el hemisferio sur. Grandes plantaciones de caña de azúcar, palma de aceite y soya reemplazan ya bosques, prados y cosechas de comida en Brasil, Argentina, Colombia, Ecuador y Paraguay.

Impactos ecológicos del modelo de producción de agrocombustibles

1. Deforestación y pérdida del hábitat

Los aumentos de la demanda de biocombustibles en los Estados Unidos y la Unión Europea tienen un impacto profundo en el modelo de producción agrícola y el uso de tierra global, poniendo en peligro las tierras forestales de los países en vía de desarrollo. Aumentar la producción de agrocombustibles para cumplir con las exigencias de energía de los países industrializados, implica un aumento sustancial de la extensión de los cultivos energéticos, lo cual llevará a conflictos potenciales relacionados al uso de la tierra, en especial con la necesidad de conservar hábitats naturales restantes en el mundo (Donald 2004). Cálculos conservadores sugieren que, usando los cultivos con valores de energía netos más altos, se requeriría un mínimo de 2.5 a 27.5 veces de la tierra global potencialmente cultivable para producir suficiente biocombustible para satisfacer las demandas globales de combustible fósil. Obviamente esto podría afectar dramáticamente el medioambiente al aumentar la pérdida y la fragmentación del hábitat, disminuyendo la biodiversidad e impactando la calidad del suelo y disponibilidad del agua de manera negativa (Jason 2004).

Cálculos conservadores sugieren que el escenario de la producción biodiesel basada en la soya para satisfacer la futura demanda global de biodiesel causaría

probablemente la mayor pérdida de hábitat (76.4-114.2 millones de hectáreas) comparado con escenarios alternativos de producción de biodiesel con semilla de girasol (56.0-61.1 millones de hectáreas), de colza (25.9-34.9 millones de hectáreas) y palma de aceite (0.4-5.4 millones de hectáreas). Brasil es un buen ejemplo, donde el total de tierra para la producción de soya aumentó el 3.2 % por año (320.000 ha por año). Hoy en día la soya, junto con la caña de azúcar, ocupa el área más grande de cualquier cultivo en Brasil, el 21% del total de la tierra cultivada. El total de tierra utilizada para los cultivos de soya ha aumentado por un factor de 57 desde 1961, y el volumen de la producción se ha multiplicado 138 veces. El cincuenta y cinco por ciento de la cosecha de soya, o 11.4 millones de hectáreas, es genéticamente modificada. Brasil tendría que aumentar su producción en unos 135 mil millones de litros adicionales por año, y se espera que la agricultura basada en agrocombustibles se expanda a las tierras forestales (Morton *et al.* 2006). El área sembrada se amplía rápidamente en la región del Cerrado, cuya superficie de vegetación natural se espera que haya desaparecido para el 2030. El sesenta por ciento de las tierras donde se cultiva caña de azúcar son manejadas por 340 grandes destilerías que controlan más del 60% del área cultivada de caña de azúcar (Klink y Machado 2005).

Considerando el nuevo contexto de energía global, los políticos e industriales brasileños han formulado una nueva visión para el futuro económico del país, enfocado a la producción de fuentes de energía (principalmente la caña de azúcar) para desplazar el 10 % del uso mundial de gasolina en los próximos 20 años. Esto requeriría quintuplicar el área de tierra dedicada a la producción de azúcar, de 6 a 30 millones de hectáreas. Los nuevos cultivos inducirán una deforestación en nuevas áreas comparable con la deforestación de la región de Pernambuco, donde permanece sólo el 2.5 % de la superficie forestal original (Fearnside 2001). En Paraguay, los cultivos de soya ocupan más del 25% de toda la tierra agrícola. Esta expansión ha sido acompañada por una intensa deforestación: por ejemplo, la mayor parte del bosque Atlántico de Paraguay se ha limpiado, en parte para la producción de soya que comprende el 29 % del uso de la tierra agrícola del país (Altieri y Penque 2006).

En los 9 años pasados, según cifras oficiales, 2.5 millones de hectáreas de bosques nativos se han perdido, especialmente al norte de Argentina, debido a la expansión de la soya, un equivalente en 2007, a un promedio de unas 821 ha de bosque perdido por día. Entre 1972 y 2001, 588.900 ha (aproximadamente el 20 % de los bosques) se deforestaron en el semiárido del Chaco. Después de 1997 la deforestación se ha acelerado, alcanzando >28.000 ha/año. La deforestación inicial tuvo que ver con la cultivación de frijol negro después del aumento de lluvias durante la década de 1970. En la década

da de 1980, los altos precios de la soya estimularon una deforestación posterior. Finalmente, la introducción de soya transgénica en 1997 redujo los costos de siembra y estimuló un aumento adicional en la deforestación, alcanzando niveles de más que 300.000 ha (Grau *et al.* 2005).

2. La huella ecológica de maíz

La escala de producción que se necesita para producir la biomasa proyectada para el etanol, estimula métodos industriales de producción de monocultivos de maíz que dependen del uso intenso de herbicidas y fertilizantes químicos nitrogenados, con drásticos efectos ambientales secundarios. La producción de maíz lleva a más erosión del suelo que cualquier otra cosecha estadounidense. Cuando el uso del etanol hace subir más los precios del maíz, los agricultores abandonan cada vez más la tradicional rotación de maíz y soya, animando a los agricultores a sembrar maíz año tras año. Una intensificación que promueve la erosión del suelo, pero también la demanda de fertilizantes y pesticidas (Pimentel *et al.* 1995).

A lo largo del medio oeste, el promedio de erosión del suelo aumentó de 2.7 toneladas por acre anualmente a 19.7 toneladas en tierras que abandonaron las rotaciones de cultivos (Pimentel y otros, 1995). La carencia de la rotación de cultivos también ha aumentado la vulnerabilidad a plagas y, por lo tanto, requiere dosis más altas de pesticidas que la mayoría de los cultivos en los Estados Unidos, aproximadamente el 41 % de todos los herbicidas y el 17 % de todos los insecticidas se aplican al maíz (Pimentel y Lehman 1993). La especialización en la producción de maíz puede ser peligrosa: a principios de 1970, cuando los híbridos uniformes de maíz de alto rendimiento constituían el 70% de todo el maíz cultivado, una enfermedad foliar que afectó a estos híbridos llevó a una pérdida del 15 % en las producciones de maíz a lo largo de la década. Puede esperarse que esta clase de vulnerabilidad de las cosechas se dé en nuestro clima cada vez más cambiante, causando un efecto dominó en todo el suministro de alimentos (Cassman 2007).

El cultivo de maíz generalmente implica el uso del herbicida atrazina, un conocido disruptor endocrino. Dosis bajas de disruptores endocrinos pueden causar daño en el desarrollo interfiriendo con los activadores hormonales en puntos claves del desarrollo de un organismo. Los estudios muestran que la atrazina puede causar anomalías sexuales en poblaciones de ranas, incluso el hermafroditismo (Hayes *et al.* 2002).

El maíz requiere grandes cantidades de fertilizantes químicos nitrogenados, que llevan a la contaminación del agua superficial y subterránea. Los fertilizantes lixiviados que viajan por el Río Misisipí han disminuido el oxígeno de una parte del Golfo de México llamada la zona muerta, que hace pocos años alcanzó el tamaño de Nueva Jersey. Los porcentajes medianos de aplicación del nitrato en tierras de labranza estadounidenses oscilan de 120 a 550

kilogramos de nitrógeno por hectárea. Los residuos cargados de nitrógeno son el resultado del uso ineficiente de fertilizantes de nitrógeno en los cultivos que alcanzan el agua superficial y el agua subterránea. La contaminación de acuíferos por nitratos es bastante extensa, y a niveles peligrosamente altos, en muchas regiones rurales. En los Estados Unidos, se considera que más del 25 % de los pozos de agua potable contiene niveles de nitrato por encima del estándar de seguridad de 45 partes por millón (Conway y Pretty 1991). Altos niveles de nitrato son peligrosos para la salud humana, y estudios han relacionado el consumo de nitrato a la metahemoglobinemia en los niños y a cáncer gástrico, de vejiga y de esófago en adultos (Altieri 2007).

Los fertilizantes sintéticos de nitrógeno también pueden convertirse en contaminadores del aire y han estado implicados recientemente al contribuir al calentamiento global y a la destrucción de la capa de ozono. El N₂O es liberado a la atmósfera por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, y tiene casi 300 veces el potencial de calentamiento global que una misma masa de CO₂. Para el biodiesel de colza, un análisis disponible indica que el calentamiento global por N₂O es en promedio de 1.0 a 1.7 veces más grande que el efecto de enfriamiento debido a la emisión de "CO₂ fósil liberado", excluyendo el ingreso de energía fósil (Searchinger *et al.* 2008).

El excesivo uso de fertilizantes químicos nitrogenados puede llevar a desequilibrios alimenticios en plantas, dando como resultado una frecuencia más alta del daño por parte de parásitos y enfermedades de insectos (Conway y Pretty 1991, McGuinness, 1993). Al revisar 50 años de investigación relacionada con la nutrición de las cosechas y el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 estudios que demuestran el daño incrementado y/o el crecimiento de insectos que se comen las hojas, o ácaros en cosechas fertilizadas con nitrógeno, contra menos de 50 estudios en los cuales el perjuicio herbívoro se redujo por medio de regímenes normales de fertilización. En total, estos resultados sugieren una hipótesis con implicaciones para los modelos de uso de fertilizantes en la agricultura, a saber: que los ingresos altos en nitrógeno pueden precipitar niveles altos del perjuicio herbívoro en las cosechas.

El auge del etanol ha elevado vertiginosamente la demanda de agua. La expansión del maíz en áreas más secas, como Kansas, requiere irrigación, aumentando la presión en las fuentes subterráneas ya disminuidas, como el acuífero Ogallala al Suroeste de los Estados Unidos. En partes de Arizona, el agua subterránea se está bombeando ya a un ritmo de 10 veces del ritmo de recarga natural de estos acuíferos (Pimentel *et al.* 1997).

3. Impactos ambientales de los cultivos de soya

Altos índices de erosión acompañan la producción de soya, sobre todo en áreas donde no se implemen-

tan ciclos largos de rotación de cultivos. La pérdida de la superficie del suelo tiene un promedio de 16 toneladas por hectárea en soya en el oeste medio de los Estados Unidos. Se considera que la pérdida de suelo de Argentina y Brasil promedia entre 19 y 30 toneladas por hectárea, dependiendo de las prácticas de manejo, clima y pendiente. Las variedades de soya tolerantes a herbicidas han aumentado la viabilidad de la producción de soya para agricultores, muchos de los cuales empezaron a cultivar en tierras frágiles propensas a la erosión (Jason 2004).

En Argentina, el cultivo intensivo de soya ha llevado a la reducción masiva de nutrientes del suelo. Se considera que la continua producción de soya ha causado la pérdida de 1 millón de toneladas métricas del nitrógeno y 227.000 toneladas métricas de fósforo de los suelos a escala nacional. El costo para reabastecer esta pérdida nutritiva con fertilizantes se estima en \$910 millones de dólares. El aumento de nitrógeno y fósforo en varias cuencas de ríos de Latinoamérica está seguramente ligado al aumento de la producción de soya (Pengue 2005).

La producción de monocultivos de soya en la cuenca del Amazonas ha dejado gran parte del suelo estéril. Los suelos pobres requieren que se incremente la aplicación de fertilizantes industriales para lograr niveles competitivos de producción. En Bolivia, la producción de soya se está expandiendo hacia el este, y las áreas del este ya sufren de suelos compactados y degradados. Cien mil hectáreas de tierras de soya agotadas han sido dejadas al pasto para ganado, lo cual lleva a la degradación adicional del suelo (Fearnside 2001).

La mayoría de la soya de los Estados Unidos es transgénica, creada por Monsanto para que resista su propio herbicida, el Roundup, (30.3 millones de hectáreas de soya RR se cultivaron en el 2006, más del 70% de la cosecha doméstica). En Brasil, se sembraron 14.5 millones de hectáreas de soya RR en 2007 (James 2007). La dependencia de la soya resistente al herbicida lleva a un incremento de los problemas de resistencia de malezas y la pérdida de la vegetación natural. La presión industrial impuesta, aumenta el uso de herbicidas, incrementando las cantidades de tierra que serán tratadas con glifosato. Ya se ha registrado la resistencia al glifosato en poblaciones australianas de raigrás, agropiro, cuernecillo y *Cirsium arvense*. En Iowa, las poblaciones de la maleza *Amaranthus rudis* muestra señales de retraso en la germinación que le permite adaptarse mejor a aspersiones tempranas, la maleza velvetleaf demostró tolerancia al glifosato, y en Delaware se documentó la presencia de resistencia al RR en la maleza horseweed. Incluso en áreas donde la resistencia de maleza no se había observado, los científicos han notado aumentos de la presencia de especies de malezas más fuertes, como la hierba mora del Este en Illinois y el cáñamo acuático en Iowa (Cerdeira y Duke 2006). Los cultivos resistentes al

glifosato tienen una alta probabilidad de convertirse en problemas como cosechas voluntarias. Los transgenes resistentes al glifosato se han encontrado en campos de canola que supuestamente no son transgénicos. En algunas circunstancias, el mayor riesgo de las cosechas resistentes al glifosato puede ser el flujo de transgenes (introgresión) de los cultivos a especies relacionadas que podrían llegar a ser problemas en ecosistemas naturales. Es poco probable que los mismos transgenes resistentes al glifosato sean un riesgo en poblaciones de plantas silvestres, pero cuando se unen a transgenes que pueden dar ventajas de adaptabilidad fuera de la agricultura (p.ej, resistencia a insectos), se podrían ver afectados los ecosistemas naturales (Rissler y Mellon 1996).

En la Pampa argentina, la aplicación de glifosato a campos de soya OGM aumentó de 1'000.000 a 160'000.000 de litros en 8 años. La aplicación continua de este herbicida ha causado la aparición de malezas resistentes al glifosato: *Parietaria debilis*, *Petunia axillaris*, *Verbena litoralis*, *V. bonariensis*, *Hybanthus parviflorus*, *Iresine diffusa*, *Commelina erecta* e *Ipomoea* sp. La aparición de resistencia implica un aumento adicional del uso de herbicidas, que incluye las combinaciones del glifosato con otros herbicidas, restableciendo el uso del viejo herbicida 2,4-D (Pengue 2005).

Actualmente no existen datos a nivel de residuos de Roundup en el maíz y la soya, porque los productos de grano no se incluyen en estudios convencionales del mercado que monitorean residuos de pesticida. Sin embargo, se sabe que debido a que el glifosato es un herbicida sistémico (aplicado en 12 millones de acres de tierras de labranza en los Estados Unidos), llega a las partes cosechadas de plantas y no se metaboliza fácilmente, acumulándose así en regiones meristemáticas, incluyendo raíces y nódulos (Duque *et al.* 2003).

Aunque, la información sobre los efectos biológicos de este herbicida en el suelo es incompleta, no obstante la investigación ha demostrado que las aplicaciones de glifosato están probablemente ligadas a los siguientes efectos (Buffin y Topsy 2001, Cerdeira y Duke 2006, Motavalli *et al.* 2004, Yamada 2009):

- La investigación experimental sugiere que algunas importantes bacterias y hongos benéficos del suelo, incluyendo bacterias y hongos que fijan el nitrógeno, y otros responsables de la descomposición de materia orgánica, se ven afectados por el glifosato. Algunos estudios han mostrado que los impactos del tratamiento con glifosato pueden durar por varios meses. Esto sugiere que el glifosato pueda permanecer activo en el suelo y ser tomado por organismos del suelo.
- Además de afectar las bacterias que fijan el nitrógeno, se ha encontrado que el glifosato inhibe los hongos micorrízicos que ayudan a que las plan-

tas absorban nutrientes y ayudan a la protección contra enfermedades o la sequía. Se inhibió la formación de nódulos que fijan el nitrógeno en las raíces del trébol a niveles entre 2 y 2 000 mg/kg de glifosato. El efecto persistió 120 días después del tratamiento. La fertilidad del suelo y el crecimiento de los cultivos se pueden ver afectadas drásticamente por una disminución en la presencia de microorganismos en el suelo, los cuales realizan funciones regeneradoras necesarias que incluyen la descomposición de materia orgánica, la liberación de nutrientes y la supresión de organismos patógenos. En resumen el efecto neto de las aplicaciones de glifosato parece ser el desbalance de las comunidades micobiales del suelo al estimular unas poblaciones y suprimir otras.

- También se encontró que el glifosato afecta negativamente a las lombrices. Un estudio en Nueva Zelanda reveló que las repetidas aplicaciones quincenales en porcentajes bajos de glifosato (1/20 de los porcentajes típicos) causaron una reducción del crecimiento, un aumento del tiempo de madurez y de la mortalidad de la lombriz que comúnmente se encuentra en suelos agrícolas.
- Se ha encontrado que el glifosato y sus formulaciones comerciales, tienen efectos de toxicidad directos e impactos indirectos al destruir su hábitat, sobre poblaciones de insectos benéficos, ácaros, y arañas. Un estudio descubrió que la exposición al glifosato mató más del 80% de la población de un escarabajo predador y el 50% de las poblaciones de avispa parasitoides, comején, mariquitas, y ácaros predadores. Un estudio en campos de trigo de invierno en Carolina del Norte descubrió que las poblaciones de carábidos predadores grandes disminuyeron después del tratamiento con una formulación de glifosato y no se recuperaron durante 28 días. Se insinuó que el incremento en la frecuencia de brotes de pulgón del cereal en campos tratados se debió a la disminución en el número de artrópodos predadores y la baja densidad de malezas subsecuente al uso de herbicidas.
- Las aplicaciones de glifosato pueden tornar ciertas cosechas más vulnerables a enfermedades. El glifosato aumentó la patogenicidad y la supervivencia de una enfermedad causada por el hongo *Gaeumannomyces graminis*. El hongo causa el "mal del pie" en las cosechas de trigo. Además, disminuyó la proporción de hongos del suelo que actuaban como antagonistas del hongo del mal del pie. El glifosato aumentó la susceptibilidad de las leguminosas a la enfermedad parasitaria antracnosis. También, se encontró que rociar Roundup antes de sembrar cebada aumentaba la *Rhizoctonia* en la cosecha y disminuía su producción. De hecho se sabe que muchas enfermedades como la pudri-

ción de la raíz en soja causada por *Corynespora*, son estimuladas por la exudación de glifosato desde las raíces de malezas o cultivos. El mecanismo involucrado en la proliferación de estas enfermedades asociadas a las raíces es la disrupción de la síntesis de sustancias de defensa (fitoalexinas) predisponiendo a las plantas al ataque de hongos patógenos del suelo.

- Aunque el glifosato está destinado al uso terrestre, puede contaminar el agua superficial directamente como consecuencia de su uso en el control de malezas acuáticas o indirectamente cuando el glifosato adsorbido a las partículas del suelo es arrastrado a los ríos o quebradas. El glifosato, que contiene el surfactante polietoxilado tallowamine es aproximadamente 30 veces más tóxico para los peces e invertebrados acuáticos que el glifosato.

Estudios han mostrado que la toxicidad aguda del glifosato varía según la especie y edad del pez y bajo condiciones ambientales diferentes, como la dureza, el pH y la temperatura del agua. Un estudio en Luisiana probó el efecto de las concentraciones subletales del glifosato en una especie de caracol acuático, *Pseudosuccinea columella*. El estudio descubrió que niveles bajos de glifosato afectan negativamente la reproducción y el desarrollo del caracol (Buffin y Topsy 2001). Relyea (2005) encontró que el Roundup causó una disminución del 70% en la biodiversidad de anfibios y una disminución del 86% en la población total de renacuajos.

Seguridad alimentaria y el futuro de los agricultores

Quienes proponen la biotecnología defienden la expansión del cultivo de soja como un ejemplo exitoso de adopción de la tecnología transgénica por los agricultores. Pero estos datos ocultan el hecho de que la expansión de soja lleva a la concentración extrema de tierras e ingresos. En Brasil, el cultivo de soja desplaza a 11 trabajadores agrícolas por cada nuevo trabajador que emplea. Esto no es un fenómeno nuevo, en la década de 1970, 2.5 millones de personas fueron desplazadas por la producción de soja en Paraná, y 300.000 fueron desplazados en Río Grande do Sul. Muchas de estas personas ahora sin tierras se trasladaron al Amazonas donde, sin otra opción, deforestaron los bosques prístinos. En la región del Cerrado donde la producción de soja transgénica se está expandiendo, el desplazamiento ha sido relativamente moderado ya que el área no está densamente poblada (Altieri Pengue 2006).

En Argentina, quebraron más de 60.000 granjeros cuando casi se triplicó el área sembrada de soja RR. En 1998, había 422.000 granjas en Argentina, mientras que en el 2002 había sólo 318.000, una reducción de un cuarto. En una década, el área de soja aumentó el 126% a expensas de la producción láctea, maíz, trigo, y frutas.

En la época de cultivos 2003/2004 se sembraron 13.7 millones de hectáreas de soya, pero hubo una reducción de 2.9 millones en las hectáreas de maíz y 2.15 millones de hectáreas de girasoles. En la provincia noreste del Chaco, donde el algodón era la cosecha tradicional, la invasión de la soya redujo la población rural del 40 % al 20 %. Para el país, esto significa más importaciones de alimentos básicos, por lo tanto la pérdida de la soberanía alimentaria, el aumento de los precios de los alimentos y el hambre, sobre todo en la región noreste donde la soya es el rey, y donde el 37% de la gente está por debajo del umbral de la pobreza y no se pueden alimentar debidamente (Pengue 2005).

El avance "de la frontera agrícola" para los biocombustibles es un atentado contra la soberanía alimentaria de naciones en vía de desarrollo, ya que la tierra para la producción de alimentos se dedica cada vez más a alimentar los automóviles de personas en el Norte. La producción de los biocombustibles también afecta directamente a los consumidores al aumentar el precio de los alimentos. Muy pronto el precio del maíz, la soya y la caña de azúcar será determinado por su valor como materia prima para el biocombustible más que por su importancia como alimento para las personas o comida para el ganado. Los agricultores a gran escala en países que dan cuenta de la mayoría de la producción de biocombustibles, disfrutarán de la promesa de precios de materias primas e ingresos marcadamente más altos. En contraste, los pobres urbanos y rurales en países que importan alimentos pagarán precios mucho más altos por los principales alimentos básicos y habrá menos cereal disponible para la ayuda humanitaria (Shattuck 2008).

A medida que se siembra más maíz, se desplaza el trigo y la soya, aumentando sus precios en el mercado. Puesto que el maíz estadounidense da cuenta de casi el 40 % de la producción global, la expansión de agrocombustibles estadounidense afecta los mercados globales para todos los cereales y exacerba la inflación del precio de los alimentos en todo el mundo. En 2006-2007, en los Estados Unidos, el auge del etanol llevó a un rápido aumento en los precios del maíz y otros productos, ya que la tierra se desvió de otras cosechas a la de maíz, en particular la de soya. En un año el precio de maíz subió de \$2.20/bu (\$87/mt) a \$3.50/bu (\$138/mt) o más alto, un aumento del 60%. Los precios de los alimentos han aumentado, pero no proporcionalmente al precio de los biocombustibles ya que hay otros factores implicados en los aumentos del precio de los alimentos. La carne de aves y los huevos están enfrentando el mayor impacto ya que el maíz constituye aproximadamente dos tercios de la ración avícola. En consecuencia, el costo total de producir carne de aves y huevos ha aumentado casi el 15 %, pasando el aumento de costo a los consumidores. Cálculos recientes ubican el aumento del costo de alimentos del consumidor hasta ahora, debido al etanol de maíz, entre el 1.5% y el 25% los consumidores esta-

dounidenses pagaron aproximadamente \$22 mil millones de dólares más por los alimentos en 2007 debido a los biocombustibles. La demanda de biocombustibles en los Estados Unidos también se relacionó con un aumento masivo del precio del maíz, el cual llevó a un reciente aumento del 400% de los precios de la tortilla en México (Holt-Giménez y Peabody 2008).

Conclusiones

El progresivo agotamiento del petróleo ha proporcionado una oportunidad para la creación de potentes sociedades globales entre corporaciones de cereales, de ingeniería genética, petrolera y automotriz. Estas nuevas alianzas de alimentos y combustibles cada vez más deciden el futuro de los paisajes agrícolas del mundo. El auge de los biocombustibles consolidará posteriormente su dominio de los sistemas alimentarios y de combustibles, y les permitirá determinar qué, cómo, y cuánto se cultivará, causando más pobreza rural, destrucción ambiental y hambre. Los beneficiarios finales de la revolución del biocombustible serán los gigantes comercializadores de cereales, incluyendo a Cargill, ADM, y Bunge; las compañías petroleras como BP, Shell, Chevron, Neste oil, Repsol, y Total; las compañías automotrices como General Motors, Volkswagen AG, FMC-Ford France, PSA Peugeot-Citroen, y Renault; y los gigantes de la biotecnología, como Monsanto, DuPont y Syngenta. Los perdedores son los pequeños y medianos agricultores, los consumidores, y el medioambiente.

Hoy en día, los monocultivos de agrocombustibles están aumentando en porcentajes dramáticos por todo el mundo, principalmente vía una expansión geográfica a expensas de bosques con pérdida de hábitats naturales y desplazamiento de áreas dedicadas a cultivos alimenticios, amenazando la seguridad alimentaria de regiones enteras. Las tecnologías que facilitan este cambio hacia estos monocultivos a gran escala son la mecanización, la mejora de variedades de cultivos a través de la ingeniería genética, y la aplicación de cantidades masivas de fertilizantes y herbicidas químicos. La inversión corporativa y la seducción de los gobiernos han sido claves en el estímulo de la expansión de los agrocombustibles. Claramente, los ecosistemas de las áreas en las cuales se están produciendo los biocombustibles se están degradando rápidamente, no sólo debido a la deforestación sino también debido a los impactos ecológicos asociados con las tecnologías de producción de los cultivos (fertilizantes nitrogenados, herbicidas, y cultivos transgénicos) y la mayor emisión de gases de invernadero (Searchinger *et al.* 2008). Por estos y otros motivos, la producción de agrocombustibles no es sostenible ni ambiental ni socialmente ahora o en el futuro.

La industria biotecnológica está utilizando la actual fiebre por los biocombustibles para limpiar su imagen desarrollando y desplegando semillas transgénicas

para la producción de energía y no para la producción de alimentos. Dada la creciente desconfianza pública y el rechazo de y hacia los cultivos transgénicos como alimentos, la biotecnología será utilizada por las corporaciones para mejorar su imagen afirmando que ellos desarrollarán nuevos cultivos genéticamente modificados para la producción de biomasa mejorada o que contengan la enzima alfa-amilasa, lo cual permitirá que el proceso del etanol comience mientras el maíz todavía está en el campo, una tecnología que aseguran no tener ningún impacto negativo en la salud humana o el medioambiente. El despliegue de tales cosechas en el medioambiente añadirá una amenaza ambiental adicional a aquellas ya relacionadas con el maíz transgénico, que en 2006 alcanzó 32.2 millones de hectáreas: la introducción de nuevos rasgos en la cadena alimenticia humana ha ocurrido ya con el maíz Starlink y el arroz LL601.

Cuando los gobiernos son persuadidos por las promesas del mercado del biocombustible global, ellos idean proyectos de biocombustibles nacionales que promueven una producción basada en monocultivos a gran escala, que dependen del uso intensivo de herbicidas y fertilizantes químicos, desviando así millones de hectáreas de valiosa tierra cosechable de la producción de alimentos muy necesitados. Hay una gran necesidad de un análisis social y ecológico para anticipar las implicaciones ambientales y de seguridad alimentaria del despliegue de los proyectos de biocombustibles de países pequeños como Ecuador. Este país espera ampliar la producción de caña de azúcar en 50.000 has, y limpiar 100.000 has de bosques naturales para dar paso a las plantaciones de palma de aceite. Las plantaciones de palma de aceite están causando ya un gran desastre ambiental mayor en la región Chocoana de Colombia (Bravo 2006).

También es inquietante que las universidades públicas y los sistemas de investigación caigan víctimas de la seducción de grandes cantidades de dinero y de la influencia del poder político y corporativo. La intrusión del capital privado en la formulación de la agenda de investigación y composición de la facultad, que deteriora la misión pública de las universidades a favor de intereses privados, minando la libertad académica y la facultad de gobernar. Estas alianzas apartan a las universidades de tomar parte en la investigación imparcial e impiden que el capital intelectual explore alternativas realmente sostenibles a la crisis energética y al cambio climático.

No cabe duda de que la conglomeración del petróleo y el capital de la biotecnología decidirán cada vez más el destino de los paisajes rurales del continente americano. Sólo las alianzas estratégicas y la acción coordinada de movimientos sociales (las organizaciones de agricultores, los movimientos ambientales y de trabajadores agrícolas, las organizaciones no gubernamentales, las

confederaciones de consumidores, miembros del sector académico comprometidos, etc.) pueden presionar a los gobiernos y a las compañías multinacionales para asegurar que estas tendencias sean detenidas. Más importante aún, tenemos que trabajar juntos para asegurar que todos los países retengan el derecho de conseguir la soberanía alimentaria por medio de sistemas locales de producción, reforma agraria, acceso al agua, semillas y otros recursos, y políticas alimentarias y de desarrollo agrícola local basados en la agroecología que respondan a las necesidades verdaderas de los agricultores y de todos los consumidores, sobre todo los pobres.

Referencias

- Altieri MA. 2007. Fatal harvest: Old and new dimensions of the ecological tragedy of modern agriculture. In *Sustainable resource management* (Nemetz PN, ed). Cheltenham, UK: Edward Elgar, pp. 189-213.
- Altieri MA, Bravo E. 2007. The ecological and social tragedy of crop-based biocombustible production in the Americas. Retrieved March 27, 2009, from <http://www.foodfirst.org/en/node/1662>
- Altieri MA, Pengue W. 2006. GM soybean: Latin America's new colonizer. *Seedling*. Retrieved March 27, 2009, from <http://www.grain.org/seedling/?id=421>
- Bravo E. 2006. Biocombustibles, cultivos energeticos y soberania alimentaria: Encendiendo el debate sobre biocombustibles. Quito, Ecuador: Accion Ecologica.
- Buffin D, Topsy J. 2001. Health and environmental impacts of glifosato: The implications of increased use of glifosato in association with genetically modified crops. London: Friends of the Earth.
- Cassman KG. 2007. Climate change, biocombustibles, and global food security. *Environmental Research Letter* 2: 1-3.
- Cerdeira AL, Duke SO. 2006. The current status and environmental impacts of glifosato-resistant crops. *Journal of Environmental Quality* 35: 1633-1658.
- Conway GR, Pretty JN. 1991. Unwelcome harvest: Agriculture and pollution. London: Earthscan.
- Demirbas A. 2009. Biocombustibles: Securing the planet's future energy needs. London: Springer.
- Donald PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18: 17-37.
- Fearnside PM. 2001. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28: 23-28.
- Grau HR, Gasparin IN, Mitchell AT. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation* 32: 140-148.
- Hayes TB, Collins A, Lee M, Mendoza M, Noriega N, Stu-

- art AA, Vonk A. 2002. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide, atrazine, at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 5476-5480.
- Holt-Gimenez E, Peabody L. 2008. Solving the food crisis: The causes and the solutions. Oakland, CA: Food First. Retrieved March 30, 2009, from <http://www.foodfirst.org/en/node/2141>
- James C. 2007. Global review of commercialised transgenic crops (ISAAA Brief No. 37). Ithaca, NY: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application.
- Jason C. 2004. *World agriculture and the environment*. Washington, DC: Island Press.
- Klink CA, Machado RB. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19: 707-713.
- McGuinness H. 1993. Living soils: Sustainable alternatives to chemical fertilizers for developing countries. Unpublished manuscript, Consumers Policy Institute, New York.
- Morton DC, DeFries RS, Shimabukuro YE, Anderson LO, Arai E, Espirito-Santo FD, Freitas R, Morissette J. 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 14637-14641.
- Motavalli PP, Kremer, RJ, Fang M, Means NE. 2004. Impacts of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations. *Journal of Environmental Quality* 33: 816-824.
- Pahl G. 2008. *Biodiesel: Growing anew energy economy*. White River Junction, VT: Chelsea Green.
- Pengue W. 2005. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt. *Bulletin of Science, Technology and Society* 25: 314-322.
- Pimentel D. 2003. Ethanol fuels: Energy balance, economics and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research* 12: 127-134.
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 276: 1117-1123.
- Pimentel D, Lehman H. 1993. *The pesticide question*. New York: Chapman y Hall.
- Pimentel D, Patzek TW. 2005. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resources Research* 14: 65-76.
- Pimentel D, Tariche, S, Schreck J, Alpert S. 1997. Water resources: Agriculture, environment and society. *BioScience* 47: 97-106.
- Relyea RA. 2005. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications* 15: 618-627.
- Rissler J, Mellon M. 1996. *The ecological risks of engineered crops*. Cambridge: MIT Press.
- Scharlemann JPW, Laurance WF. 2008. How green are biocombustibles? *Science* 319: 43-44.
- Scriber JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In *Nitrogen in crop production* (Hauck R, ed.). Madison, WI: American Society of Agronomy, pp 96-102.
- Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, Tokgoz S, Hayes D, Yu T. 2008. Use of US cropland for biofuels increases greenhouse gases through emission from land-use change. *Science* 319: 1238-1240.
- Shapouri H, McAloon A. 2004. *The 2001 net energy balance of corn-ethanol*. Washington, DC: USDA, Economic Research Service. Retrieved March 30, 2009, from www.usda.gov/oce/reports/energy/net_energy_balance.pdf
- Shattuck A. 2008. *The agrocombustibles Trojan horse: Biotechnology and the corporate domination of agriculture* (Food First Policy Brief No. 14). Oakland, CA: Food First.
- Yamada T. 2009. Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: threat to agricultural sustainability? *European Journal of Agronomy* 31: 111-113.