



**EN DEFENSA DE UN MUNDO  
SUSTENTABLE SIN  
TRANSGÉNICOS**

**Grupo de Ciencia Independiente**

Redactado por

**Mae-Wan Ho y Lim Li Ching**

Con la colaboración de

**Joe Cummins, Malcolm Hooper, Miguel Altieri,  
Peter Rosset, Arpad Pusztai, Stanley Ewen,  
Michel Pimbert, Peter Saunders, Edward Goldsmith,  
David Quist, Eva Novotny, Vyvyan Howard, Brian John**  
y otros miembros del Grupo

15 de julio de 2003  
Londres

Traducción de  
**Raquel Núñez Mutter**

con la colaboración de  
**Hersilia Fonseca**

y el apoyo de  
**GRAIN**

**(Acción Internacional por los Recursos Genéticos)**

Título original en inglés: *The Case For A GM-Free Sustainable World*

Publicado por:

**Institute of Science in Society**  
Casilla de Correos 32097  
Londres NW1 0XR, Reino Unido  
&  
**Third World Network**  
121-S Jalan Utama  
10450 Penang, Malasia

© Institute of Science in Society & Third World Network 2003

**Prefacio**

Algunos miembros del Grupo de Ciencia Independiente (ISP, en inglés) dedicada al estudio de los organismos transgénicos han tenido la oportunidad de analizar numerosas pruebas científicas y de otro tipo relacionadas con la ingeniería genética, registradas a lo largo de las últimas décadas. Muchos de esos miembros figuran entre los más de 600 científicos de 72 países que han firmado una "Carta abierta de los científicos del mundo a todos los gobiernos" [1], una campaña iniciada en 1999 que reclamaba que se estableciera una moratoria a la liberación al ambiente de organismos modificados genéticamente, la prohibición de las patentes sobre procesos, organismos, semillas, líneas de células y genes vivos, y la realización de una investigación pública exhaustiva sobre el futuro de la agricultura y la seguridad alimentaria.

Los sucesos que han ocurrido desde 1999 tanto en el ámbito de la ciencia como en otros ámbitos, han confirmado nuestros temores acerca de la falta de seguridad de la ingeniería genética, sobre los cultivos transgénicos y la seguridad alimentaria. Al mismo tiempo, los buenos resultados y las ventajas de las diferentes formas de agricultura sustentable resultan innegables. Las pruebas, ahora reunidas de manera sistematizada, presentan argumentos fundados a favor de que se imponga una prohibición mundial a la liberación al ambiente de cultivos transgénicos, que permita a la agricultura dar un cambio profundo de rumbo y encaminarse hacia la agroecología, la agricultura sustentable y la producción agropecuaria orgánica.

En las Partes 1 y 2 se presentan las pruebas que demuestran las razones por las cuales los cultivos transgénicos no son una opción viable para un futuro sustentable, mientras que en la Parte 3 se ofrecen pruebas de los buenos resultados y las ventajas de las prácticas agrícolas sustentables.

**Nota**

Este Informe es un compendio de una vasta bibliografía. Hemos incluido la mayor cantidad posible de fuentes primarias, pero muchos de los documentos citados en la lista de referencias bibliográficas son a su vez extensas revisiones de bibliografía científica y de otras clases, sometidas a diversos organismos nacionales e internacionales que reclamaron la presentación de pruebas.

En la elaboración del Informe del ISP, los miembros de la comisión se hacen responsables de los campos en los que cada uno de ellos tiene competencia específica, a la vez que dan un aval general al Informe en su conjunto. Cada miembro del ISP también reconoce la experiencia y autoridad de los demás miembros del ISP en aquellos ámbitos en los cuales él o ella no tenga competencia específica.

## INDICE

### Prefacio

### Resumen Ejecutivo

#### Primera Parte: No hay futuro para los cultivos transgénicos

1. ¿Por qué NO a los transgénicos?
2. Cada vez más problemas en el agro

#### Segunda Parte: Los cultivos transgénicos no son seguros

3. Ciencia y cautela
4. Pruebas de seguridad de los alimentos transgénicos
5. Los peligros del transgen
6. Los cultivos *terminator* propagan la esterilidad masculina
7. Peligros de los plaguicidas
8. Transferencia horizontal de genes
9. El Promotor CaMV 35S
10. Mayor probabilidad de dispersión de ADN transgénico
11. La transferencia horizontal de ADN transgénico
12. Peligros de la transferencia horizontal de genes
13. Conclusión de las partes 1 y 2

#### Tercera Parte: Los múltiples beneficios de la agricultura sustentable

14. ¿Por qué agricultura sustentable?
15. Productividad y rendimientos mayores o comparables
16. Mejores suelos
17. Un ambiente más limpio
18. Reducción de plaguicidas sin aumento de plagas
19. Apoyando y utilizando la diversidad
20. Sustentabilidad ambiental y económica
21. Amortiguando el cambio climático
22. Producción eficiente y rentable
23. Mayor seguridad alimentaria y beneficios para las comunidades locales
24. Orgánicos por la salud
25. Conclusión de la Parte 3

#### Referencias

#### Declaración del Grupo de Ciencia Independiente

#### Grupo de Transgénicos del ISP: Lista de miembros

## Resumen Ejecutivo

### ¿Por qué libre de transgénicos?

#### 1. Los cultivos transgénicos no produjeron los beneficios prometidos

El resultado contundente de investigaciones independientes y de estudios en finca desde 1999 prueban que los cultivos transgénicos no trajeron los beneficios prometidos de aumentar significativamente los rendimientos o de reducir la utilización de herbicidas y plaguicidas. Se estima que los cultivos transgénicos han costado a los Estados Unidos unos 12.000 millones de dólares por concepto de subsidios agrícolas, pérdida de ventas y reclamaciones del producto, debido a contaminación transgénica. En India se registraron pérdidas en gran escala de hasta un 100% en cultivos de algodón Bt resistentes a insectos.

Las empresas del ramo de la biotecnología han sufrido una caída acelerada desde el año 2000, y los asesores en materia de inversiones anuncian que no tienen futuro en el sector agrícola. Mientras tanto, la resistencia mundial a los transgénicos alcanzó su punto más alto cuando en 2002 Zambia, a pesar de la amenaza de hambruna que se cernía sobre el país, rechazó el maíz transgénico enviado como ayuda alimentaria.

#### 2. Los cultivos transgénicos plantean cada vez más problemas en el agro

La inestabilidad de las líneas transgénicas ha plagado la industria desde el principio, y podría ser responsable de varios fracasos importantes de cultivos transgénicos. Un estudio de 1994 estableció que: "Si bien hay algunos ejemplos de plantas que muestran expresión estable de un transgen, eso podría probar que son las excepciones a la regla. En una encuesta informal que abarcó a más de 30 compañías involucradas en la comercialización de cultivos transgénicos ... casi todos los encuestados indicaron que habían observado cierto grado de inacción del transgen. Muchos indicaron que la mayoría de los casos de inactividad del transgen nunca llegaron a registrarse en la literatura especializada".

En Canadá ya se han generalizado los voluntarios\* de semillas de colza con triple tolerancia a herbicidas que tienen características transgénicas y no transgénicas combinadas. En los Estados Unidos han aparecido voluntarios y malezas similares con tolerancia múltiple a herbicida. En los Estados Unidos, malezas con tolerancia a glifosato plagan los campos de algodón y soja transgénicos, y para el maíz transgénico tolerante a glufosinato recurrieron a la atrazina, uno de los herbicidas más tóxicos.

\* Los voluntarios son plantas germinadas de semillas de un cultivo anterior plantado en el mismo campo y que ahora se ha convertido en maleza.

Simultáneamente, ciertas características del plaguicida biológico Bt amenazan con crear supermalezas y plagas resistentes al Bt.

#### 3. La inexorabilidad de la contaminación transgénica extendida

Razas criollas de maíz cultivado en regiones remotas de México han sido contaminadas con transgenes, a pesar de que desde 1998 hay en el país una moratoria oficial para el cultivo de maíz transgénico. Desde entonces se ha encontrado un alto grado de contaminación en Canadá. En un ensayo de 33 muestras de semillas de colza certificada, se encontró que había 32 contaminadas.

Nuevas investigaciones revelan que el polen transgénico, esparcido por el viento y depositado en distintos lados, o que ha caído directamente al suelo, es una fuente importante de contaminación transgénica. La contaminación está ampliamente admitida, de ahí que no puedan coexistir cultivos transgénicos y no transgénicos.

#### 4. Los cultivos transgénicos no son seguros

Contrariamente a lo que aducen quienes los impulsan, no se ha demostrado que los cultivos transgénicos sean seguros. El marco regulatorio ha tenido graves deficiencias desde un principio. Se basó en un criterio antiprecautorio diseñado para conseguir una aprobación expedita de los productos a costa de las consideraciones en materia de seguridad.

El principio de "equivalencia sustancial", sobre el cual se basa la evaluación del riesgo, es intencionadamente vago y está mal definido, con lo cual las compañías tienen carta blanca para aducir que los productos transgénicos son "sustancialmente equivalentes" a los no transgénicos, y por lo tanto son "seguros".

## **5. Los alimentos transgénicos plantean serios temores en materia de seguridad**

A pesar de que ha habido muy pocos estudios confiables sobre la seguridad de los alimentos transgénicos, los resultados existentes son motivo de preocupación. En la por ahora única investigación sistemática sobre alimentos transgénicos llevada a cabo en el mundo, se encontraron efectos del 'factor de crecimiento símil' en el estómago e intestino delgado de ratas jóvenes que no eran totalmente atribuibles al producto transgénico, por lo cual se atribuían al proceso transgénico o la construcción transgénica, y *por ende* odrían presentarse de manera generalizada en todos los alimentos transgénicos.

Ha habido por lo menos otros dos estudios más limitados que también plantearon serias preocupaciones en materia de seguridad.

## **6. Productos genéticos peligrosos son incorporados a los cultivos**

Se ha encontrado que las proteínas Bt, incorporadas al 25% de todos los cultivos transgénicos del mundo, son nocivas para una gran cantidad de insectos no combatidos, y algunas tienen también potentes inmunógenos y alérgenos. Un equipo de científicos ha advertido sobre la liberación de cultivos Bt para uso humano.

Cada vez se utilizan más cultivos alimenticios en la elaboración de productos farmacéuticos y medicamentos, entre ellos citocinas conocidas por su capacidad de suprimir el sistema inmunológico, inducir enfermedades y causar toxicidad del sistema nervioso central; alfa interferón, del cual existen registros de causar demencia, neurotoxicidad y efectos secundarios cognitivos y en el carácter; vacunas y secuencias virales tales como el gen de la proteína "spike" del coronavirus del cerdo, de la misma familia que el virus SARS asociado con la actual epidemia mundial. El gen de la glicoproteína gp 120 del virus HIV-1 del SIDA, incorporado al maíz transgénico como una "vacuna oral comestible barata" es otra bomba de tiempo biológica ya que puede interferir con el sistema inmunológico y recombinarse con virus y bacterias para generar patógenos nuevos e impredecibles.

## **7. Los cultivos terminator propagan la esterilidad masculina**

Los cultivos manipulados con genes "suicidas" para conseguir la esterilidad masculina, han sido promovidos como una forma de "contener", es decir, impedir la propagación de transgenes. En realidad, los cultivos híbridos vendidos a los agricultores propagan tanto los genes de la esterilidad masculina como los genes con tolerancia a herbicida, *a través del polen*.

## **8. Herbicidas de amplio espectro son muy tóxicos para seres humanos y otras especies**

El glufosinato de amonio y el glifosato son utilizados en cultivos transgénicos tolerantes a herbicida, que representan actualmente el 75% de todos los cultivos transgénicos del mundo. Ambos son venenos metabólicos sistémicos que se teme podrían tener una amplia gama de efectos nocivos. Esos temores han sido confirmados.

El glufosinato de amonio está asociado con toxicidad neurológica, respiratoria, gastrointestinal y ematólogica así como con defectos congénitos en seres humanos y mamíferos. Es tóxico para las mariposas y numerosos insectos benéficos, para las larvas de almejas y ostras, en la *Daphnia* y ciertos peces de agua dulce, en particular la trucha arco iris. También inhibe el desarrollo de bacterias y hongos beneficiosos del suelo, especialmente los que fijan nitrógeno.

El glifosato es la causa más frecuente de reclamaciones y casos de envenenamiento en el Reino Unido. Se han registrado trastornos de numerosas funciones fisiológicas luego de una exposición a niveles de uso normales. La exposición al glifosato prácticamente duplicó el riesgo de aborto espontáneo, y los hijos de quienes trabajan con glifosato presentaron un elevado índice de trastornos de neurocomportamiento. El glifosato provocó un retraso en el desarrollo del esqueleto fetal en ratas de laboratorio [83].

El glifosato inhibe la síntesis de los esteroides, y es un agente genotóxico en mamíferos, peces y sapos. La exposición de las lombrices a las dosis habitualmente aplicadas en el campo provocó una mortalidad de por lo menos un 50% y lesiones intestinales importantes entre las lombrices sobrevivientes. El Roundup provocó disfunciones en la división celular, que podrían estar asociadas con algunos tipos de cáncer en seres humanos.

Los efectos conocidos tanto del glufosinato como del glifosato son suficientemente graves como para detener la utilización de los herbicidas.

## **9. La ingeniería genética crea supervirus**

Por lejos, los peligros más graves de la ingeniería genética son inherentes al proceso mismo, el cual aumenta enormemente el alcance y la probabilidad de la transferencia horizontal de genes y la recombinación, que es la vía principal para la creación de virus y bacterias que provocan enfermedades epidémicas. Esto quedó de manifiesto en 2001, con la creación "accidental" de un virus letal para el ratón, en el curso de un experimento de ingeniería genética aparentemente inocente.

Las técnicas nuevas, como el "mezclado de ADN" (shuffling), permiten a los genetistas crear en el laboratorio, en cuestión de minutos, millones de virus recombinantes que nunca han existido en miles de millones de años de evolución. Los virus y bacterias y su material genético, que son causantes de enfermedades, constituyen los principales materiales y herramientas de la ingeniería genética, así como de la fabricación planificada de armas biológicas.

## **10. El ADN transgénico en los alimentos absorbidos por las bacterias en el intestino humano**

Existen pruebas experimentales de que ADN transgénico vegetal ha sido absorbido por bacterias, del suelo y del intestino de voluntarios humanos. Los genes marcadores con resistencia a antibiótico pueden propagarse de alimentos transgénicos a bacterias patógenas, dificultando el tratamiento de infecciones.

## **11. El ADN transgénico y el cáncer**

Se sabe que el ADN transgénico puede sobrevivir a la digestión en el intestino y saltar al genoma de células de mamíferos, aumentando la posibilidad de la aparición de cáncer.

No puede excluirse la posibilidad de alimentar a animales con productos transgénicos como el maíz puede acarrear riesgos, no solamente para los animales sino también para los seres humanos que consumen los productos animales.

## **12. El promotor CaMV 35S incrementa la transferencia horizontal de genes**

Existen pruebas que indican que las construcciones transgénicas que incluyen el promotor CaMV 35S podrían ser particularmente inestables y propensas a la transferencia horizontal de genes y a la recombinación de genes, con todos los riesgos que conlleva: mutaciones genéticas debidas

a la inserción aleatoria, cáncer, reactivación de virus dormidos y generación de nuevos virus. Este promotor está presente en la mayoría de los cultivos transgénicos que hoy en día se cultivan con fines comerciales.

### **13. Una larga historia de distorsión y ocultación de pruebas científicas**

Hay una larga historia de distorsión de los hechos y omisión de pruebas científicas, en especial en lo que respecta a la transferencia horizontal de genes. Hubo experimentos fundamentales que no se realizaron, o en todo caso se hicieron en forma incorrecta y luego se distorsionaron los resultados. Muchos no tuvieron experimentos complementarios, como en el caso del promotor CaMV 35S, en que no se hicieron investigaciones para verificar si es responsable de los efectos del "factor de crecimiento símil" observados en ratas jóvenes alimentadas con papas transgénicas.

En conclusión, los cultivos transgénicos no han traído los beneficios prometidos y plantean problemas cada vez mayores a los agricultores. Actualmente es ampliamente sabido que la contaminación transgénica es inevitable, y por lo tanto los cultivos transgénicos y los no transgénicos no pueden coexistir. Lo más importante es que no se ha demostrado que los cultivos transgénicos sean seguros. Por el contrario, han surgido pruebas suficientes como para suscitar graves temores sobre su seguridad, que si son ignoradas podría significar que ocurran daños irreversibles en la salud y el ambiente. Por lo tanto, los cultivos transgénicos deberían ser enérgicamente rechazados.

## **¿Por qué agricultura sustentable?**

### **1. Mayor productividad y rendimiento, especialmente en el Tercer Mundo**

Alrededor de 8,98 millones de agricultores de Asia, América Latina y África han adoptado prácticas agrícolas sustentables en 28,92 millones de hectáreas. Datos confiables de 89 proyectos muestran mayor productividad y rendimientos: un aumento de 50 a 100% en las cosechas de cultivos pluviales, y de 5 a 10% en agricultura de riego. Entre las experiencias más exitosas se cuentan la de Burkina Faso, que pasó de un déficit en la producción de cereales de 644 kilos por año a un superávit anual de 153 kilos; la de Etiopía, donde 12.500 hogares se beneficiaron de un aumento del 60% en las cosechas; y Honduras y Guatemala, donde 45.000 familias aumentaron el rendimiento de sus cosechas de 400-600 kilos/hectárea a 2.000-2.500 kilos/hectárea.

Estudios de largo plazo en países industrializados muestran cosechas de cultivos orgánicos equivalentes a los de la agricultura convencional e incluso superiores en algunos casos.

### **2. Mejores suelos**

Las prácticas agrícolas sustentables tienden a reducir la erosión del suelo, así como también a mejorar la estructura física del suelo y su capacidad de contención de agua, dos elementos cruciales para evitar la pérdida de cosechas en los períodos de sequía.

Numerosas prácticas agrícolas sustentables mantienen o aumentan la fertilidad del suelo. Los estudios revelan que los niveles de materia orgánica y nitrógeno existentes en el suelo son más elevados en los campos orgánicos que en los convencionales.

También se ha descubierto que la actividad biológica es mayor en los suelos orgánicos. Hay más lombrices, artrópodos, micorrizas y otros hongos, y microorganismos, todos los cuales son beneficiosos para el reciclado de los nutrientes y la eliminación de enfermedades.

### **3. Un ambiente más limpio**

La agricultura sustentable no utiliza, o utiliza mínimamente insumos químicos contaminantes. Además, las investigaciones revelan que de los suelos orgánicos se filtra menos nitrato (N) y fósforo (P) a las aguas subterráneas. Los sistemas orgánicos tienen mejores tasas de infiltración de agua, por lo tanto son menos propensos a la erosión y tienen menos probabilidad de contribuir a la contaminación del agua por la escorrentía superficial.

### **4. Menos plaguicidas sin aumento de plagas**

La agricultura orgánica prohíbe la aplicación regular de plaguicidas. El manejo integrado de plagas ha reducido el número de aspersiones de plaguicida en Vietnam, de 3,4 a 1 por temporada; en Sri Lanka de 2,9 a 0,5 por temporada, y en Indonesia de 2,9 a 1,1 por temporada.

Una investigación en torno a la producción de tomate californiano en la cual se suprimió la aplicación de insecticidas sintéticos demostró que no por ello hubo un aumento en la pérdida de las cosechas por la acción de plagas.

Es posible controlar plagas sin plaguicidas, revirtiendo las pérdidas de cultivos, utilizando, por ejemplo, "cultivos trampa" para atraer al barrenador del tallo, una plaga importante de África oriental. Cuando se evita la aplicación de plaguicidas surgen otros beneficios de la utilización de las complejas interrelaciones entre las especies de un ecosistema.

### **5. Apoyando y utilizando la diversidad**

La agricultura sustentable promueve la biodiversidad agrícola, que es vital para la seguridad alimentaria y la vida rural. La agricultura orgánica también puede promover una diversidad biológica mucho mayor, favoreciendo especies que se han reducido de manera significativa.

Los sistemas biodiversos son más productivos que los monocultivos. En Cuba, los sistemas agrícolas integrados son 1,45 a 2,82 veces más productivos que los monocultivos. Miles de arroceros chinos han duplicado el rendimiento de sus cosechas y prácticamente eliminaron la enfermedad más devastadoras simplemente combinando plantaciones de dos variedades.

La diversidad biológica del suelo aumenta con las prácticas orgánicas, aportando efectos beneficiosos tales como la recuperación y rehabilitación de suelos degradados, mejoras en la estructura del suelo y en la infiltración del agua.

### **6. Ambiental y económicamente sustentable**

Una investigación de sistemas de producción de manzana ubicó al sistema orgánico en el primer lugar en sustentabilidad ambiental y económica, en el segundo lugar al sistema integrado y al convencional en el último lugar. Las manzanas orgánicas resultaban más rentables debido al mejor precio pagado por su condición de alta calidad, a un retorno más rápido de la inversión y al menor tiempo para la recuperación de los costos.

Un estudio realizado a escala de todo el continente europeo demostró que la agricultura orgánica tiene mejores resultados que la agricultura convencional en la mayoría de los indicadores ambientales. Un análisis de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), concluyó que la agricultura orgánica bien gestionada genera más favorables en todos los aspectos ambientales.

## **7. Amortiguando del cambio climático por reducción directa e indirecta del uso de la energía**

La agricultura orgánica utiliza la energía de manera mucho más eficiente y reduce notoriamente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en comparación con la agricultura convencional, tanto con respecto al consumo directo de energía en combustible y petróleo como al consumo indirecto en fertilizantes y plaguicidas.

La agricultura sustentable restituye el contenido de materia orgánica del suelo, aumentando la retención de carbono en el plano subterráneo y recuperando así un sumidero de carbono importante. Los sistemas orgánicos han demostrado tener una capacidad significativa de absorber y retener carbono, aumentando la posibilidad de que las prácticas agrícolas sustentables puedan ayudar a reducir el impacto del calentamiento de la atmósfera. La agricultura orgánica tiene la probabilidad de emitir menos óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), otro importante gas de efecto invernadero y también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono de la estratosfera.

## **8. Producción eficiente y rentable**

Cualquier disminución del rendimiento en la agricultura orgánica está más que compensada por lo que se gana en términos ecológicos y de eficiencia. Las investigaciones han demostrado que la propuesta orgánica puede ser comercialmente viable en el largo plazo, produciendo más cantidad de alimentos por unidad de energía o recursos.

Los datos muestran que los pequeños agricultores producen mucho más por unidad de superficie que las grandes plantaciones características de la agricultura convencional. Si bien el rendimiento por unidad de superficie de un cultivo puede ser menor en una finca rural pequeña que en un gran monocultivo, la producción total por unidad de superficie, a menudo compuesta de más de una docena de cultivos y diversos productos animales, puede ser mucho mayor. Los costos de producción de la agricultura orgánica son muchas veces menores que los de la agricultura convencional, lo cual redundará en ganancias netas equivalentes o mayores aún sin el sobreprecio de los productos orgánicos. Si en el cálculo se incluyen los sobreprecios, los sistemas orgánicos resultan casi siempre más rentables.

## **9. Mejoras en la seguridad alimentaria y beneficios para las comunidades locales**

Un estudio de proyectos de agricultura sustentable en países en desarrollo demostró que la producción promedio de alimentos por núcleo familiar aumentó 1,71 toneladas por año (un aumento del 73%) para 4,42 millones de agricultores en 3,58 millones de hectáreas, aportando seguridad alimentaria y ventajas en materia de salud.

Se ha demostrado que el aumento de la productividad agrícola también incrementa la disponibilidad de alimentos y el aumento de los ingresos, reduciendo así la pobreza, ampliando el acceso a los alimentos, reduciendo la desnutrición y mejorando la salud y las formas de vida y sustento.

Las estrategias de agricultura sustentable se basan en gran medida en los conocimientos tradicionales e indígenas, y ponen énfasis en la experiencia y capacidad de innovación de los agricultores. Por lo tanto, se utilizan recursos locales apropiados, de bajo costo y fácilmente asequibles, a la vez que se mejora la posición y autonomía de los agricultores, mejorando las relaciones sociales y culturales al interior de las comunidades locales.

Las vías locales de venta y distribución pueden generar más dinero para la economía local. Por cada £1 que se gasta en un sistema de canastas de productos orgánicos de Cusgarne Organics (Reino Unido), se generan £2,59 para la economía local; pero por cada £1 gastado en un supermercado, se genera solamente £1,40 para la economía local.

## **10. Alimentos de mejor calidad para la salud**

Los alimentos orgánicos son más seguros, ya que la agricultura orgánica prohíbe la aplicación regular de plaguicidas y herbicidas, de manera que rara vez contienen residuos químicos peligrosos. La producción orgánica también prohíbe la utilización de aditivos artificiales, como grasas hidrogenadas, ácido fosfórico, aspartamo y glutamato monosódico, que han sido asociados con problemas de salud tan diversos como patologías cardíacas, osteoporosis, migrañas e hiperactividad.

Algunos estudios han demostrado que, en promedio, los alimentos orgánicos tienen mayor contenido de vitamina C, mayores niveles de minerales y mayor contenido de fenólicos vegetales compuestos vegetales que pueden combatir el cáncer y las patologías cardíacas, y combatir alteraciones neurológicas relacionadas con la edad y un contenido sustancialmente menor de nitratos, un compuesto tóxico.

**Las prácticas agrícolas sustentables han demostrado ser beneficiosas en todos los aspectos que tienen que ver con la salud y el ambiente. Además, brindan seguridad alimentaria y bienestar social y cultural a comunidades locales de todas partes del mundo. Hay una necesidad imperiosa de dar un amplio giro a escala mundial hacia todas las formas de agricultura sustentable.**

### **Primera Parte:**

#### **No hay futuro para los cultivos transgénicos**

**1**

#### **¿Por qué NO a los transgénicos?**

##### **Los cultivos transgénicos no son ni necesarios ni deseados**

Ya no existen más dudas de que no se necesitan cultivos transgénicos para alimentar el mundo, y que el hambre es provocada por la pobreza y la desigualdad y no por una producción insuficiente de alimentos. Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), hay una producción de alimentos suficiente como para alimentar a todo el planeta *utilizando solamente cultivos convencionales*, y que esa situación se mantendrá igual por lo menos durante 25 años y quizás más [2].

Además, como han argumentado Altieri y Rosset, aún en el caso de que el hambre se debiera a un desfase de la producción de alimentos con respecto al crecimiento de la población humana, los cultivos transgénicos actuales no están concebidos como para aumentar el rendimiento de los agricultores pequeños y pobres, de manera que difícilmente los beneficiarán [3]. La verdadera causa estructural del hambre es la desigualdad y por eso cualquier método que apunte a aumentar la producción de alimentos profundizando la desigualdad está destinado a fracasar en el objetivo de reducir el hambre [4]. Un informe reciente de ActionAid concluye que: "Probablemente la adopción generalizada de cultivos transgénicos exacerbe las causas subyacentes de la inseguridad alimentaria con lo cual aumentará la cantidad de personas con hambre, en lugar de disminuir" [5].

Más importante aún: los cultivos transgénicos no son deseados, y por buenas razones. Los cultivos transgénicos no han brindado los beneficios prometidos, están causando problemas cada vez mayores en las fincas rurales y a pesar de que hay una carencia enorme de investigaciones en materia de seguridad, se han logrado reunir numerosas pruebas de los peores peligros que plantean.

A la vez, existen numerosas pruebas de los buenos resultados de las prácticas sustentables en la agricultura, lo que deja en claro cuál debería ser la opción responsable que deberían adoptar los países.

El mercado mundial de cultivos transgénicos se ha reducido a la par que se ha producido un aumento drástico de la superficie cultivada desde 1994, cuando se plantó en los Estados Unidos el primer cultivo transgénico el tomate Flavr Savr- un producto que resultó un fracaso comercial y que pronto fue retirado del mercado. En los siete años que van de 1996 a 2002, la superficie mundial de cultivos transgénicos aumentó de 1,7 a 58,7 millones de hectáreas. Pero tan solo cuatro países ocuparon el 99% de la superficie mundial de cultivos transgénicos de 2002. Estados Unidos plantó 39 millones de hectáreas (66% del total mundial), Argentina 13,5 millones de hectáreas, Canadá 3,5 millones de hectáreas y China 2,1 millones de hectáreas [6].

La resistencia mundial a los transgénicos alcanzó su punto más alto el año pasado cuando Zambia, a pesar de la amenaza de hambruna, rechazó un embarque de maíz transgénico enviado como ayuda alimentaria. Desde entonces, y luego que una delegación de alto rango fuera invitada a visitar varios países, entre ellos Estados Unidos y el Reino Unido, Zambia se ha mantenido firme en su decisión.

Mientras redactábamos este informe comenzó una huelga de hambre en Filipinas, en protesta por la aprobación comercial del maíz Bt de Monsanto.

En India, Zimbabue y Brasil se han organizado tribunales populares y otras formas de democracia participativa y de intervención social, para permitir que los pequeños agricultores y las comunidades rurales marginadas puedan evaluar los riesgos y la conveniencia de los cultivos transgénicos de acuerdo con sus propios parámetros y conforme a sus propios criterios y nociones de bienestar.

Los resultados muestran que en los casos en que esos eventos se han promovido de manera confiable, creíble y no tendenciosa, los pequeños agricultores y pueblos indígenas han rechazado los cultivos transgénicos en función del argumento de que no los necesitan y que la tecnología de la manipulación genética no está probada y no resuelve sus necesidades [7,8].

El sector agrícola encabezó la caída drástica de la industria biotecnológica antes del auge alcanzado en 2000 en ancas del proyecto del genoma humano. El Instituto de Ciencia en Sociedad (ISI, por Institute of Science in Society) ha resumido las pruebas en un documento especial presentado a la Unidad de Estrategia sobre Transgénicos del Primer Ministro del Reino Unido, en respuesta a la consulta pública realizada acerca del potencial económico de los cultivos transgénicos [9]. Desde entonces las cosas han empeorado para la industria de la ingeniería genética en su totalidad [10].

Un informe publicado en abril de 2003 por Innovest Strategic Value Advisors [11] ubicó a Monsanto en la posición más baja, dando a entender que la biotecnología agrícola es una industria de alto riesgo en la que no vale la pena invertir a menos que aparte su mira de la ingeniería genética (ingeniería genética, sinónimo de transgénicos). El informe establece lo siguiente:

"El dinero que se traslada de las compañías de la ingeniería genética a los políticos así como la frecuencia con la que los empleados de las compañías de la ingeniería genética se emplean en los organismos reguladores de Estados Unidos (y viceversa), crea una situación propicia para que existan posiciones tendenciosas y reduce la capacidad de los inversionistas de confiar en las afirmaciones del gobierno de los Estados Unidos que garantizan la seguridad de los transgénicos. También ayuda a aclarar por qué el gobierno de los Estados Unidos no ha adoptado un enfoque de precaución con respecto a la ingeniería genética y continúa impidiendo el etiquetado transgénico aun cuando la opinión pública está mayoritariamente a favor del mismo.

El informe concluye diciendo: "Monsanto podría ser otro desastre inminente para los inversionistas".

### **Los cultivos transgénicos no trajeron los beneficios prometidos**

Los cultivos transgénicos sencillamente no trajeron los beneficios prometidos. Ese es el resultado contundente de investigaciones independientes y estudios de campo investigados por el agrónomo Charles Benbrook en los Estados Unidos desde 1999 [12,13], lo cual ha sido corroborado por otros estudios [14].

Miles de ensayos controlados de soja transgénica registraron una reducción importante de la producción, de 5 a 10% y en algunos casos incluso de 12 a 20%, comparada con la soja no transgénica. Se ha informado de caídas similares del rendimiento ocurridas en campos de ensayo en Gran Bretaña con colza de invierno y remolacha azucarera transgénicas.

Los cultivos transgénicos no han logrado que se reduzca de manera sustancial la aplicación de herbicidas y plaguicidas/insecticidas. La soja Roundup Ready (RR) necesitó de 2 a 5 veces más herbicidas (medido en libras aplicadas por unidad de superficie) que otros sistemas de manejo de malezas. De manera similar, los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos indican que en 2000, el acre (0,4047 ha.) promedio de maíz RR fue tratado con 30% más de herbicida que el acre promedio de maíz no transgénico.

El análisis de los datos oficiales de cuatro años del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos sobre la utilización de insecticida muestra un panorama bastante claro [13]. Mientras que el algodón Bt ha reducido el uso de insecticida en varios Estados, el maíz Bt ha tenido muy pocos efectos, si acaso tuvo alguno, en la aplicación de insecticida para maíz. Los datos referidos demuestran que las aplicaciones de insecticida específico para el gusano barrenador del maíz europeo aumentaron de aproximadamente un 4% de acres tratados en 1995 a alrededor de 5% en 2000.

El mayor costo que tienen las semillas transgénicas, el aumento de la utilización de herbicidas/plaguicidas, la caída de la producción, los *royalties* sobre las semillas y la pérdida de mercados, todo sumado se traduce en una pérdida de ingresos para los agricultores. El primer análisis económico a nivel de finca del maíz Bt en los Estados Unidos reveló que entre 1996 y 2001, la pérdida neta para los agricultores fue de 92 millones de dólares o aproximadamente 1,31 dólares por acre.

Un informe de la Asociación del Suelo (Soil Association) del Reino Unido [15] publicado en setiembre de 2002 estimó que los cultivos transgénicos han costado a los Estados Unidos 12.000 millones de dólares en concepto de subsidios agrícolas, pérdida de ventas y reclamaciones del producto debido a contaminación transgénica. Lo resumió de la manera siguiente: "Las pruebas que exponemos indican que ... prácticamente no se cumplieron ninguno de los beneficios anunciados por los cultivos transgénicos. Por el contrario, los agricultores informan que hay menor rendimiento, que continúa la dependencia de herbicidas y plaguicidas, que se ha perdido acceso a los mercados y, lo que es más grave, se redujo la rentabilidad, con lo cual la producción de alimentos quedó aún más vulnerable frente a los intereses de las compañías biotecnológicas y dependiendo, además, de subsidios".

Esos estudios no han tomado en cuenta los cultivos que han fracasado en otras partes del mundo, de los cuales el más grave es el caso de India el año pasado [16]. Se informó que en varios estados de India los cultivos de algodón transgénico sufrieron pérdidas generalizadas de hasta un 100%, en algunos casos porque no germinaron, otros porque la raíz se pudrió y otros fueron atacados por la lagarta americana *Helicoverpa armigera*, a la cual se suponía que el algodón Bt era resistente.

## **2**

### **Cada vez más problemas en el agro**

#### **La inestabilidad transgénica**

Es muy probable que los fracasos generalizados del algodón transgénico en la India, así como de otros cultivos transgénicos en distintos lugares, se deban al hecho de que los cultivos transgénicos son muy inestables, un problema que fue señalado en 1994 por un estudio de Finnegan y McElroy [17]:

"Si bien hay algunos ejemplos de plantas que muestran expresión estable de un transgen, eso podría probar que son las excepciones a la regla. En una encuesta informal que abarcó a más de 30 compañías involucradas en la comercialización de cultivos transgénicos ... casi todos los encuestados indicaron que habían observado cierto grado de inactividad del transgen. Muchos indicaron que la mayoría de los casos de inactividad del transgen nunca llegaron a registrarse en la literatura especializada".

Hay, sin embargo, importante bibliografía científica sobre la inestabilidad transgénica [18,19]. Toda vez que se han aplicado herramientas moleculares apropiadas para investigar el problema, invariablemente se encuentra inestabilidad, y eso se cumple aun en casos en que se ha aducido *estabilidad* transgénica. En una publicación [20] en cuyo resumen se establece que "la expresión transgénica fue estable en las líneas de todos los genotipos del arroz", los datos presentados en realidad demostraron que *como máximo, 7 de 40 (18%) líneas podrían ser estables a la generación de R3* [21]. Este documento, como muchos otros, también forzó los resultados para desviarlos sustancialmente de los "coeficientes mendelianos" establecidos arbitrariamente como signo de herencia mendeliana, o estabilidad genética. Es un error tan elemental en estadística y genética que si lo cometiera un estudiante perdería el examen.

Hay dos grandes causas de inestabilidad transgénica. La primera tiene que ver con los mecanismos de defensa que protegen la integridad del organismo, que "silencian" o desactivan los genes extraños integrados al genoma de manera que no se expresen más. El silenciamiento de los genes fue descubierto por primera vez a principios de 1990 en conexión con transgenes integrados, y ahora se sabe que forma parte de la defensa del organismo contra las infecciones virales.

La segunda gran causa de inestabilidad tiene que ver con la inestabilidad *estructural* de las propias construcciones transgénicas, su tendencia a fragmentarse, a romperse en las uniones artificiales débiles, y a recombinarse incorrectamente, a menudo con otro ADN que pueda estar cerca. Esto es quizás lo más grave desde el punto de vista de la seguridad ya que aumenta la transferencia horizontal de genes y la recombinación (ver más adelante).

Más recientemente se ha descubierto otra fuente más de inestabilidad [18]. Parece que hay ciertos "lugares receptivos ideales" para la integración transgénica en los genomas tanto de vegetales como del ser humano. Esos lugares receptivos ideales podrían ser también "lugares de recombinación ideales", propensos a separarse y volver a unirse. Eso también aumentaría la probabilidad de que los transgenes insertados volvieran a soltarse, a recombinarse o a invadir otros genomas. Las investigaciones también demuestran que podría presentarse inestabilidad transgénica en generaciones posteriores y que no necesariamente se expresa en las primeras generaciones. Esto puede dar como resultado un rendimiento irregular y malo de los cultivos transgénicos en el agro, un problema que no está debidamente registrado pues seguramente los agricultores que arreglan el pago de una compensación lo hacen a cambio de una cláusula "mordaza".

### ***Paren las rotativas***

Un informe de reciente publicación (Makarevitch I, Svitashv SD y Somers DA. Complete sequence analysis of transgene loci from plants transformed via microprojectile bombardment. *Plant Molecular Biology* 2003, 52, 421-32) revela que los problemas asociados con la integración incontrolable e impredecible de transgenes son aun peor de lo que parecen, y que los transgénicos de ninguna manera podrían ser equiparados al mejoramiento convencional o a la mutagénesis.

Los autores señalan que la mayoría de las líneas transgénicas producidas por bombardeo de microproyectiles tienen "loci complejos del transgen, compuestos de múltiples copias del ADN transmitido entero, trunco y reordenado, que con frecuencia se organizan como repeticiones directas o invertidas, entremezcladas con fragmentos de ADN genómico de dimensiones variables" y que el ADN transmitido se integra a los genomas vegetales principalmente a través de una "recombinación ilegítima (IR en inglés) asociada con la reparación de la ruptura de la doble hélice (DSB en inglés), un proceso que también tiene que ver con la integración de ADN-T en los genomas de la levadura y los vegetales".

"Algunos de los rasgos característicos de la 'recombinación ilegítima' (IR) en los loci del transgen producidas a través de la transmisión directa de ADN son la mezcla de las secuencias del transgen a través de la recombinación de fragmentos no contiguos tanto grandes como pequeños del ADN transmitido, la frecuente incorporación de secuencias de ADN genómico en los loci del transgen y el reordenamiento en el ADN genómico adyacente al locus del transgen".

A menudo no es posible distinguir cabalmente los sitios diana debido a los desplazamientos y eliminaciones de ADN genómico adyacente. Esto significa que no es siquiera posible identificar el lugar en el cual el transgen se ha integrado al genoma, aún cuando se conozca la secuencia entera del genoma receptor.

Los investigadores han realizado la secuencia completa de algunos loci del transgen en avena transgénica que parecen ser "simples" y por lo tanto podrían estar cerca de tener el orden genético y las secuencias normales del genoma adyacente esperados.

Lamentablemente, los tres loci "simples" poseen regiones de pequeños fragmentos de ADN transmitido y genómico mezclados. Todos los loci también exhibieron ADN de relleno mezclado (de origen desconocido) adyacente al ADN del transgen, o pruebas de que se había eliminado el sitio diana del ADN.

Una de las líneas transgénicas estudiadas fue caracterizada previamente y demostró tener un único locus principal con una longitud estimada de aproximadamente 15 kb. Sin embargo, la progenie T1 analizada con la técnica "southern blot" con tiempos de exposición más largos y más ADN genómico, dio dos nuevos loci menores del transgen.

Los análisis "southern" demostraron que el ADN genómico adyacente a ambos lados de uno de los loci fue altamente repetitivo. Al alinear el producto PCR (reacción en cadena de la polimerasa) del locus del transgen con el tipo silvestre, se comprobó que se habían borrado 845 pares de bases de ADN genómico del genoma del tipo silvestre durante la integración del transgen, y que los trozos de ADN genómico de origen desconocido se integraron al locus como ADN de relleno a ambos lados del ADN del transgen.

Los sitios diana de los otros dos loci no pudieron ser identificados porque el ADN genómico estaba muy mezclado. Los autores también señalaron que "se acepta ahora que las estimaciones del número de locus del transgen basadas en índices de segregación fenotípica son imprecisas debido a las perturbaciones de la expresión del transgen ya sea por el silenciamiento del transgen o por la reorganización de las posiciones del transgen". Según sea el sondeo utilizado, los loci pequeños, no funcionales, sencillamente no son detectados.

Los sitios de integración son más que aleatorios. Hay pruebas de que el ADN transgénico suele introducirse en regiones ricas en genes y en regiones propensas a quebrarse en la doble hebra. Lo primero aumenta el potencial de actividad e inactividad de los genes, y lo último aumenta la inestabilidad estructural de los transgenes y las líneas transgénicas.

### **Voluntarios y malezas**

En 1998 se descubrió por primera vez en Alberta, Canadá, la presencia de voluntarios de semillas de colza con triple tolerancia a herbicidas. Eso ocurrió apenas dos años después de que se plantaran cultivos transgénicos con tolerancia única a herbicidas [22]. Un año después volvieron a encontrarse esos voluntarios con tolerancia múltiple a herbicida en otros 11 campos [23]. Estados Unidos comenzó a cultivar colza transgénica tolerante a herbicida recién en 2001. Una investigación llevada a cabo en la Universidad de Idaho informó que habían ocurrido situaciones similares de inserciones múltiples de genes en campos experimentales por el término de dos años, y que en ese mismo período también se habían encontrado malezas con dos rasgos de tolerancia a herbicida.

Desde entonces se han identificado muchos otros problemas con las malezas (resumidas en la ref. 24). En 2002, en el oeste de Tennessee, Estados Unidos, más de 800.000 hectáreas de algodón fueron infestadas con cola de caballo resistente a glifosato, lo que representó el 35% de toda la superficie del Estado plantada con algodón. También fueron afectadas más de 800.000 hectáreas de porotos de soja. El problema con los voluntarios y las malezas tolerantes a herbicida es tal que las compañías han estado recomendando que se apliquen más herbicidas. Los agrónomos de Estados Unidos revelan que del 75% al 90% de los cultivadores de maíz transgénico están utilizando un producto denominado Liberty ATZ una mezcla de Aventis de glufosinato de amonio que mata las malezas, más Atrazina, el herbicida tradicional utilizado en los cultivos de maíz y que ha sido un plaguicida problemático durante décadas [25]. La Atrazina está en la Lista Roja y en la Lista Prioritaria de Europa porque provoca alteraciones hormonales en los animales. Incluso el glufosinato está lejos de ser benigno (ver más adelante).

Los cultivos Bt también están teniendo problemas por la alta probabilidad que existe de que se genere resistencia en las plagas combatidas (ver más adelante). Una nueva solicitud de patente de Monsanto se basa en la aplicación de dos insecticidas con sus cultivos Bt, con la argumentación de que los cultivos Bt podrían

producir cepas de plagas de insectos resistentes, y "sigue habiendo numerosos problemas ... en condiciones de campo reales". Investigaciones recientes revelan que el cruzamiento de transgenes de girasol Bt con parientes silvestres hizo a estos últimos más resistentes y prolíficos, con la posibilidad de que se conviertan en supermalezas [26].

### **Resistencia al Bt**

Los cultivos Bt son manipulados genéticamente para producir proteínas insecticidas derivadas de genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). La probabilidad de que las plagas combatidas de los cultivos Bt adquieran rápidamente resistencia a las toxinas Bt es tan grande y real que en Estados Unidos se adoptan estrategias de manejo de la resistencia, que implican la instalación de "refugios" de cultivos no Bt y el desarrollo de cultivos Bt con altos niveles de expresión, o múltiples toxinas en el mismo cultivo.

Lamentablemente, las plagas han adquirido resistencia a múltiples toxinas, o resistencia cruzada a diferentes toxinas [27]. Investigaciones recientes revelan que las cepas resistentes son incluso capaces de obtener valor nutritivo adicional de la toxina, con lo cual es posible que se conviertan en plagas más peligrosas que antes.

### **Contaminación transgénica extendida**

En noviembre de 2001, los fitogenetistas de Berkeley, Ignacio Chapela y David Quist, publicaron un informe en *Nature* [28] presentando pruebas de que razas criollas de maíz cultivado en regiones remotas de México habían sido contaminadas con transgenes, a pesar de que se había establecido en el país una moratoria oficial al cultivo de maíz transgénico.

Esto desencadenó un ataque concertado de científicos pro-biotecnología, que se alega fue orquestado por Monsanto [29]. En febrero de 2002, *Nature* retiró su apoyo al documento, un acto sin precedentes en toda la historia de la publicación científica para un documento que no era incorrecto ni había sido impugnado en su conclusión principal. Ulteriores investigaciones por parte de científicos mexicanos confirmaron el hallazgo, demostrando que la contaminación era mucho más extensa de lo que se había sospechado previamente [30]. El 95% de los sitios donde se tomaron muestras estaban contaminados, con grados de contaminación que variaban del 1% al 35%, promediando de 10% a 15%. Las compañías involucradas se han negado a brindar información molecular o sondeos para la investigación, lo que permitiría identificar cuáles son las partes responsables por los daños causados. *Nature* se negó a publicar esos resultados confirmatorios.

Un factor importante considerado por el informe Innovent (ver más adelante) que condenaría a Monsanto es la importante pérdida del inversionista que resultaría de la contaminación transgénica no intencional. *La contaminación es inevitable, se establece en el informe, y podría causar la bancarrota de Monsanto y otras compañías biotecnológicas, dejando que el resto de la sociedad resuelva el problema.*

Según Ignacio Chapela, quien se encuentra atrapado en la controversia resultante y con su cargo en la Universidad pendiente de un hilo, la contaminación transgénica en México sigue creciendo.

La extensión de la contaminación de semillas no transgénicas es alarmante. Se dice que un vocero de *Dow Agroscience* declaró en Canadá que "todo el sistema de semillas está contaminado" [31]. El Dr. Lyle Friesen, de la Universidad de Manitoba, probó 33 muestras que representaban 27 razas de semilla de colza de pedigrí y encontró 32 contaminadas [32]. Las pruebas sobre el movimiento del polen revelaron que el polen de trigo permanece en el aire como mínimo durante una hora, lo que significa que podría ser llevado a enormes distancias, dependiendo de la velocidad del viento. El polen de colza es aún más liviano y puede permanecer en el aire de 3 a 6 horas. No es nada raro que haya vientos de 50 kilómetros por hora, lo que "convierte en una verdadera burla que la distancia de separación sea de decenas o incluso cientos de metros", comentó Percy Schmeiser, famoso agricultor canadiense a quien el tribunal de Canadá le ordenó pagar "daños" a Monsanto, a pesar de haber argumentado que el cultivo transgénico de su vecino le había contaminado sus campos. Schmeiser perdió la apelación ante el Tribunal Federal, pero obtuvo el derecho a ser oído en el Supremo Tribunal de Canadá. Los agricultores orgánicos de Saskatchewan también iniciaron una acción legal contra Monsanto y Aventis por contaminar sus cultivos y arruinar su calidad de orgánicos.

En mayo de 2000, la Comisión Europea ordenó al Instituto de Estudios de Prospección y Tecnológicos (IPTS en inglés) del Centro Común de Investigación (JRC) de la UE, el estudio de la coexistencia de cultivos transgénicos y no transgénicos. Una vez terminado, el estudio fue entregado a la Comisión Europea en enero de 2002, con la recomendación de que *no* se hiciera público. El estudio silenciado, que se filtró y llegó a Greenpeace [33], confirmó lo que ya se sabe: que en muchos casos la coexistencia de la agricultura transgénica y no transgénica u orgánica es imposible. Incluso en los casos en que fuera técnicamente posible requeriría medidas costosas para evitar la contaminación y aumentaría los costos de producción de todos los agricultores, especialmente los pequeños.

La contaminación transgénica no se limita a la polinización cruzada. Nuevas investigaciones demuestran que el polen transgénico esparcido por el viento y depositado en distintos lugares o caído directamente al suelo, es una fuente importante de contaminación transgénica [34]. Ese tipo de ADN transgénico ha sido encontrado incluso en campos donde nunca se habían plantado cultivos transgénicos, y se reveló que las muestras de suelo contaminadas con polen transfieren ADN transgénico a las bacterias del suelo (ver más adelante).

¿Por qué la contaminación es un tema tan importante? La respuesta inmediata es que los consumidores no la aceptan. La razón más importante es que subsisten temores en materia de seguridad.

## **SEGUNDA PARTE:**

### **Los cultivos transgénicos no son seguros**

#### **3**

### **Ciencia y precaución**

#### **Precaución, sentido común y ciencia**

Se nos dice que no hay pruebas científicas de que la manipulación transgénica sea perjudicial. Pero ¿es segura? Esa es la cuestión que deberíamos preguntar. Cuando algo puede provocar un daño grave e irreversible es correcto y corresponde que los científicos exijan pruebas que demuestren que la manipulación genética es segura *más allá de toda duda razonable*. A esto se le suele dar el nombre rimbombante de "principio de cautela" o "principio de precaución", pero para los científicos y para la opinión pública es tan solo sentido común [35-37].

Las pruebas científicas no difieren de las pruebas comunes, y deberían ser entendidas y juzgadas de la misma forma. Hay que sopesar y combinar pruebas de diferentes fuentes y de diferentes tipos para guiar las decisiones en materia de políticas y las acciones. Eso es buena ciencia y buen juicio.

La ingeniería genética implica recombinar es decir, unir en nuevas combinaciones ADN de distintas fuentes, e insertarlo en los genomas de organismos para convertirlos en "organismos modificados genéticamente", u "organismos manipulados genéticamente" o transgénicos [38].

Los transgénicos no son naturales, no solamente porque han sido producidos en el laboratorio sino porque muchos de ellos *únicamente* pueden hacerse en el laboratorio, muy distinto de lo que la naturaleza ha producido en el curso de millones de años de evolución.

Por lo tanto, es posible introducir nuevos genes y productos genéticos muchos de ellos de bacterias, virus y otras especies, o incluso genes producidos enteramente en el laboratorio en cultivos, incluso cultivos alimenticios. Pero nunca antes habíamos ingerido esos genes y productos genéticos nuevos, ni tampoco han formado parte de nuestra cadena alimenticia.

Las construcciones artificiales son introducidas a las células por métodos invasivos que provocan su integración aleatoria al genoma, dando lugar a efectos impredecibles, aleatorios, incluso anomalías importantes tanto en animales como en plantas, así como a la aparición de toxinas y alérgenos inesperados en cultivos alimenticios. En otras palabras, no hay posibilidad de realizar un control de calidad. Este problema se agrava con la inestabilidad de las líneas transgénicas, que hace prácticamente imposible realizar una evaluación de riesgo.

### Una evaluación de riesgo antiprecautoria

Si los reguladores hubieran tomado la evaluación de riesgo en serio se habría identificado muchos de los problemas. Pero como señalaron Ho y Steinbrecher [39], hubo errores básicos desde el principio en el procedimiento de evaluación de la seguridad alimentaria, tal como se formuló en el Informe Conjunto de la FAO y la OMS sobre Biotecnología y Seguridad Alimentaria, resultante de una Consulta de Expertos en Roma realizada del 30 de setiembre al 4 de octubre de 1996, que ha servido desde entonces como modelo principal.

Ese Informe fue criticado por:

- Hacer afirmaciones cuestionables sobre los beneficios de la tecnología.
- No asumir responsabilidades por la seguridad alimentaria, o no abordar aspectos importantes de la misma, tales como la utilización de cultivos alimenticios para la producción de fármacos y productos químicos industriales, así como también por cuestiones de etiquetado y control.
- Restringir el alcance de las consideraciones en materia de seguridad para excluir peligros conocidos tales como la toxicidad de los herbicidas de amplio espectro.
- Aducir erróneamente que la ingeniería genética no difiere del mejoramiento convencional.
- Utilizar un "principio de equivalencia sustancial" para la evaluación del riesgo que no sólo es arbitrario sino también poco científico.
- No tener en cuenta los impactos a largo plazo en la salud y la seguridad alimentaria.
- Ignorar los resultados científicos existentes sobre peligros identificables, en especial los que resultan de la transferencia horizontal y la recombinación de ADN transgénico.

Todo eso conforma una "evaluación de la seguridad" opuesta a la precaución, destinada a dar una aprobación rápida al producto a expensas de las consideraciones de seguridad.

El principio de la "equivalencia sustancial" es una vergüenza en términos de la evaluación del riesgo

Las mayores fallas están en el principio de la "equivalencia sustancial", que supuestamente sirve como elemento principal de la evaluación del riesgo. El informe estableció lo siguiente:

"La equivalencia sustancial conlleva el concepto de que si se considera que un alimento o componente alimenticio nuevo es sustancialmente equivalente a un alimento o componente alimenticio ya existente, puede ser tratado de la misma manera con respecto a la seguridad (es decir, puede concluirse que el alimento o el componente alimenticio es tan seguro como el alimento o el componente alimenticio convencional)".

Como puede apreciarse, el principio es vago y está mal definido. Pero lo que sigue aclara que el propósito es hacerlo lo más flexible, maleable y abierto a interpretaciones posibles.

"El establecimiento de una equivalencia sustancial no es una evaluación de la seguridad propiamente dicha, sino un ejercicio dinámico, analítico en la evaluación de la seguridad de un alimento nuevo con relación a un alimento existente. La comparación puede ser una tarea sencilla o muy larga, dependiendo del caudal de conocimiento de que se disponga y de la naturaleza del alimento o del componente alimenticio en consideración. Los rasgos de referencia para las comparaciones de equivalencia sustancial deben ser flexibles y cambiarán con el tiempo de acuerdo con las necesidades cambiantes de los fabricantes y consumidores y con la experiencia".

En otras palabras, no se requerirían pruebas ni habría ensayos específicos para establecer la equivalencia sustancial. Las compañías tendrían la libertad de comparar lo que les resulte más rápido para aducir equivalencia sustancial, y llevar a cabo las pruebas menos discriminantes que ocultarían la existencia de alguna diferencia sustancial.

En la práctica, el principio de equivalencia sustancial ha permitido a las empresas:

- Hacer las pruebas menos discriminantes, tales como composiciones crudas de proteínas, carbohidratos y lípidos, aminoácidos, determinados metabolitos.
- Evitar la caracterización molecular detallada del inserto transgénico para establecer la estabilidad genética, los perfiles de expresión genética, los perfiles metabólicos, etc., que hubieran revelado la presencia de efectos no buscados.
- Aducir que la línea transgénica es sustancialmente equivalente a la línea no transgénica, excepto por el producto transgénico, y llevar a cabo la evaluación del riesgo exclusivamente sobre el producto del transgen, ignorando con ello, nuevamente, la presencia de cualquier cambio no buscado.
- Evitar la comparación de la línea transgénica con su "pariente" no transgénico presente en el mismo tipo de condiciones ambientales.
- Comparar la línea transgénica con cualquier variedad dentro de la especie, e incluso con una entidad abstracta conformada por el compuesto de determinadas características del total de variedades dentro de la especie, de manera que la línea transgénica podría tener los peores rasgos de todas las variedades e igual seguiría considerándose que tiene equivalencia sustancial.
- Comparar componentes diferentes de una línea transgénica con especies diferentes, como en el caso de una colza transgénica manipulada genéticamente para producir ácido láurico. Pero "otros componentes de ácidos grasos son reconocidos generalmente como seguros cuando son evaluados individualmente, porque están presentes en niveles similares en otros aceites de consumo corriente".

Con razón el Informe pudo continuar diciendo:

"Hasta el momento, y probablemente siga así en un futuro cercano, ha habido pocos ejemplos si acaso hubo alguno de alimentos o componentes de alimentos producidos mediante modificación genética que pudiera considerarse que no eran sustancialmente equivalentes a los alimentos o componentes de alimentos existentes".

La inestabilidad transgénica torna aún más ridícula la reglamentación basada en este principio de equivalencia sustancial. Un documento presentado hace un año en un taller de la OMS [40] establecía: "La dificultad principal asociada con la evaluación de la bioseguridad de los cultivos transgénicos es la naturaleza impredecible de la transformación. Esa condición imprevisible es lo que motiva el temor de que las plantas transgénicas se comportarán de manera contradictoria cuando sean cultivadas comercialmente".

Por consiguiente, las papas transgénicas, que en los campos de ensayo "mostraron marcadas deformidades en la morfología del brote y un bajo rendimiento del tubérculo con la presencia de escasos tubérculos pequeños y deformados", como según las pruebas aplicadas "no presentaron prácticamente cambio alguno en la calidad del tubérculo", fueron aprobadas como "sustancialmente equivalentes".

Por lo tanto, contrariamente a lo que se ha argumentado ampliamente, los alimentos transgénicos nunca pasaron las pruebas necesarias que podrían haber establecido que son seguros. La Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (FDA en inglés) había decidido en 1992 que la ingeniería genética era simplemente una extensión del mejoramiento convencional y que por lo tanto no era necesario realizar evaluaciones en materia de seguridad.

Belinda Martineau, la científica que condujo los estudios de seguridad del tomate Flavr Savr en la compañía Calgene, publicó un libro [41] en el cual estableció que "el tomate de Calgene no debería servir como una norma de seguridad para esta nueva industria. Ningún producto manipulado genéticamente debería servir". Martineau censura enérgicamente la falta de datos sobre los impactos de los cultivos transgénicos en la salud y el ambiente. "Proclamar simplemente que `esos alimentos son seguros y no hay pruebas científicas de lo contrario' no es lo mismo que decir que `se han realizado numerosas pruebas y aquí están los resultados'".

En febrero de 2002 la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos dio a conocer un informe en el que criticaba al Departamento de Agricultura de

Estados Unidos (USDA, en inglés) por no proteger adecuadamente el ambiente de los riesgos de las plantas transgénicas [42]. Manifestó que los procesos de evaluación de la USDA carecen de justificación científica y no se aplican de manera uniforme; la evaluación de los riesgos ambientales, particularmente de las plantas manipuladas genéticamente para ser resistentes a insectos, fue "generalmente superficial" y que el proceso "impide una evaluación externa y no permite la transparencia" al mantener las evaluaciones ambientales en carácter confidencial, como secretos comerciales. El informe reclama a la USDA que su proceso de evaluación sea "sustancialmente más riguroso y transparente", que procure que expertos científicos externos evalúen sus resultados y que solicite mayores aportes de la opinión pública.

En efecto, hay muy pocos estudios independientes dedicados a la seguridad de los cultivos transgénicos con respecto a la salud y el ambiente. Sin embargo, existen suficientes pruebas acumuladas para indicar que los cultivos transgénicos no son seguros. Ya estamos muy adentrados en el período inicial en el cual el sentido común o la aplicación del principio de precaución todavía pueden evitar y amortiguar los desastres que muy probablemente ocurran en el más largo plazo [43].

## 4 Pruebas de seguridad de los alimentos transgénicos

### Escasez de datos publicados

Es notoria la escasez de datos publicados con relación a la seguridad de los alimentos transgénicos. Y no sólo eso; la calidad científica de lo que ha sido publicado, en la mayoría de los casos no llega a los niveles generalmente esperados de lo que se entiende por buena ciencia.

En respuesta a la reciente investigación del parlamento escocés acerca de los impactos de los cultivos transgénicos en la salud [44], Stanley Ewen, histopatólogo del Hospital Trust de la Universidad Grampian y jefe del programa Piloto de Investigación del Cáncer de Colon en la Región Grampian, resumió la situación de la manera siguiente: "Es lamentable que se disponga de muy pocos ensayos en animales de alimentos transgénicos para humanos, tanto en el dominio público y como en la bibliografía científica. El corolario es que los alimentos transgénicos no han demostrado no tener riesgo y, en efecto, los resultados científicos experimentales de que se dispone son motivo de preocupación".

Dos informes anteriores a 1999 revelaron efectos nocivos en animales alimentados con transgénicos. El primero fue un informe presentado a la Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos sobre ratas alimentadas con tomates transgénicos Flavr Savr. Varias ratas presentaron erosiones (principio de úlcera) en el revestimiento del estómago, similares a las presentes en el estómago de seres humanos adultos por efecto de la aspirina o medicación similar. En los seres humanos esa clase de principios de úlcera pueden causar hemorragias con riesgo importante de vida. El segundo documento, aparecido en una publicación *inter pares*, estaba referido a la alimentación de ratones machos de meses de edad con papas transgénicas crudas. Los resultados revelaron un proceso de proliferación celular en el intestino delgado bajo [45].

### El estudio de Pusztai y sus colaboradores

No se había realizado ningún estudio importante sobre los impactos de los transgénicos en la salud hasta que lo que entonces era la Oficina Escocesa del Departamento de Agricultura, Medio Ambiente y Pesca (SOAEFD, en inglés) financió el proyecto dirigido por Arpad Pusztai en el Instituto Rowett para realizar una investigación seria de los posibles riesgos para el ambiente y la salud de las papas transgénicas que habían sido transformadas por científicos británicos utilizando un gen tomado de bulbos de la lectina del "snowdrop" (*galanthia nivalis*) [46].

Los estudios revelaron que las dos líneas transgénicas de papas modificadas genéticamente originadas del mismo experimento y ambas resistentes a las plagas de áfidos no eran sustancialmente equivalentes en su composición a las líneas parentales, ni entre sí. El concepto rudimentario, mal definido y anticientífico de "equivalencia sustancial" en que los reguladores basan la evaluación de riesgo, ha sido criticado por la forma en que fue concebido (ver más adelante). Ciertamente ha sobrevivido a su utilidad.

Más importante aún, los resultados demostraron que las dietas conteniendo papas transgénicas habían interferido en algunos casos con el crecimiento de las ratas jóvenes y con el desarrollo de algunos de sus órganos vitales, induciendo cambios en la estructura y función intestinal y reduciendo su respuesta inmunológica a antígenos nocivos. Por el contrario, los animales alimentados con una dieta que contenía las papas parentales no transgénicas o dichas papas complementadas con el producto genético, no tuvieron los mismos efectos. Desde entonces se han publicado algunos de los resultados [47-51]. El último documento [51] es un estudio extenso sobre las pruebas de seguridad vinculadas con los alimentos transgénicos, algunas de las cuales son los experimentos no publicados sobre tomates transgénicos presentados ante la Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos, descritos anteriormente.

Los resultados de Pusztai y sus colegas fueron atacados por varios integrantes del *establishment* científico, pero nunca fueron rebatidos mediante una repetición del trabajo y la publicación de los resultados en revistas *inter pares*. Las investigaciones demostraron con total claridad que es posible realizar estudios toxicológicos y que la seguridad de los alimentos transgénicos debe ser establecida a partir de la alimentación a corto y largo plazo de animales jóvenes y de los estudios metabólicos y de respuesta inmunitaria de los mismos, ya que son los más vulnerables y los más propensos a responder a cualquier tensión nutricional y metabólica que afecte el desarrollo, y a manifestarla. Esta opinión es compartida por otros científicos.

El Análisis Estadístico Multivariado (MSA en inglés) de los resultados, realizado de manera independiente por el Servicio Escocés de Estadísticas Agrícolas, indicó que los principales efectos potencialmente nocivos de las papas transgénicas fueron solamente en parte causados por la presencia del transgen de la lectina del "snowdrop", y que el método de transformación genética y/o las alteraciones del genoma de la papa también contribuyeron de manera importante a la presencia de los cambios observados.

El documento de Ewen y Pusztai, publicado en *The Lancet* [48] despertó gran controversia, y los miembros de la Sociedad Real todavía continúan tratando de desacreditar a Pusztai.

Ewen y Pusztai midieron el revestimiento del intestino grueso que produce células nuevas y descubrieron que la longitud del compartimento de las células nuevas había aumentado significativamente en las ratas alimentadas con transgénicos, pero no en las ratas del grupo de control alimentadas con papas no transgénicas. El aumento de la producción de células debía ser el resultado del efecto de un factor de crecimiento inducido por la modificación genética dentro de las papas (los factores de crecimiento son proteínas que promueven el crecimiento y la multiplicación celular, que, de no ser controlados, provocan cáncer). Se observaron efectos similares en el revestimiento del estómago [51].

Otros análisis estadísticos revelaron que el efecto del factor de crecimiento no se debía a la proteína transgénica expresada, la lectina "snowdrop", sino a la construcción genética insertada en el ADN del genoma de la papa. En otras palabras, que las papas no transgénicas mezcladas con lectina sencillamente no tienen el mismo efecto. La construcción incluye no solamente el gen nuevo sino también genes marcadores y un poderoso promotor, del virus del mosaico de la Coliflor (promotor CaMV), que es motivo de un gran debate con relación a aspectos referidos a la seguridad (ver más adelante).

Ewen [44] señaló que si bien el virus entero e intacto parece inocuo, ya que hace miles de años que hemos estado comiendo hortalizas infectadas con la enfermedad del tipo de la coliflor, "la utilización por separado de la parte infecciosa del virus no ha sido probada en los animales".

Otros posibles efectos no deseados podrían estar referidos a la respuesta del hígado humano al virus de la hepatitis, ya que el virus del mosaico de la Coliflor y el virus de la hepatitis B pertenecen a la misma familia de pararetrovirus, con genomas muy similares y un ciclo de vida característico.

Más adelante nos referiremos con más detalle a esos y otros peligros potenciales del virus del mosaico de la Coliflor.

## 5

### Los peligros del transgen

#### Las toxinas Bt

El tema más obvio referido a la seguridad tiene que ver con el transgen y su producto introducido en los cultivos transgénicos, ya que son nuevos para el ecosistema y la cadena alimenticia de animales y seres humanos.

Las toxinas Bt del *Bacillus thuringiensis* incorporadas a los cultivos alimenticios y no alimenticios representan alrededor del 25% del total de cultivos transgénicos plantados actualmente en todo el mundo. Se descubrió que son nocivos para la cadena alimenticia de los ratones, las mariposas y los insectos neurópteros [27]. Las toxinas Bt también son nocivas para los insectos del orden de los Coleópteros (escarabajos, gorgojos y strepsipteras), que contiene aproximadamente 28.600 especies, mucho más que cualquier otro orden. Las plantas Bt exudan la toxina que se incorpora al suelo a través de las raíces, lo que tiene un impacto potencialmente mayor en la ecología y fertilidad del suelo.

Las toxinas Bt pueden ser alergénicos reales y potenciales para los seres humanos. Algunos trabajadores rurales expuestos a la aplicación por aspersión de Bt experimentaron irritación cutánea alérgica y produjeron anticuerpos IgE e IgG. Un grupo de científicos ha alertado contra la liberación de cultivos Bt para utilización humana. Demostraron que la protoxina recombinante CryIAc del Bt es un inmunógeno sistémico y de las mucosas, tan potente como la toxina del cólera [52].

Una cepa del Bt que causó graves necrosis (muerte de tejidos) en humanos, provocó la muerte de ratones en el término de 8 horas por síndrome de conmoción tóxica [53]. Tanto la proteína Bt como la papa Bt fueron nocivas para ratones sometidos a experimentos de alimentación, lesionándoles el íleo (parte del intestino delgado) [45]. Los ratones presentaron mitocondrias anormales, con signos de degeneración y deterioro de los microvilli (proyecciones microscópicas que emergen de la membrana de una célula) en la superficie de revestimiento del intestino.

Como el Bt o *Bacillus thuringiensis* y el *Bacillus anthracis* (especie de ántrax utilizado como armamento biológico) están estrechamente relacionados entre sí y con una tercera bacteria, el *Bacillus cereus* una bacteria común del suelo que provoca el envenenamiento de los alimentos, pueden intercambiar rápidamente plásmidos (moléculas de ADN circular que contienen orígenes de replicación genética que permiten la replicación independiente del cromosoma) que transporten genes de toxinas [54]. Si el *B. anthracis* captó genes Bt de cultivos Bt por la transferencia horizontal de genes (ver más adelante), podrían crearse nuevas cepas de *B. anthracis* con propiedades impredecibles.

#### Cultivos "farmacéuticos"

Otros genes y bacterias así como secuencias virales peligrosos se incorporan a nuestros cultivos alimenticios y no alimenticios en forma de vacunas y productos farmacéuticos de la "siguiente generación" de cultivos transgénicos [55-62]. Entre esos cultivos farmacéuticos están los que expresan citoquinas, las cuales se sabe que suprimen el sistema inmunológico, inducen enfermedades y provocan la toxicidad del sistema nervioso central, así como el interferón alfa, que se ha informado es causa de demencia y neurotoxicidad y como efecto secundario puede provocar trastornos del estado de ánimo y alteraciones cognitivas. Algunos contienen secuencias virales tales como el gen de la proteína "spike" del coronavirus de cerdo, de la misma familia que el virus del SARS vinculado con la actual epidemia mundial [63, 64].

El gen de la glicoproteína gp 120 del virus HIV-1 del SIDA, incorporado al maíz transgénico como una "vacuna oral comestible barata", es otra bomba de tiempo biológica. Existen pruebas abundantes de que este gen puede interferir en el sistema inmunológico pues tiene homología con las regiones variables de las inmunoglobulinas donde están los sitios de unión del antígeno, y tiene sitios de recombinación similares a los de las inmunoglobulinas. Además, esos sitios de recombinación también son similares a los sitios de recombinación presentes en varios virus y bacterias, con los cuales puede recombinarse la glicoproteína gp120 para generar patógenos letales [65-68].

#### ADN bacterial y viral

Una fuente de riesgo hasta ahora subestimada en los cultivos transgénicos, pero no en la terapia genética donde se reconoce como algo que debe evitarse es el ADN de las bacterias y sus virus, que tienen una elevada frecuencia de dinucleótidos CpG ([24]. Estos motivos CpG son inmunogénicos y pueden provocar inflamación y artritis séptica y promover el linfoma de la célula B y enfermedades autoinmunitarias [69-73]. Sin embargo, muchos genes introducidos en organismos transgénicos provienen de bacterias y otros virus, los que también pueden plantear riesgos (ver más adelante).

## 6

### Los cultivos *terminator* propagan la esterilidad masculina

#### Genes "suicidas" para crear esterilidad

Con el fin de evitar tediosos argumentos semánticos, por "cultivos *terminator*" (exterminadores) nos referimos aquí a cualquier cultivo transgénico manipulado con un gen "suicida" para provocar la esterilidad masculina, femenina o de la semilla, con el propósito de impedir que los agricultores guarden semillas y vuelvan a plantarlas, o para proteger rasgos patentados.

La primera vez que la opinión pública se enteró de la tecnología *terminator* fue con las patentes conjuntas del USDA y la empresa Delta and Pine Land Company. Hubo enormes protestas en todo el mundo y Monsanto, que adquirió los derechos de patente de Delta and Pine Land, abandonó los trabajos en los cultivos *terminator* descritos en esa patente. Sin embargo, como Ho y Cummins llegaron a saber, hay muchas formas de diseñar la esterilidad, y cada una de ellas es objeto de una patente por separado.

Ha trascendido que los cultivos *terminator* habían sido sometidos a ensayos de campo en Europa, Canadá y Estados Unidos desde comienzos de la década de 1990, y varios ya habían sido lanzados a la venta en América del Norte [74]. Se está haciendo ingeniería genética con la colza, tanto las variedades de primavera como de invierno, para lograr la esterilidad masculina. Este cultivo constituye la parte principal de las Evaluaciones Agrícolas a Escala del Reino Unido.

#### La colza transgénica es un cultivo *terminator*

El sistema de esterilidad masculina de esa colza transgénica se compone de tres líneas.

La *línea de esterilidad masculina* se mantiene en un estado "hemisigoto", es decir, con una sola copia del gen "suicida", llamado *barnasa*, unida a un gen de tolerancia al glufosinato. El gen *barnasa* es conducido por un promotor (interruptor genético) que se activa únicamente en la antera o parte masculina de la flor. La expresión del gen *barnasa* en la antera da lugar a la proteína barnasa, una RNAsa (enzima que rompe el ARN) que es un potente veneno para la célula. La célula muere y detiene el desarrollo de la antera, de manera que no se produce polen. Esta línea de androesterilidad o esterilidad masculina se realiza en el estado hemisigoto mediante cruzamiento con una variedad no transgénica y utilizando glufosinato de amonio para matar la mitad de las plantas de la generación siguiente que no tengan una copia del transgen H-barnasa unido.

La *línea restauradora masculina* es homocigota (con dos copias) para el gen "restaurador de la esterilidad", *barstar*, también unido al gen de tolerancia al glufosinato. El gen *barstar* también está bajo el control del promotor especial que se activa en la antera. Su expresión da la proteína *barstar*, que es un inhibidor específico de la barnasa, con lo cual neutraliza la actividad de esta última.

Al cruzar la línea de esterilidad femenina con la línea restauradora masculina se obtiene un *híbrido F1*, en el cual la barnasa es neutralizada por el *barstar*, restaurando así el desarrollo de la antera para producir polen.

Se demuestra que el híbrido F1 en realidad propaga en su polen tanto el gen de tolerancia a herbicida como el gen suicida para la esterilidad masculina, con efectos potencialmente devastadores tanto para la agricultura como para la biodiversidad natural. La promoción que los gobiernos del Reino Unido y de los Estados Unidos hacen de esas plantas anunciando que son una forma de "contener" o "impedir" la propagación de transgenes resulta una mascarada. El propósito real de este tipo de ingeniería *terminator* es proteger las patentes de las empresas.

## 7

### Peligros de los plaguicidas

#### Quiénes ganan con los herbicidas

Más del 75% de los cultivos transgénicos plantados actualmente en todo el mundo son manipulados genéticamente para hacerlos tolerantes a herbicidas de amplio espectro, fabricados por las mismas compañías que obtienen la mayoría de sus ganancias de la venta de herbicidas. Esos herbicidas de amplio espectro no solamente matan plantas indiscriminadamente sino que también son peligrosos para prácticamente todas las especies de animales silvestres y para los seres humanos.

#### Glufosinato de amonio

El glufosinato de amonio o fosfotricina está asociado a casos de toxicidad neurológica, respiratoria, gastrointestinal y hematológica así como a defectos congénitos en seres humanos y mamíferos [75]. Es tóxico para las mariposas y varios insectos benéficos, también para las larvas de almejas y ostras, la *Daphnia* (mosca de agua) y algunos peces de agua dulce, especialmente la trucha arco iris. Inhibe bacterias y hongos que resultan benéficos para el suelo pues fijan nitrógeno. La pérdida de insectos y plantas tendría efectos demoledores para los pájaros y los animales pequeños.

Además, se encontró que algunos fitopatógenos son altamente resistentes al glufosinato mientras que los organismos antagónicos a esos patógenos se vieron afectados adversamente de manera grave. Esto podría tener efectos catastróficos en la agricultura.

Las plantas tolerantes al glufosinato contienen el gen *pat* (acetil fosfotricina transferasa), que desactiva la fosfotricina agregándole un grupo acetil, para fabricar acetil fosfotricina. Este último se acumula en la planta transgénica y es un metabolito completamente nuevo para el cultivo así como para la totalidad de la cadena alimenticia que llega hasta los seres humanos. No se han considerado los riesgos que plantea.

Datos proporcionados por AgrEvo que luego se convirtió en Aventis y ahora en Bayer CropScience muestran que los microorganismos del intestino de los animales de sangre caliente pueden eliminar el grupo acetil y regenerar el herbicida tóxico. La fosfotricina inhibe la enzima glutamina sintetasa, que convierte el aminoácido esencial, ácido glutámico, a glutamina. El resultado final de la acción del glufosinato es que se acumula amoníaco y glutamato a expensas de la glutamina. Es la acumulación de amoníaco lo que da el efecto letal de las plantas.

En los mamíferos, las consecuencias de la inhibición de glutamina sintetasa están más asociadas con el aumento de los niveles de glutamato, y la disminución de los niveles de glutamina. El amoníaco circulante es eliminado en el hígado por el ciclo de la urea. Sin embargo, el cerebro es extremadamente sensible a los efectos tóxicos del amoníaco y la eliminación del exceso de amoníaco depende de su incorporación a la glutamina. El glutamato es un neurotransmisor importante y es muy probable que una alteración tan grande de su metabolismo tenga repercusiones en la salud.

Estos efectos conocidos son de por sí suficientes para detener de inmediato todo tipo de ensayos de campo de cultivos transgénicos, hasta tanto no se dé una respuesta cabal a interrogantes críticas sobre el metabolismo, almacenamiento y reconversión de la N-acetil fosfotricina, para *todos* los productos que contienen genes fosfotricina acetil transferasa.

#### El glifosato

El glifosato otro herbicida importante utilizado de manera conjunta con los cultivos transgénicos no es mejor [76].

El glifosato mata a las plantas inhibiendo la enzima CP4 enolpiruvil-siquimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS), fundamental para la biosíntesis de aminoácidos aromáticos tales como la fenilalanina, la tirosina y el triptofano, vitaminas y numerosos metabolitos secundarios como folatos, ubiquinona y naftoquinona [77]. La vía del siquimato tiene lugar en los cloroplastos de los vegetales verdes. La acción letal del herbicida requiere que la planta esté en período de crecimiento y expuesta a la luz.

Los cultivos transgénicos modificados para ser tolerantes a la formulación de glifosato de Monsanto, denominada "Roundup Ready", son modificados con dos genes principales. Un gen imparte la disminución de sensibilidad al glifosato y el otro permite que la planta degrade el glifosato. La expresión de ambos genes está dirigida a los cloroplastos, el lugar de actividad del herbicida, agregándole las secuencias codificadas de un "péptido de tránsito" derivado de una planta.

El primer gen codifica una versión derivada de una bacteria de la enzima de la planta que participa en la vía bioquímica del siquimato. A diferencia de la enzima de la planta, que es sensible al glifosato y provoca la anulación del crecimiento de la planta o su muerte, la enzima bacterial es insensible al glifosato. El segundo gen, también bacterial, codifica para una enzima que degrada el glifosato y su secuencia codificada ha sido alterada para aumentar la actividad de degradación del glifosato.

La vía siquimato-corisinato no se encuentra en seres humanos y mamíferos y por lo tanto representa una diana nueva, si bien está presente en una variedad de microorganismos. Sin embargo, el glifosato actúa impidiendo la unión del metabolito fosfoenol piruvato (PEP) al sitio de la enzima [78]. El PEP es un metabolito central presente en todos los organismos, incluido el de los seres humanos. El glifosato, por lo tanto, tiene el potencial de alterar sistema enzimáticos importantes que utilizan PEP, entre ellos el metabolismo energético y la síntesis de lípidos de membrana, necesaria en las células nerviosas.

El glifosato es la causa más frecuente de reclamaciones y envenenamiento en el Reino Unido [79]. Ha habido casos de suicidio con apenas 100 mililitros de una solución del 10% al 20%. Se ha informado de trastornos generalizados de varios sistemas del organismo después de haber sufrido exposiciones a niveles de uso normales. Algunos de esos trastornos fueron alteraciones en el equilibrio, vértigos, disminución de la capacidad cognitiva, convulsiones, daños en la visión, el olfato, el oído y el gusto, dolores de cabeza, presión baja, crispación y tics en todo el cuerpo, parálisis muscular, neuropatía periférica, pérdida de la capacidad motora gruesa y fina, sudoración excesiva y fatiga severa [80].

Un estudio epidemiológico de poblaciones rurales de Ontario demostró que la exposición al glifosato prácticamente duplicó el riesgo de aborto espontáneo tardío [81]. Se encontró que los hijos de quienes habían utilizado glifosato tenían un grado elevado de alteraciones de neurocomportamiento [82]. El glifosato provocó el desarrollo retardado del esqueleto fetal en ratas de laboratorio [83].

Otros estudios experimentales y en animales indican que el glifosato inhibe la síntesis de esteroides [84] y que presenta genotoxicidad en mamíferos [85, 86], peces [87, 88] y ranas [89,90]. La exposición de lombrices a dosis de campo provocó como mínimo una mortalidad del 50 por ciento y lesiones intestinales importantes en las lombrices sobrevivientes [91]. Un documento reciente informó que el Roundup provocó alteraciones en la división celular que podrían estar asociadas con ciertos tipos de cáncer en humanos [92].

Como se analizó en la referencia 76, el simbiote fijador de nitrógeno en la soja transgénica y no transgénica es sensible al glifosato, y la aplicación temprana de glifosato provoca una disminución de la biomasa del cultivo y del nitrógeno. La aplicación de glifosato a una temperatura elevada (aproximadamente 35°C) a la soja Roundup Ready provocó daños en el meristemo, lo cual está relacionado con un mayor transporte del herbicida al meristemo.

La aplicación de glifosato en el control convencional de malezas provoca la destrucción y extinción local de especies vegetales en peligro. En los ecosistemas de bosque, reduce significativamente los briofitos y los líquenes.

El tratamiento con glifosato de plántones de porotos provocó un aumento a corto plazo de los patógenos que afectan la humedad del suelo tratado.

La aplicación de glifosato para controlar especies invasivas en las zonas ribereñas expuestas a mareas, arrojó efectos secundarios inesperados. Después de asperjado, el herbicida del sedimento se redujo en un 88%, mientras que en el pasto perenne, aumentó 591% y quedó almacenado en los rizomas. El glifosato persiste en el suelo y el agua subterránea, y se encontró en pozos de agua de sitios adyacentes a las superficies asperjadas.

Hay abundantes estudios científicos publicados que demuestran que el aumento en gran escala del uso de glifosato conjuntamente con los cultivos transgénicos, plantea una amenaza importante para la salud humana y animal así como para el medio ambiente.

## 8

### Transferencia horizontal de genes

#### La transferencia horizontal de genes y las epidemias

La transferencia horizontal de genes la transferencia directa de material genético a los genomas de los organismos, sean de la misma especie o de otra especie sin relación alguna es por lejos la cuestión de seguridad más grave, exclusiva de la ingeniería genética [93].

Repentinamente, a partir del 11 de setiembre de 2001, el mundo fue agitado por una histeria acerca de ataques terroristas y "armas de exterminio". Los gobiernos quieren prohibir la publicación de resultados de investigaciones científicas estratégicas, y un grupo de importantes editores y autores de publicaciones del ámbito de las ciencias de la vida han estado de acuerdo. Algunos científicos sugieren incluso crear un organismo internacional de vigilancia de las investigaciones y publicaciones [65].

Pero pocos han reconocido que la ingeniería genética en sí misma es intrínsecamente peligrosa, como inicialmente fue señalado por los pioneros de la ingeniería genética en la Declaración de Asilomar de mediados de la década de 1970, y como más recientemente algunos de nosotros hemos estado recordando a la opinión pública y a las autoridades [94, 95].

Pero lo que captó la atención de la gran prensa fue el informe de enero de 2001 que relataba cómo algunos investigadores australianos crearon "accidentalmente", en el curso de la manipulación de un virus inocuo, un virus letal de ratón que mató a todas sus víctimas. Los titulares del artículo publicado en *New Scientist* anunciaban que en el proceso había surgido un desastre y que un virus de ratón manipulado genéticamente nos dejaba a un paso de la última arma biológica ("Disaster in the making: An engineered mouse virus leaves us one step away from the ultimate bioweapon"). El editorial fue menos moderado: "El genio anda suelto, la biotecnología se ha llevado una fea sorpresa. La próxima vez podría ser catastrófico".

Eso y la actual epidemia del SARS nos recuerdan que la transferencia horizontal de genes y la recombinación crean nuevos virus y bacterias que provocan enfermedades, y si algo hace la ingeniería genética es aumentar enormemente el alcance de la transferencia horizontal de genes y la recombinación y la propensión a que ocurran.

#### La ingeniería genética aumenta el alcance y la propensión a la transferencia horizontal de genes

En primer lugar, la ingeniería genética conlleva la recombinación profusa de material genético procedente de fuentes muy diversas que de lo contrario hubiera tenido muy poca oportunidad de mezclarse y recombinarse en la naturaleza. Algunas técnicas más nuevas, por ejemplo el "mezclado de ADN" (DNA shuffling) [96, 97], crearán en el laboratorio en cuestión de minutos, millones de recombinaciones nuevas que nunca habían existido antes en los miles de millones de años de evolución. No hay límite para las fuentes de ADN que pueden ser mezclas de esta manera.

En segundo lugar, los virus y bacterias causantes de enfermedades, y su material genético, son los materiales y herramientas predominantes de la ingeniería genética, así como para la fabricación intencional de armas biológicas. Y esto incluye a los genes de resistencia a antibiótico, que tornan más difícil el tratamiento de las infecciones.

Y por último, las construcciones artificiales creadas por la ingeniería genética están diseñadas para atravesar las barreras de las especies y saltar dentro de los genomas, es decir, para aumentar y acelerar aún más la transferencia horizontal de genes y la recombinación, que ahora se admite son la principal ruta para crear nuevos agentes de enfermedades, posiblemente mucho más importantes que las mutaciones puntuales, que sustituyen bases aisladas del ADN.

Si a eso se le agrega la inestabilidad inherente del ADN transgénico mencionada anteriormente, que aumenta la posibilidad de que se rompa y recombine, empezaremos a darnos cuenta de por qué no necesitamos bioterroristas si tenemos ingenieros genéticos.

## 9

### El Promotor CaMV 35S

#### "Punto de recombinación eficaz"

Algunas construcciones transgénicas son menos estables que otras, como es el caso de las que contienen el promotor del virus del mosaico de la coliflor (CaMV) 35S. El CaMV infecta a las plantas de la familia de las coles. Uno de sus promotores, el promotor 35S, ha sido ampliamente utilizado en cultivos transgénicos desde los comienzos de la ingeniería genética de vegetales, antes de que salieran a luz algunos de sus rasgos más inquietantes. El más grave es que posee un "punto de recombinación" muy eficaz, donde tiende a recombinarse con otro ADN. No obstante, las pruebas definitivas de esto no aparecieron sino mucho después.

Desde principios de la década de 1990 han surgido grandes dudas sobre la seguridad de los genes virales incorporados a los cultivos transgénicos para hacerlos resistentes a ataques de virus. Muchos de los genes virales tendieron a recombinarse con otros virus para generar virus nuevos, en ocasiones extremadamente infecciosos.

En 1999, en un trabajo publicado de manera independiente por dos grupos de investigación, se presentaron pruebas definitivas del punto de recombinación eficaz del promotor CaMV 35S. Esto fue muy importante en vista de los resultados de Ewen y Puzsai, analizados anteriormente, que indicaban que el daño a las ratas jóvenes alimentadas con papas transgénicas podría deberse al proceso mismo de transformación o a la construcción transgénica.

Ho *et al.* investigaron las consecuencias sobre la seguridad del promotor CaMV 35S, señalando que su sitio de recombinación eficaz está flanqueado por múltiples motivos que se sabe participan en la recombinación y que son similares a otros sitios de recombinación eficaces, en especial los bordes del vector de la Agrobacteria TDNA, utilizada con mucha frecuencia en la fabricación de plantas transgénicas. El mecanismo de la recombinación ruptura del ADN de doble hebra seguido de su reparación requiere pocas o ninguna secuencias de ADN homólogas, y ha sido demostrado ampliamente que se produce recombinación entre transgenes virales y virus infecciosos. Además, el promotor CaMV 35S funciona eficientemente en todas las plantas, así como en las algas verdes, la levadura y el *E.coli*. Tiene una estructura modular, con partes comunes e intercambiables con los promotores de muchos otros virus de plantas y animales.

Estas conclusiones indicaron que las construcciones transgénicas con el promotor CaMV 35S podrían ser especialmente inestables y propensas a la transferencia

horizontal de genes y a la recombinación, con todos los riesgos concomitantes: mutaciones genéticas debido a la inserción aleatoria, cáncer, reactivación de virus dormidos y generación de nuevos virus, algunos de los cuales podrían explicar las observaciones descritas por Ewen y Puztai [44, 46, 48, 51].

Cuando se aceptó la publicación del documento de Ho *et al.* [98], la revista *Microbial Ecology in Health and Disease* publicó un comunicado de prensa en su página web, calificándolo de "tema candente". En el término de un día, alguien con el nombre de Klaus Amman parecía haber organizado por lo menos nueve críticas que circularon por todo Internet y que iban desde un tono injurioso y condescendiente hasta un tono relativamente moderado. Posteriormente trascendió que Klaus Amman es una figura fundamental en el establecimiento de las normas de bioseguridad (o, tal como lo percibimos, en socavarlas) en el escenario internacional, y ocupa numerosos cargos en organizaciones financiadas por la industria biotecnológica.

Ho *et al.* respondieron a todas las críticas en un documento que circuló en Internet y fue posteriormente publicado en la misma revista científica. Hasta hoy los críticos no han respondido.

Lamentablemente, los comentarios más agraviantes e injuriosos fueron incorporados en un artículo de "análisis" de un editor de *Nature Biotechnology* dentro de la sección "Business and regulatory news" (Noticias comerciales y de regulación) [99]. Ese "análisis", confeccionado enteramente a partir de rumores y opiniones, contenía declaraciones tan difamatorias y calumniosas que la revista tuvo que darle a Ho *et al.* el derecho a réplica. La respuesta fue finalmente publicada varios meses después [100] junto con las "disculpas" del editor por no haber citado la impugnación de dichos autores, pero en realidad los estaba atacando nuevamente. Esta vez, *Nature biotechnology* se negó a dejarlos responder.

Todas las críticas científicas de importancia aparecieron finalmente en un documento publicado en la revista donde había aparecido el documento original, con la coautoría de Roger Hull y Phil Dale, miembro del Comité Asesor del Reino Unido sobre Alimentos y Procesos Nuevos (ACNFP, en inglés) [101]. Sus principales críticas se reducían a lo siguiente:

"En primer lugar, hemos estado comiendo el virus en repollos y coliflores infectados durante años sin haber sufrido daños, de manera que ¿por qué habría que preocuparse por el promotor CaMV 35S? En segundo lugar, las plantas ya contienen secuencias pararetrovirales, no muy diferentes del CaMV, de manera que ¿por qué podría haber algún riesgo?"

Sus principales acusaciones apuntaron a que las críticas a su documento habían sido totalmente refutadas en un documento más extenso que el original, publicado poco después en la misma revista [101], al cual no siguió ninguna respuesta. De hecho, los críticos pusieron cuidado en no mencionar nunca esa réplica.

Se señaló entre otras cosas que la gente *no* ha estado consumiendo el promotor CaMV 35S fuera de su contexto genético y evolutivo general e incorporado al ADN transgénico.

El hecho de que las plantas estén "cargadas" de secuencias pararetrovirales similares al CaMV y a otros elementos potencialmente móviles no hace más que empeorar las cosas. Los pararetrovirus son virus que utilizan la transcriptasa reversa, pero para replicar no dependen de la integración al genoma huésped. Los pararetrovirus incluyen una familia que contiene el virus hepatitis B, que es un patógeno para los seres humanos. El promotor CaMV 35S podría activar virus dormidos como la hepatitis B, que también se supo que se ha integrado a algunos genomas humanos y parece estar asociada con la enfermedad. Casi todos, si no todos, los elementos integrados al genoma habrían sido "domesticados" en el curso de la evolución y por eso ya no son más móviles. Pero la integración de las construcciones transgénicas conteniendo el promotor 35S podría movilizar los elementos. Los elementos podrían a su vez comportarse como "ayudantes" para desestabilizar el ADN transgénico y también podrían servir como substratos en la recombinación para generar más elementos invasivos exóticos.

Desde entonces han surgido pruebas de que la integración de genes extraños al genoma, asociada con la modificación genética, puede en efecto activar transposones y secuencias provirales, provocando la desestabilización del genoma [103]. Así que Ho *et al.* no habían estado tan lejos de lo cierto.

En el transcurso del debate con los críticos, Ho y sus colaboradores descubrieron pruebas aún más irrecusables [104]. Resultó que aún cuando el virus CaMV infecta solamente a las plantas de la familia de las coles, su promotor 35S es activo de manera promiscua en otras especies del mundo vivo, no solamente en las bacterias, las algas, los hongos y las plantas, sino también en células animales y humanas, como lo revelaron en un documento científico que data de 1990. Los fitogenetistas que han incorporado el promotor CaMV 35S prácticamente a todos los cultivos transgénicos cultivados actualmente con fines comerciales, aparentemente no lo sabían, y siguen sin admitirlo en público.

El Comité Asesor del Reino Unido sobre Liberaciones al Medio Ambiente (ACRE, en inglés) no tiene excusas por omitir esa información en su último Informe [105] en el que reitera que "no hay pruebas de daño". Ho ha llamado la atención varias veces al respecto, tanto en presentaciones por escrito como en pruebas orales presentadas en varias audiencias públicas. Pero tras bambalinas se ha retirado silenciosamente el promotor CaMV 35S. Ya no aparece en la mayoría de los cultivos transgénicos en construcción.

La controversia en torno a la contaminación transgénica de las variedades mexicanas no es acerca de que la contaminación hubiera ocurrido sino de la posibilidad de que, como las construcciones transgénicas eran inestables, pudieran, según una crítica [106], "fragmentarse y esparcirse promiscuamente por todos los genomas". Todas las construcciones de maíz transgénico que pudieron haber sido responsables de la contaminación contenían el promotor CaMV 35S, razón por la cual pudo utilizarse el promotor para verificar la contaminación transgénica. Se sabe que la fragmentación y el esparcimiento de ADN inestable por todo el genoma activan los provirus dormidos y transposones (ver más adelante), causando reordenamientos de ADN, eliminaciones, translocaciones y otras alteraciones que podrían desestabilizar los genomas de las variedades criollas, llevándolas a la extinción.

## 10

### Mayor probabilidad de propagación de ADN transgénico

#### ADN transgénico versus ADN natural

El ADN transgénico es diferente del ADN natural en muchos aspectos, los cuales contribuyen a aumentar la propensión a que se produzca su transferencia horizontal a los genomas de organismos no relacionados, donde también puede recombinarse con nuevos genes (Cuadro 1) [93].

#### Cuadro 1

#### El ADN transgénico tiene más probabilidades de propagarse horizontalmente

- El ADN transgénico suele contener nuevas combinaciones de material genético que nunca antes habían existido.
- El ADN transgénico ha sido diseñado para "saltar" dentro de los genomas. Las construcciones antinaturales de genes tienden a ser estructuralmente inestables y por lo tanto son propensas a romperse y a unirse o recombinarse con otros genes.
- Los mecanismos que permiten que las construcciones de genes extraños salten dentro del genoma, les permiten también volver a saltar fuera del genoma y reinsertarse en otro sitio o en otro genoma. Por ejemplo, la enzima integrasa, que cataliza la inserción de ADN viral en el genoma huésped, también funciona como una *desintegrasa*, catalizando la reacción reversa. Esas integrasas pertenecen a una superfamilia de enzimas similares que están presentes en todos los genomas, desde virus y bacterias hasta las plantas y animales superiores. Las recombinasas de transposones son similares.

- Los bordes del vector que se utiliza más comúnmente para las plantas transgénicas el ADN-T de la *Agrobacteria* son puntos más eficaces de recombinación (los cuales tienden a romperse y unirse). Además, el promotor del virus del mosaico de la coliflor (CaMV) y varios terminadores (señales genéticas para finalizar la transcripción) están asociados con un sitio ideal de recombinación, lo que significa que el conjunto o las partes del ADN integrado tendrán mayor propensión a que se produzca transferencia horizontal de genes y recombinación secundarias.
- Pruebas recientes indican que las construcciones de genes extraños tienden a integrarse en los sitios de recombinación eficaces del genoma, lo que, nuevamente, tendería a aumentar las posibilidades de que el ADN transgénico se *desintegre* y transfiera horizontalmente.
- El ADN transgénico a menudo tiene otras señales genéticas, tales como los *orígenes de replicación* que quedan del vector plásmido. Esos son también sitios de recombinación eficaces y además pueden permitir que, con facilidad, el ADN transgénico se replique independientemente como un plásmido transferido horizontalmente entre las bacterias.
- El estrés metabólico del organismo huésped provocado por la permanente sobreexpresión de los genes extraños, vinculada con promotores agresivos como el promotor CaMV 35S, también aumentará la inestabilidad del ADN transgénico, facilitando con ello la transferencia horizontal de genes.
- El ADN transgénico típico es un mosaico de secuencias de ADN provenientes de diversas especies diferentes y sus parásitos genéticos; esas homologías implican que tendrá más propensión a recombinarse y transferirse exitosamente a los genomas de numerosas especies así como a sus parásitos genéticos. La recombinación homóloga normalmente ocurre de mil a un millón de veces más que la frecuencia de la recombinación no homóloga.

### Pruebas de que el ADN transgénico es diferente

Se ha realizado solamente un experimento para comprobar la hipótesis de que los transgenes son lo mismo (o no) que los mutantes inducidos por medios convencionales (mutagénesis), tal como la exposición a los rayos X y los mutágenos químicos, que provocan cambios en la secuencia de bases del ADN.

Bergelson y sus colegas [107] obtuvieron un mutante para tolerancia a herbicida mediante mutagénesis convencional en una cepa de laboratorio de *Arabidopsis*, y crearon líneas transgénicas introduciendo el gen mutante, empalmado en un vector, dentro de las células de la planta huésped.

Luego compararon la velocidad a la cual las plantas mutantes transgénicas y no transgénicas propagaban el rasgo de tolerancia a herbicida a las plantas normales de tipo silvestre que crecían en los alrededores. Descubrieron que los transgenes de las plantas transgénicas tenían hasta 30 veces más posibilidades de escapar y esparcirse que los mismos genes obtenidos por mutagénesis.

Los resultados son difíciles de explicar en términos de la polinización cruzada ordinaria. ¿Fue porque la introducción del transgen mediante un vector produjo todo tipo de efectos inesperados? ¿Las plantas transgénicas produjeron más polen, o polen más viable? ¿El polen de las plantas transgénicas fue más atractivo para las abejas?

Otra de las posibles causas de la mayor propagación de transgenes es la transferencia horizontal de genes a través de los insectos que visitan las plantas en busca de polen y néctar, o simplemente que se alimentan de la savia o de otras partes de sucesivas plantas transgénicas y de tipo silvestre. Bergelson manifestó que aunque no tenía pruebas de la transferencia horizontal de genes, no podía descartarla. Pero no se dedicó a investigar esa posibilidad.

Independientemente de la manera en que se propagan los transgenes, el experimento demostró que el ADN transgénico no se comporta de la misma manera que el ADN no transgénico.

## 11

### La transferencia horizontal de ADN transgénico

#### Experimentos que demuestran la transferencia horizontal de ADN transgénico

La transferencia horizontal de transgenes y genes marcadores con resistencia a antibiótico de cultivos manipulados genéticamente a bacterias y hongos del suelo había sido demostrada en el laboratorio a mediados de la década de 1990. La transferencia de transgenes a hongos se logró simplemente cultivando los hongos con la planta transgénica, y la transferencia a bacterias se consiguió aplicando ADN total de la planta transgénica a los cultivos de bacterias.

A fines de la década de 1990, se verificó la transferencia de un gen marcador con resistencia a la kanamicina a la bacteria del suelo *Acinetobacter*, con ADN extraído de hojas homogeneizadas en un rango de plantas transgénicas [108]: *Solanum tuberosum* (papa), *Nicotiana tabacum* (tabaco), *Beta vulgaris* (remolacha azucarera), *Brassica napus* (colza) y *Lycopersicon esculentum* (tomate). Se estimó que para poder transformar una bacteria alcanzaba con aproximadamente 2.500 copias de genes con resistencia a la kanamicina (del mismo número de células vegetales), a pesar de que había un exceso de ADN vegetal de  $6 \times 10^6$ -veces. Con sólo agregar a la bacteria 100 microlitros de una solución de la hoja macerada de la planta, se obtuvieron resultados positivos de transferencia horizontal de genes en este sistema.

#### Obstinación y distorsión de los hechos

Pero desde un principio reinaron la obstinación y la distorsión de los hechos. A pesar del engañoso título de un documento de Schluter, Futterer y Potrykus, que establece que la transferencia horizontal de genes en su experimento "ocurre, en todo caso, con una frecuencia extremadamente baja" [109], los datos demostraron una elevada frecuencia de transferencia genética, de  $5,8 \times 10^{-2}$  por bacteria receptora, en condiciones óptimas.

Pero los autores procedieron luego a calcular una frecuencia teórica de transferencia de genes de  $2,0 \times 10^{-17}$ , o cercana a cero, en "condiciones naturales" extrapoladas. Lo hicieron asumiendo que había distintos factores actuando independientemente e inventaron las "condiciones naturales" que son en gran medida desconocidas e impredecibles. Según lo admitieron los propios autores, no pudieron eliminar los efectos sinérgicos de las combinaciones de factores.

Este documento fue posteriormente citado ampliamente para demostrar que no ocurre transferencia horizontal de genes.

#### Experimentos de campo ofrecen pruebas *prima facie*

En 1999, algunos investigadores de Alemania [110] ya habían informado del primer, y todavía único, experimento de monitoreo en campo realizado en el mundo, que brindó pruebas *prima facie* de que el ADN transgénico había sido transferido de los restos de plantas de remolacha azucarera a las bacterias del suelo. Ho divulgó un detallado análisis de esta prueba y lo presentó en debida forma a los asesores científicos del gobierno del Reino Unido. Éstos descartaron esa prueba y, lo que es peor, la citaron como prueba de que no ocurría transferencia horizontal de genes.

El ADN no solamente persiste en el ambiente externo, tanto en el suelo como en el agua, sino que no se degrada lo suficientemente rápido en el sistema digestivo como para evitar que el ADN transgénico se transfiera a microorganismos residentes en los intestinos de los animales.

#### Transferencia de ADN transgénico en la boca

Tal transferencia podría comenzar en la boca. Mercer *et al.* informaron en 1999 [111] que un plásmido manipulado genéticamente tenía de 6% a 25% de posibilidades de sobrevivir intacto después de 60 minutos de exposición a la saliva humana.

Además, el plásmido de ADN parcialmente degradado fue capaz de transformar el *Streptococcus gordonii*, una de las bacterias que normalmente están presentes en

la boca y la faringe humanas. La frecuencia de transformación bajó exponencialmente con el tiempo, pero después de 10 minutos seguía siendo importante. La saliva humana en realidad contiene factores que promueven la transformación de las bacterias residentes en la boca.

Esta investigación se hizo en el tubo de ensayo, y los autores establecieron claramente que "es necesario realizar más investigaciones para establecer si la transformación de la bacteria oral puede ocurrir *in vivo* en frecuencias importantes". Sin embargo, desde entonces no se ha efectuado ningún estudio de ese tipo, lo cual es difícil de entender *en la medida que la investigación original fue encomendada por el gobierno del Reino Unido, como parte de los Programas de Alimentos Nuevos*.

Otro grupo de la Universidad de Leeds, sin embargo, obtuvo una donación de la entonces recientemente creada Agencia de Normas Alimenticias (FSA, en inglés) para investigar la posibilidad de que ocurriera transferencia horizontal de genes en el estómago de los rumiantes [112], donde el alimento permanece durante largos períodos. Los investigadores descubrieron que el ADN transgénico se degradaba rápidamente en los fluidos del rumen y el ensilaje, pero que, no obstante, podía ocurrir transferencia horizontal antes de que el ADN transgénico se degradara por completo. También descubrieron que el ADN transgénico demoraba mucho en degradarse en la saliva, y por lo tanto la boca podría ser un sitio importante para la transferencia horizontal de genes. Esto confirmó los resultados obtenidos por Mercer *et al.* [111]. Pero una vez más, no se ha llevado a cabo ningún trabajo de seguimiento en animales vivos. ¿Se trató acaso de no hacer los experimentos obvios por miedo a encontrar resultados positivos que serían más difícil de descartar?

#### **Transferencia de ADN transgénico a través de la pared del intestino y la placenta**

Hay más sobre el alcance de la transferencia horizontal de genes, como lo revela la bibliografía científica existente. Desde principios de la década de 1990, el grupo Döerfler's de Alemania ha realizado una serie de experimentos acerca del destino del ADN extraño en los alimentos.

Alimentaron ratones con ADN, tanto ADN aislado de la bacteria del virus M13, como el gen clonado para la proteína verde fluorescente insertada en un plásmido. Descubrieron que un porcentaje pequeño, si bien importante, del ADN viral y plásmido, no solamente escapó a la degradación completa en el intestino sino que logró atravesar las paredes de intestino e ingresar en la corriente sanguínea, hasta introducirse en algunos glóbulos blancos y en células del bazo y el hígado para terminar incorporándose al genoma celular del ratón [113]. Cuando se alimentó a ratones preñados, se encontró el ADN extraño en algunas células de los fetos y de los animales recién nacidos, lo cual demostraba que había atravesado la placenta [114].

Este trabajo pone de manifiesto los peligros que tienen todos los tipos de ADN desnudo creados por la industria de la ingeniería genética, en especial los genomas virales, sobre los cuales el virólogo noruego y asesor científico del gobierno de Noruega, Terje Traavik [115] y otros [94, 95] llamaron la atención.

En un documento publicado en 1998, Döerfler y Schubert establecieron [114] que "Todavía no se han investigado las consecuencias de la absorción de ADN extraño para la mutagénesis [que genera mutaciones] y para la oncogénesis [que provoca cáncer]". La importancia de este comentario es enorme con relación a los casos de cáncer identificados a fines de 2002 entre quienes recibieron terapia genética [116]. Fundamenta que la exposición al ADN transgénico tiene los mismos riesgos, sea por terapia genética o por los alimentos transgénicos. La terapia genética implica la modificación genética del ser humano y utiliza construcciones muy similares a las de la modificación genética de plantas y animales.

#### **La omisión de experimentos definitivos**

En un informe publicado en 2001 [117] se comparó el destino del ADN de la soja común obtenido de las hojas, con el del ADN plásmido transgénico. Confirmó los resultados anteriores. El ADN plásmido transgénico invadió las células de numerosos tejidos.

Pero, al igual que la mayoría de los proyectos de investigación reseñados, éste también pareció haberse parado en seco ante el intento de obtener resultados más claros y definitivos, que podrían haberse logrado fácilmente alimentando a los ratones con soja transgénica y monitoreando el destino del ADN transgénico y del ADN propio de la planta. Eso hubiera significado un avance para resolver el tema que Ho y Cummins han planteado reiteradamente: que el ADN transgénico puede ser más invasivo de las células y los genomas que el ADN natural.

En efecto, como señala Ewen [44], no puede excluirse la posibilidad de que alimentar a los animales con productos transgénicos como el maíz, también conlleva riesgos. La leche de vaca puede contener derivados transgénicos e incluso un filete de carne vacuna puede contener material transgénico activo, ya que el ADN es extraordinariamente estable y a menudo no es destruido por el calor. Recientemente incluso se ha recuperado ADN de sedimentos del suelo con una antigüedad de 300.000 a 400.000 años [118]. Se ha informado que el destacado investigador profesor Alan Cooper, de la Universidad de Oxford, en su reciente visita a Nueva Zelanda manifestó [119]: "La capacidad del ADN de persistir en el suelo durante tanto tiempo fue completamente subestimada ... e ilustra cuán poco sabemos" y "que es necesario investigar mucho más antes de que podamos predecir el efecto de la liberación al ambiente de plantas transgénicas".

#### **ADN transgénico en alimentos transferido a bacterias del intestino humano**

El gobierno del Reino Unido finalmente encomendó una investigación que buscara la transferencia horizontal de genes en las bacterias del intestino de seres humanos voluntarios y *encontró resultados positivos*.

La investigación en cuestión es la parte final del proyecto FSA del Reino Unido para la evaluación de los riesgos de los organismos transgénicos en los alimentos humanos [120].

Que el ADN transgénico se transfiera a las bacterias del intestino humano no es del todo inesperado. Ya sabíamos por anteriores investigaciones estudiadas aquí que el ADN persiste en el intestino y que las bacterias pueden absorber rápidamente ADN extraño. ¿Por qué nuestros reguladores esperaron tanto para pedir esa investigación? Y cuando lo hicieron, parecía que los científicos hubieran diseñado el experimento como para que las circunstancias jugaran en contra de encontrar un resultado positivo [121].

Por ejemplo, el método para detectar ADN transgénico se basó en la amplificación de una pequeña parte 180bp del total del inserto de ADN transgénico, que era por lo menos diez o veinte veces más largo. De esa manera no sería posible detectar la presencia de otros fragmentos del ADN insertado, u otros fragmentos que no coincidieran con el total de los 180 bp amplificados, o fragmentos que se hubieran reordenado. La posibilidad de obtener un resultado positivo es del 5% en el mejor de los casos y, con toda seguridad, muchísimo menos. Así, un resultado negativo con este método de detección muy probablemente no indicaría ausencia de ADN transgénico.

A pesar de eso, igualmente encontraron un resultado positivo, que la FSA inmediatamente descartó y enmascaró. Se dice que la FSA adujo que "los resultados habían sido evaluados por varios expertos del gobierno que habían dictaminado que no había riesgo para los seres humanos". En una declaración en su página web, la FSA dijo que el estudio había concluido que "es muy improbable" que los genes transgénicos puedan terminar en el intestino de las personas que los ingieran.

#### **El vector *Agrobacterium*, un vehículo para el escape de genes**

Eso no es todo. Pruebas recientes indican con gran solidez que el método más común para crear plantas transgénicas puede también servir como una vía rápida para la transferencia horizontal de genes [122, 123].

Se ha trabajado en la *Agrobacterium tumefaciens* la bacteria del suelo que causa la enfermedad en las plantas llamada tumores del cuello o *crown gall* para que actúe como un vector importante de transferencia genética en la producción de plantas transgénicas. Los genes extraños generalmente se empalman en la parte ADN-T de un plásmido de *A. tumefaciens* denominado Ti (inductor de tumor), que termina integrándose al genoma de la célula de la planta y posteriormente

desarrolla un tumor. Todo eso se sabía, por lo menos desde 1980.

Pero ulteriores investigaciones revelaron que el proceso por el cual la *Agrobacterium* inyecta ADN-T en las células de las plantas, se parece mucho a la *conjugación* o apareamiento entre células bacterianas.

La conjugación, lograda con la mediación de ciertos plásmidos bacterianos, requiere que el ADN que se transfiere contenga una secuencia denominada el origen de la transferencia (*oriT*). Todas las demás funciones pueden cumplirse desde fuentes no vinculadas, a las que se hace referencia como "funciones de trans-acción" (*otra*). Por lo tanto, los plásmidos "impedidos", que no tienen funciones de trans-acción, pueden de todas formas ser transferidos mediante plásmidos "ayudantes" que transportan genes que codifican para las funciones de trans-acción. Y esa es la base de un complicado sistema de vectores, que se ha concebido utilizando la *Agrobacterium ADN-T*, y con el cual se han producido numerosas plantas transgénicas.

Pero pronto trascendió que los bordes izquierdo y derecho del *ADN-T* son similares a *oriT* y pueden ser reemplazados por la misma. Además, el *ADN-T* desarmado, carente de las funciones de trans-acción (genes de *virulencia* que contribuyen a la enfermedad), puede ser ayudado por genes similares que pertenecen a otras bacterias patógenas. Parecería que tanto la transferencia de genes de la *Agrobacterium* entre distintos reinos como los sistemas de conjugación de bacterias, tienen que ver con el transporte de macromoléculas, no tan solo de ADN sino también de proteínas.

Eso significa que las plantas transgénicas creadas por el sistema de vector ADN-T tienen un *vía rápida* para el escape horizontal de genes, a través de la *Agrobacterium*, ayudada por los mecanismos de conjugación comunes de otras bacterias causantes de enfermedades, que están presentes en el medio ambiente.

De hecho, la posibilidad de que la *Agrobacterium* pueda servir como un vehículo para el escape horizontal de genes fue planteada por primera vez en 1997 en un estudio auspiciado por el gobierno del Reino Unido [124], que mostró que era muy difícil eliminar la *Agrobacterium* utilizada en el sistema de vector, luego de la transformación. El tratamiento utilizado una batería de antibióticos y reiterados subcultivos durante más de 13 meses, no logró eliminar la bacteria. Además, el 12,5% de la *Agrobacterium* restante seguía conteniendo el vector binario (*ADN-T* y plásmido "ayudante"), y *por lo tanto seguían siendo plenamente capaces de transformar a otras plantas*. Esta investigación fue posteriormente publicada en una revista científica [125].

Varias otras observaciones refuerzan la idea del escape de genes a través de la *Agrobacterium*. La *Agrobacterium* no solamente transfiere genes a las células de las plantas; existe la posibilidad de que haya una *retrotransferencia* de ADN desde la célula de la planta a la *Agrobacterium* [126].

La existencia de índices elevados de transferencia genética está asociada con el sistema radicular de la planta y la semilla germinadora, donde hay mayores probabilidades de que exista conjugación [127]. Allí, la *Agrobacterium* podría multiplicarse y transferir ADN transgénico a otras bacterias, así como al próximo cultivo que se plante. Esas posibilidades todavía no han sido investigadas empíricamente.

Por último, la *Agrobacterium* se adhiere a varios tipos de células humanas y las transforma genéticamente [128]. En células de HeLa (una línea de células epiteliales humanas derivada originalmente de un paciente con cáncer) transformadas establemente, la integración de *ADN-T* ocurrió en el borde derecho, exactamente igual a cuando es transferido al genoma de una célula vegetal. Esto indica que la *Agrobacterium* transforma a las células humanas por un mecanismo similar al que utiliza para transformar células vegetales.

## 12

### Peligros de la transferencia horizontal de genes

#### Un resumen

Como queda claro de los capítulos anteriores, los peligros que podrían surgir de la transferencia horizontal de ADN transgénico son exclusivos de la ingeniería genética y están resumidos en el Cuadro 2.

#### Cuadro 2

##### Peligros potenciales de la transferencia horizontal de genes provocada por la ingeniería genética

- Generación de virus nuevos que atraviesan las especies y causan enfermedades.
- Generación de bacterias nuevas que causan enfermedades.
- Propagación de genes con resistencia a antibiótico y medicamentos entre los patógenos virales y bacterianos, dificultando el tratamiento de infecciones.
- Inserción aleatoria en el genoma de las células, provocando efectos nocivos, entre ellos cáncer.
- Reactivación y recombinación con virus dormidos (presentes en todos los genomas), generando virus infecciosos.
- Propagación de genes y construcciones de genes nuevos y peligrosos que nunca antes han existido.
- Desestabilización de los genomas a los cuales se han transferido los transgenes.
- Multiplicación de los impactos ecológicos debido a todo lo referido anteriormente.

### Experimentos aparentemente evitados hasta ahora

En un documento presentado en una reunión abierta organizada por ACNFP se comunicaron esas críticas a ACRE y ACNFP junto con una serie de experimentos obvios que la FSA debería encomendar [129]. En el Cuadro 3 se describen de forma ligeramente corregida.

#### Cuadro 3

##### Experimentos omitidos en materia de la seguridad de los alimentos y cultivos transgénicos

Los siguientes son algunos experimentos definitivos que aportarían información sobre la seguridad de los alimentos y cultivos transgénicos. Parecería que hasta ahora han sido omitidos intencionalmente.

1. Experimentos de alimentación en animales, similares a los que realizó el equipo de Pusztai, en los que se utilicen como ración soja y/o maíz transgénicos bien caracterizados. Luego debe realizarse un monitoreo adecuado e imparcial del ADN en las heces, la sangre y las células sanguíneas, y exámenes histológicos post-mortem que incluyan el rastreo de la transferencia de ADN transgénico al genoma de las células. Como un control más, también habría que monitorear el ADN no transgénico de la misma muestra de alimentos transgénicos. Además debería investigarse la importancia del promotor CaMV 35S en la producción de los efectos del "factor de crecimiento símil" en ratas jóvenes.
2. Ensayos de alimentación en voluntarios humanos utilizando soja y/o maíz transgénico bien caracterizados como alimentos humanos, con un

monitoreo adecuado e imparcial del ADN transgénico y de transferencia horizontal de genes en la boca y en las heces. Como un control más, también debería hacerse el monitoreo del ADN no transgénico de la misma muestra de alimentos transgénicos.

3. La investigación de la estabilidad de las plantas transgénicas en sucesivas generaciones, especialmente de las que contienen el promotor CaMV 35S, utilizando técnicas moleculares cuantitativas apropiadas.
4. La caracterización molecular total de todas las líneas transgénicas para establecer la uniformidad y la estabilidad genética de las inserciones de ADN transgénico, y su comparación con los datos originales que presentó la compañía biotecnológica para lograr la aprobación de los ensayos de campo o para lanzarlo a la venta.
5. Pruebas en todas las plantas transgénicas creadas por el sistema del vector *Agrobacterium ADN-T*, de la persistencia de la bacteria y los vectores. Debería hacerse un monitoreo del suelo en el cual han crecido las plantas transgénicas para investigar si hubo algún escape de genes a las bacterias del suelo. También debería monitorearse cuidadosamente el potencial de transferencia horizontal de genes al siguiente cultivo a través de la semilla germinadora y el sistema radicular.

## 13

### Conclusión de las partes 1 y 2

Nuestro extenso examen de las pruebas nos ha convencido de que los cultivos transgénicos no son necesarios ni deseados, que no han cumplido las promesas que hicieron y que, por el contrario, plantean problemas cada vez mayores en el agro. No hay posibilidades reales de que la agricultura transgénica coexista con la no transgénica, como resulta evidente del grado y extensión de la contaminación transgénica que ya ha ocurrido, incluso en un país como México, donde se aplica una moratoria oficial desde 1998.

Y lo que es aún más importante, los cultivos transgénicos son inaceptables porque no son seguros en absoluto. Han sido introducidos sin las necesarias salvaguardias y evaluaciones de seguridad, a través de un sistema de regulación profundamente falseado, basado en el principio de "equivalencia sustancial", cuya intención es dar una aprobación expeditiva a los productos, en lugar de realizar una evaluación seria de su seguridad. A pesar de la falta de datos en materia de ensayos de la seguridad de los alimentos transgénicos, los resultados disponibles ya son motivo de preocupación acerca de la seguridad del propio proceso transgénico, preocupación que no ha sido tomada en cuenta.

Al mismo tiempo, se ha descubierto que los productos genéticos introducidos en los alimentos y en otros cultivos, como los bioplaguicidas, que representan el 25% de todos los cultivos transgénicos del mundo, son fuertes inmunógenos y alérgenos. En ensayos a campo abierto se están introduciendo otros peligrosos productos farmacéuticos y vacunas en cultivos alimenticios.

Con el disfraz del confinamiento transgénico se han manipulado genéticamente algunos cultivos con "genes suicidas" que provocan la esterilidad masculina de la planta. En realidad, esos cultivos propagan, a través del polen, tanto los genes de tolerancia a herbicidas como los genes suicidas de la esterilidad masculina, con consecuencias potencialmente devastadoras para la biodiversidad agrícola y natural.

Aproximadamente el 75% de los cultivos transgénicos plantados en todo el mundo son tolerantes a uno u otro de dos herbicidas de amplio espectro: el glufosinato de amonio y el glifosato. Ambos son venenos metabólicos sistémicos que pueden llegar a producir una amplia gama de efectos nocivos en los seres humanos y otros organismos vivos. Esos efectos han sido ahora confirmados.

El glufosinato de amonio está asociado con toxicidad neurológica, respiratoria, gastrointestinal y hematológica, y con defectos congénitos en seres humanos y otros mamíferos.

El glifosato es la causa más frecuente de reclamaciones y envenenamiento en el Reino Unido y se han registrado casos de trastornos de diversas funciones del organismo después de haber sufrido exposiciones a niveles de uso normales. La exposición al glifosato prácticamente duplicó el riesgo de aborto espontáneo tardío y los hijos de quienes habían utilizado glifosato presentaron un grado elevado de alteraciones del neurocomportamiento. El glifosato provocó el desarrollo retardado del esqueleto fetal en ratas de laboratorio [83]. Inhibe la síntesis de esteroides y es genotóxico en mamíferos, peces y ranas. La exposición de lombrices a dosis de campo provocó como mínimo una mortalidad del 50 por ciento y lesiones intestinales importantes en las lombrices sobrevivientes. El Roundup provoca alteraciones en la división celular que podrían estar asociadas con ciertos tipos de cáncer en seres humanos.

Estos efectos conocidos son suficientes como para reclamar que se suspenda todo tipo de uso de ambos herbicidas.

Por lejos, los peligros más graves de la ingeniería genética son inherentes al proceso mismo, el cual aumenta enormemente el alcance y la probabilidad de la transferencia horizontal de genes y la recombinación, que es la vía principal para la creación de virus y bacterias que provocan enfermedades epidémicas. Técnicas nuevas, como el mezclado de ADN, permiten ahora a los genetistas crear en el laboratorio, en cuestión de minutos, millones de virus recombinantes que nunca han existido antes.

Los virus y bacterias causantes de enfermedades, y su material genético, son los principales materiales y herramientas de la ingeniería genética, así como de la fabricación planificada de armas biológicas. Existen pruebas experimentales de que ADN transgénico vegetal ha sido absorbido por bacterias del suelo y del intestino de voluntarios humanos. Los genes marcadores con resistencia a antibiótico pueden propagarse de alimentos transgénicos a bacterias patógenas, dificultando enormemente el tratamiento de infecciones.

Se sabe que el ADN transgénico sobrevive a la digestión en el intestino y salta al genoma de las células de los mamíferos, aumentando la posibilidad de la aparición de cáncer.

Las pruebas indican que las construcciones transgénicas que incluyen el promotor CaMV 35S, presente en la mayoría de los cultivos transgénico, podrían ser especialmente inestables y propensas a la transferencia horizontal de genes y a la recombinación, con todos los riesgos que conllevan: mutaciones genéticas debidas a la inserción aleatoria, cáncer, reactivación de virus dormidos y generación de nuevos virus.

Hay una larga historia de distorsión de los hechos y omisión de pruebas científicas, especialmente sobre la transferencia horizontal de genes. Hay experimentos clave que no se han realizado, o se hicieron en forma incorrecta y luego se tergiversaron los resultados. Muchos no tuvieron experimentos complementarios, como en el caso del promotor CaMV 35S en que no se hicieron investigaciones para verificar si es responsable de los efectos del "factor de crecimiento símil" observados en ratas jóvenes alimentadas con papas transgénicas. Por todas esas razones los cultivos transgénicos deberían ser enérgicamente rechazados como opción viable para el futuro de la agricultura.

## Parte 3

### Los múltiples beneficios de la agricultura sustentable

#### 14

#### ¿Por qué agricultura sustentable?

##### La necesidad de una agricultura alternativa

La agricultura "moderna" se caracteriza por el monocultivo extensivo a gran escala, y depende de insumos altamente químicos y mecanización intensiva.

Si bien es productiva si se la define por la medida unidimensional del "rendimiento" de un único cultivo, su dependencia extrema de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos químicos viene con una retahíla de impactos negativos en la salud y el ambiente: riesgos para la salud de los trabajadores del campo, residuos químicos nocivos en los alimentos, disminución de la biodiversidad, deterioro de la calidad del suelo y el agua, y mayor riesgo de enfermedades en los cultivos. El monocultivo "moderno" también suele marginar a los pequeños agricultores, particularmente los de los países en desarrollo, que son la mayoría de los agricultores de todo el mundo. Los cultivos transgénicos, que ahora también se suman al paquete, son una amenaza aún mayor para la salud y el ambiente (ver Parte 2).

##### Distintas prácticas de agricultura sustentable

En contraste, los enfoques de la agricultura sustentable colocan el énfasis en que exista diversidad de recursos naturales locales y en la autonomía local de los agricultores para decidir qué cultivarán y cómo pueden mejorar sus cultivos y formas de sustento.

La agricultura es sustentable cuando es ecológicamente responsable, económicamente viable, socialmente justa, culturalmente apropiada, humanista y basada en un enfoque holístico. En el Cuadro 4 se presenta un breve resumen de criterios fundamentales, elaborados por Pretty y Hine [130].

Las propuestas de la agricultura sustentable pueden presentar varios nombres: agroecología, agricultura sustentable, agricultura orgánica, agricultura ecológica, agricultura biológica pero tienen esos criterios en común.

Por ejemplo, la agricultura orgánica excluye en gran medida los plaguicidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos. Es un enfoque ecosistémico el que dirige los procesos ecológicos y biológicos, tal como las relaciones de la cadena alimentaria, el ciclo de los nutrientes, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, el control natural de las plagas y la diversificación de cultivos y ganado. Se basa en recursos renovables derivados de la finca o del lugar, en la medida que sean ambiental y ecológicamente viables.

Si bien en los países desarrollados muchos podrían tener familiaridad con la producción orgánica certificada, eso es tan solo la punta del iceberg en términos de un manejo orgánico de la tierra pero no certificado como tal.

La agricultura orgánica *de facto*, o no certificada, suele predominar en regiones con escasez de recursos o marginales en términos agrícolas, donde las poblaciones locales tienen escasa inserción en la economía monetaria [131]. Los agricultores dependen aquí de recursos naturales locales para mantener la fertilidad del suelo y combatir plagas y enfermedades. Tienen sistemas sofisticados de rotación de cultivos, manejo del suelo y control de plagas y enfermedades, basados en el conocimiento tradicional.

De la misma manera, la agroecología se basa en tecnologías que son baratas, accesibles, evitan el riesgo y son productivas en ambientes marginales; que mejoran la salud ecológica y humana y que son cultural y socialmente aceptables [132]. Pone énfasis en la biodiversidad, el reciclado de los nutrientes, la sinergia entre los cultivos, animales, suelos y otros componentes biológicos, así como la regeneración y conservación de los recursos. La agroecología se basa en el conocimiento agrícola indígena e incorpora tecnologías modernas de bajos insumos externos para diversificar la producción. El enfoque combina principios ecológicos y recursos locales para el manejo de los sistemas agrícolas, ofreciendo una forma ambientalmente racional y económicamente accesible para que los pequeños agricultores intensifiquen la producción en zonas marginales.

Esas alternativas agroecológicas pueden resolver los problemas agrícolas que los cultivos transgénicos aducen resolver, pero lo logran de una manera mucho más equitativa en lo social y armoniosa en lo ambiental [3].

Hay innumerable cantidad de estudios así como investigaciones científicas que documentan el éxito y los beneficios de las propuestas de agricultura sustentable, incluidos los de la agricultura orgánica, que han sido evaluados recientemente por la FAO [133] e ISIS [134].

Resumimos a continuación las pruebas de algunas de las ventajas de la agroecología, la agricultura sustentable y la agricultura orgánica para el ambiente y la salud, así como para la seguridad alimentaria y el bienestar social de los agricultores y comunidades locales. Hablan a favor de un cambio amplio hacia los criterios de agricultura sustentable en lugar de los cultivos transgénicos.

#### Cuadro 4

##### La agricultura sustentable

- Hace un mejor uso de los bienes y servicios de la naturaleza integrando procesos naturales, regenerativos, por ejemplo, el ciclo de los nutrientes, la fijación de nitrógeno, la regeneración del suelo y los enemigos naturales de las plagas.
- Minimiza el uso de insumos no renovables (plaguicidas y fertilizantes) que perjudican el ambiente o son nocivos para la salud humana.
- Se basa en el conocimiento y las capacidades de los agricultores, mejorando la confianza en sus propias capacidades.
- Promueve y protege el capital social las capacidades de las personas para trabajar juntas en la solución de los problemas.
- Depende de prácticas adaptadas al lugar para innovar frente a situaciones de incertidumbre.
- Es polifuncional y contribuye a los bienes públicos, tales como el agua limpia, la flora y fauna, el secuestro de carbono de los suelos, la protección de las inundaciones y la calidad del paisaje.

#### 15

#### Productividad y rendimientos mayores o comparables

##### Mirando más de cerca los "rendimientos"

Una de las críticas más comunes a la agricultura orgánica es aducir que tiene rendimientos más bajos comparada con el monocultivo convencional. Si bien ese puede ser el caso en los países industrializados, esas comparaciones son equívocas porque no cuentan los costos que el monocultivo convencional tiene en materia de la degradación de la tierra, el agua y la biodiversidad y de otros servicios ecológicos de los cuales depende la producción sustentable de alimentos.

Al evaluar los rendimientos simplemente por un cultivo único como a menudo hacen los críticos se pierden otros indicadores de sustentabilidad y mayor productividad real por unidad de superficie, especialmente con sistemas agroecológicos que suelen tener una diversidad de cultivos, árboles y animales juntos en la tierra [135] (ver "Producción eficiente y rentable"). En general es posible obtener el máximo rendimiento de un cultivo único plantándolo solo en un monocultivo. Pero si bien un monocultivo puede permitir el alto rendimiento de un solo cultivo, no produce nada más que sea útil para el agricultor [136].

En todo caso, debido al daño que ha causado la agricultura convencional, usualmente se requiere un periodo de transición para recuperar la tierra de manera que dé todos los beneficios de la agricultura sustentable. Después de que el sistema se recupera, se obtienen rendimientos comparables o mayores. Con la agricultura tradicional, de bajos insumos, la conversión a propuestas sustentables normalmente va acompañada de un aumento inmediato de los rendimientos.

De hecho, en la mayoría de los países la mera reducción del tamaño promedio de las fincas estimularía el aumento de la producción muy por encima de las proyecciones más optimistas de la industria biotecnológica para los cultivos transgénicos. Las granjas pequeñas son más productivas, más eficientes y contribuyen más al desarrollo económico que las grandes fincas características del monocultivo convencional [136]. Los pequeños agricultores también administran mejor los recursos naturales.

La investigación en todo el mundo demuestra que las fincas más pequeñas son de dos a diez veces más productivas por hectárea que los establecimientos rurales grandes, que tienden a ser vastos monocultivos ineficientes. El aumento de la productividad se logra utilizando propuestas tecnológicas basadas en principios agroecológicos que ponen énfasis en la diversidad, la sinergia, el reciclado y la integración; y los procesos sociales que ponen énfasis en la participación y el empoderamiento de la comunidad. Como la dimensión promedio de las fincas usualmente está dentro de la franja más ineficaz, que es la mayor, una reforma agraria genuina ofrece la oportunidad de aumentar la producción a la vez de reducir la pobreza.

### Logros destacados en países en desarrollo

El éxito de la agricultura sustentable ha sido demostrado concretamente en un examen de 208 proyectos e iniciativas de 52 países [130]. Aproximadamente 8,98 millones de agricultores han adoptado prácticas de agricultura sustentable en 28,92 millones de hectáreas en África, Asia y América Latina. Datos fehacientes de cambios en el rendimiento de 89 proyectos demuestran que los agricultores han logrado aumentos importantes en la producción de alimentos por hectárea, de entre 50% y 100% para los cultivos pluviales, si bien considerablemente mayor en algunos pocos casos, y de 5% a 10% para los cultivos regadíos (si bien en general comenzando de una base mayor de rendimiento absoluto). Esos proyectos incluyeron sistemas orgánicos tanto certificados como no certificados, y sistemas integrados así como casi orgánicos. En todos los casos en los que se dispuso de datos fehacientes hubo aumentos de la productividad por hectárea en los cultivos alimenticios y se conservaron los rendimientos existentes en los cultivos de fibra [133].

A continuación brindamos algunos ejemplos específicos del aumento de los rendimientos:

- Sistemas de conservación de sol y agua en tierras secas de Burkina Faso han transformado tierras anteriormente degradadas. La familia promedio ha pasado de tener un déficit de cereales de 644 kg. por año (equivalentes a 6,5 meses de escasez de alimentos), a producir un excedente anual de 153 kg.
- A través del Proyecto Cheha de Fomento Rural Integrado (Cheha Integrated Rural Development Project) en Etiopía, alrededor de 12.500 hogares han adoptado la agricultura sustentable, lo que tuvo como resultado un aumento del 60% en el rendimiento de los cultivos.
- En Madagascar, un sistema de intensificación del arroz ha mejorado los rendimientos de aproximadamente 2 t./ha. a 5, 10 o 15 t./ha., sin recurrir al uso de plaguicidas o fertilizantes comprados.
- En Sri Lanka, alrededor de 55.000 hogares en aproximadamente 33.000 hectáreas han adoptado la agricultura sustentable, con reducciones importantes en el uso de insecticidas. Los rendimientos han aumentado entre 12 y 44% para el arroz y entre 7 y 44% para los vegetales.
- 45.000 familias de Honduras y Guatemala han aumentado los rendimientos de sus cultivos de 400-600 kg./ha. a 2.000-2.500 kg./ha. utilizando abonos verdes, cultivos de cobertura, franjas de pasto en curvas de nivel, labranza en hileras, muros de piedra y abono de animales.

Los Estados de Santa Catarina, Paraná y Rio Grande do Sul, en la región sur de Brasil, se han abocado a la conservación del suelo y el agua utilizando barreras de pasturas en curvas de nivel, arado de contorno y abonos verdes. Los rendimientos de maíz han aumentado un 67%, de 3 a 5 t./ha., y la soja un 68% de 2,8 a 4,7 t./ha.

Las regiones montañosas de Bolivia son una de las zonas del mundo donde cuesta más el crecimiento de los cultivos. A pesar de eso, los agricultores han aumentado los rendimientos de papa al triple, en especial por el uso de abonos verdes para enriquecer el suelo.

Otros estudios de caso de las prácticas orgánicas y agroecológicas demuestran aumentos drásticos en los rendimientos así como beneficios para la calidad del suelo, la reducción de plagas y enfermedades y una mejora general del sabor y el contenido nutritivo [13]. Por ejemplo:

- En Brasil, el uso de abonos verdes y de cultivos de cobertura aumentó los rendimientos de maíz en 20-250%.
- En Tigray, Etiopía, los rendimientos de los cultivos de parcelas con compost fueron de 3 a 5 veces más elevados que los tratados únicamente con productos químicos.
- Las fincas de Nepal que adoptaron prácticas agroecológicas tuvieron un aumento del 175% en la producción.
- En Perú, la recuperación de las tradicionales terrazas incas ha producido aumentos del 150% para una serie de cultivos de montaña. Los agricultores pueden producir abundantes cultivos a pesar de las inundaciones, las sequías y las heladas funestas, comunes en altitudes de casi 4.000 metros [135].
- Proyectos de Senegal en los que participaron 2.000 agricultores promovieron la cría de ganado en establo, sistemas de fabricación de compost, abonos verdes, sistemas de recolección de agua y fosfato de roca. Los rendimientos de mijo y maní aumentaron drásticamente, entre 75 y 195% y 75 y 165% respectivamente. Debido a que los suelos tienen mayor capacidad de retención de agua, las fluctuaciones de los rendimientos son menos pronunciadas entre los años de lluvias abundantes y escasas.
- En Santa Catarina, Brasil, se ha puesto la atención en la conservación del suelo y el agua, utilizando barreras de pasturas en curvas de nivel, arado de contorno y abonos verdes. Alrededor de 60 especies de cultivos diferentes, leguminosos y no leguminosos, han sido intercalados o plantados durante los periodos de barbecho. Dichos cultivos han tenido efectos importantes en los rendimientos, la calidad del suelo, los niveles de actividad biológica y la capacidad de retención del agua. Los rendimientos del maíz y la soja aumentaron 66%.
- En Honduras, las prácticas de conservación del suelo y los fertilizantes orgánicos han triplicado o cuadruplicado los rendimientos.

La plantación de porotos de *mucuna* ha mejorado el rendimiento de los cultivos en laderas de montaña empinadas y fácilmente erosionables, con suelos agotados, de Honduras [137]. Los agricultores plantan primero *mucuna*, que produce un crecimiento vigoroso que ahoga a las malezas. Cuando se cortan los porotos, se planta maíz en el pajote resultante. Posteriormente, los porotos y el maíz crecen juntos. Muy rápidamente, a medida que el suelo mejora, los rendimientos se duplican e incluso triplican (ver "Mejores suelos"). La razón es que la *mucuna* produce gran cantidad de materia orgánica, creando suelos ricos, friables. También produce su propio fertilizante, fijando nitrógeno atmosférico (N) y almacenándolo en el suelo para otras plantas.

Esta tecnología sencilla también ha sido adoptada en Nicaragua, donde más de 1.000 campesinos recuperaron tierra degradada en la cuenca de San Juan en tan solo un año. Esos agricultores han reducido el uso de fertilizantes químicos de 1.900 a 400 kg. por hectárea, a la vez que aumentaron los rendimientos de 700 a 2.000 kg. por hectárea. Sus costos de producción son aproximadamente 22% más bajos que los de los agricultores que utilizan fertilizantes químicos y monocultivos [135].

El fósforo (P) es el nutriente más importante (después del nitrato) del cual con gran frecuencia carecen los suelos del África tropical. A diferencia del N, el P no puede incorporarse al suelo por fijación biológica. Por lo tanto, la disponibilidad de P a partir de fuentes orgánicas e inorgánicas es fundamental para maximizar y mantener un alto potencial productivo de los cultivos.

Estudios en la región occidental de Kenya compararon los efectos de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos [138]. Los científicos concluyeron que podrían lograrse rendimientos razonables del maíz en sistemas a pequeña escala utilizando cantidades adecuadas de materia orgánica de alta calidad como fuente de P.

### Comparaciones en países industrializados

La agricultura orgánica también se compara favorablemente con el monocultivo convencional de los países industrializados. Un análisis de los resultados de investigaciones de siete universidades diferentes de los Estados Unidos y datos de dos centros de investigación a lo largo de 10 años, replicados científicamente,

demuestra que los rendimientos por cultivo de los sistemas orgánicos y el monocultivo convencional, son comparables [130].

Soja: datos de cinco Estados con 55 estaciones de crecimiento demostraron que los rendimientos de los cultivos orgánicos eran el 94% de los convencionales.

Trigo: dos instituciones con experiencias de cultivo de 16 años demostraron que el rendimiento del trigo orgánico era el 97% de los cultivos convencionales.

Tomates: 14 años de investigación comparativa de tomates no arrojaron diferencias en materia de rendimiento.

Vasilikiotis analizó estudios recientes comparando la productividad de las prácticas orgánicas con la agricultura convencional [140], incluidos los estudios de los Sistemas de Agricultura Sustentable (SAFS, en inglés) y de Rodale, discutidos más adelante, y concluyó que "las prácticas de agricultura orgánica pueden producir mayores rendimientos que los métodos convencionales". Además, "una conversión mundial a la producción orgánica tiene el potencial de aumentar los niveles de producción de alimentos sin mencionar que se revertiría la degradación de los suelos agrícolas e incrementar la fertilidad y salud del suelo".

Los resultados de los primeros 15 años de un experimento a largo plazo y en gran escala realizado por el Instituto Rodale demostró que después de un período de transición de cuatro años, los cultivos que crecen en sistemas orgánicos (basados en animales y vegetales) tuvieron un rendimiento similar y a veces mejor que los cultivos convencionales [141]. Además, los sistemas orgánicos superaron en rendimiento al sistema convencional cuando las condiciones estuvieron por debajo de lo óptimo, por ejemplo en época de sequía (ver "Mejores suelos").

Los rendimientos iniciales más bajos se atribuyeron en parte a la insuficiente disponibilidad de N, al tiempo que le lleva a la actividad microbiana del suelo para estabilizarse (los suelos generalmente contenían un total de N suficiente pero no todavía en una forma utilizable) y al mayor crecimiento de malezas. Todo eso pudo resolverse mediante un manejo apropiado y se le dio tiempo al sistema para que se ajustara al cambio a la agricultura orgánica. Un estudio de cuatro años, parte del proyecto más amplio y a más largo plazo del SAFS en la Universidad de California, en Davis, comparó los sistemas de agricultura convencional y alternativa para los tomates [142]. Los resultados indicaron que la producción orgánica y de bajos insumos externos obtuvo rendimientos comparables a los de los sistemas convencionales. La disponibilidad de N fue el factor de limitación del rendimiento más importante en los sistemas orgánicos, pero pudo resolverse con un manejo adecuado. Al agregarse N, asociado con elevados insumos de carbono, se creó materia orgánica en el suelo, con lo cual se incrementó la fertilidad en el largo plazo. Finalmente, los niveles de materia orgánica del suelo se estabilizaron y requirieron menos insumo de N.

Los resultados de los primeros ocho años del proyecto SAFS demostraron que los sistemas orgánicos y de bajos insumos tuvieron rendimientos comparables a los de los sistemas convencionales en todos los cultivos sometidos a prueba tomate, alazor (safflower), maíz y frijoles y, en algunos casos, los rendimientos fueron mayores que los de los sistemas convencionales [143]. Los rendimientos del tomate en los sistemas orgánicos fueron menores en los primeros tres años, pero luego se igualaron a los del sistema convencional, operándolo en el último año del experimento (80 t./ha. comparado con 68 t./ha. en 1996). Tanto los sistemas orgánicos como de bajos insumos externos aumentaron el contenido de carbono orgánico del suelo y almacenaron nutrientes, elementos fundamentales para la fertilidad del suelo a largo plazo.

Cuando los niveles de materia orgánica del suelo se estabilizaron en los últimos dos años del experimento, dando como resultado mayor disponibilidad de N, se observó un aumento de los rendimientos de los cultivos orgánicos. Se comprobó que los sistemas orgánicos eran más rentables en el caso del maíz y del tomate, principalmente debido al mayor precio pagado por productos de alta calidad.

Otro experimento comparó papas y maíz dulce orgánico y convencional durante tres años [144]. No hubo diferencias en cuanto a rendimiento y contenido de vitamina C en las papas. Una variedad del maíz convencional tuvo mayor producción que la variedad orgánica, pero ésta no tuvo diferencia con las otras variedades convencionales en cuanto al rendimiento o al contenido de vitamina C o E del grano del maíz. Los resultados sugieren que la aplicación a largo plazo de compost produce un aumento de la fertilidad del suelo y un crecimiento equiparable de la planta.

## 16 Mejores suelos

### Conservación del suelo

La mayoría de las prácticas agrícolas sustentables reducen la erosión del suelo y mejoran su estructura física, el contenido de materia orgánica, la capacidad de captación de agua y el equilibrio de los nutrientes. En las tierras ya fértiles se mantiene la fertilidad del suelo, y ésta logra recuperarse en las tierras degradadas.

Un buen ejemplo es el de los agricultores de los límites del Sahara, en Nigeria, Níger, Senegal, Burkina Faso y Kenia, que hacen una agricultura productiva sin destruir los suelos, aún en zonas secas. La agricultura integrada, los cultivos mixtos y los métodos tradicionales de conservación del suelo y el agua están aumentando en varias veces la producción por cápita de alimentos [145, 146].

Los sistemas de agricultura sustentable ayudan a conservar y mejorar el recurso más precioso de los agricultores: la superficie del suelo. Para contrarrestar los problemas de endurecimiento, pérdida de nutrientes y erosión, los agricultores orgánicos del Sur utilizan árboles, arbustos y legumbres para estabilizar y alimentar el suelo, abono animal y compost para añadir nutrientes, y construcción de terrazas o presas de contención para impedir la erosión y conservar el agua subterránea [131].

### Restableciendo la fertilidad del suelo

La plantación de porotos *mucuna* en América Latina ha restaurado la fertilidad de suelos agotados [137]. La *mucuna* produce 100 toneladas de materia orgánica por hectárea, creando suelos ricos y friables en unos pocos años. Produce su propio fertilizante con la fijación de N atmosférico, que luego permanece en el suelo para ser utilizado por otras plantas. Cuando el suelo mejora, los rendimientos se duplican y hasta triplican. Uno de los ensayos agrícolas en curso de más larga data de que se tenga registro (más de 150 años) es el experimento Broadbalk en la Estación Experimental de Rothamsted. Los ensayos comparan un sistema agrícola fertilizado con abono animal con un sistema fertilizado con productos químicos sintéticos. Los rendimientos de trigo son en promedio levemente mayores en las parcelas fertilizadas orgánicamente que en las parcelas que reciben fertilizantes químicos. Y lo que es más importante, la fertilidad del suelo, medida en niveles de materia orgánica y nitrógeno en el suelo aumentó 120% a lo largo de 150 años en las parcelas orgánicas, comparado con solamente un aumento del 20% en las parcelas fertilizadas químicamente [147].

Otro estudio comparó las características ecológicas y la productividad de 20 fincas rurales comerciales en California [148]. Los rendimientos del tomate fueron bastante similares en las fincas orgánicas y convencionales. El daño por plagas de insectos fue también similar. Donde sí se encontraron diferencias importantes fue en los indicadores de salud del suelo, como el potencial de mineralización del N y la abundancia y diversidad microbiana, que fueron mayores en las fincas orgánicas. El potencial de mineralización del N fue tres veces mayor en las fincas orgánicas que en las convencionales.

Las fincas orgánicas también tenían un 28% más de carbono orgánico. El aumento de la salud del suelo tuvo como resultado una disminución considerable de la incidencia de las enfermedades. La severidad de la enfermedad más frecuente del estudio, la enfermedad de la pudrición acorchada de la raíz, fue significativamente más baja en las fincas orgánicas.

### Mejorando la ecología del suelo

El experimento en curso de más años en el mundo que compara la agricultura orgánica con la convencional estableció que la primera daba muy buenos resultados [149, 150]. El estudio suizo que ya lleva 21 años, descubrió que los suelos tratados con abono eran más fértiles y producían más cultivos para un determinado insumo de nitrógeno u otro fertilizante.

El mayor beneficio fue que mejoró la calidad del suelo cultivado orgánicamente. Los suelos orgánicos tenían hasta 3,2 veces más biomasa y abundancia de

lombrices, el doble de artrópodos (predadores importantes e indicadores de la fertilidad del suelo) y 40% más hongos de micorrizas colonizando las raíces vegetales. Los hongos micorrizas ayudan a las raíces a obtener más nutrientes y agua del suelo [151]. La creciente diversidad de las comunidades microbianas en suelos orgánicos transformó el carbono de los desechos orgánicos en biomasa con menores costos energéticos, creando una mayor biomasa microbiana.

De ahí que una comunidad microbiana más diversa sea más eficiente en la utilización de los recursos. Se supone que el aumento de la fertilidad del suelo y la mayor biodiversidad de los suelos orgánicos reducen la dependencia de insumos externos y brindan beneficios ambientales a largo plazo.

Los experimentos de campo realizados en tres fincas de verduras orgánicas y tres fincas convencionales en 1996-1997, examinaron los efectos de los fertilizantes sintéticos y enmiendas alternativas del suelo, en especial el compost [152]. Las densidades Propagule de las especies *Trichoderma* (hongos beneficios del suelo que son agentes de control biológico de hongos patógenos para las plantas) y microorganismos termófilos (un constituyente importante de lo que era el Actinomyces, que domina a la *Phytophthora*) fueron mayores en suelos orgánicos. En contraste, las densidades de *Phytophthora* y *Pythium* (ambas plantas patógenas) fueron menores en suelos orgánicos.

Si bien el estudio registró mayor cantidad de bacterias entéricas en suelos orgánicos, los científicos subrayaron que eso no era un problema, ya que los índices de supervivencia en el suelo son mínimas. (Los críticos de la agricultura orgánica señalan falsamente los posibles efectos sobre la salud de la utilización de estiércol como abono. Pero el estiércol no tratado *no* está permitido en la agricultura orgánica certificada, y el estiércol tratado (conocido ampliamente como compost) es seguro por eso es utilizado en la agricultura orgánica. A diferencia de los regímenes convencionales (donde podría utilizarse estiércol no tratado), los organismos de certificación orgánica inspeccionan las fincas rurales para asegurar el cumplimiento de las normas [153].

Se observaron pocas diferencias significativas entre los rendimientos de los suelos con sistemas de reparación alternativos y los de los suelos con fertilizantes sintéticos, independientemente del sistema de producción. En 1997, cuando todos los productores plantaron tomates, los rendimientos fueron mayores en las fincas que tenían una historia de producción orgánica, independientemente del tipo de reparación del suelo, debido a los beneficios a largo plazo de las prácticas de reparación orgánica. Las concentraciones minerales fueron mayores en los suelos orgánicos y la calidad del suelo en las fincas convencionales mejoró sustancialmente por el fertilizante orgánico. Los investigadores concluyeron que "los datos que hemos recogido no sustentan el argumento [de los críticos] de que la agricultura orgánica equivale a una agricultura de bajo rendimiento" (pág. 158).

### **Mejora de la calidad general del suelo, evitando la pérdida de cosechas en época de sequía**

El estudio de 15 años llevado a cabo por el Instituto Rodale comparó tres agroecosistemas de maíz/soja [141, 154, 155]. Uno era un sistema convencional en el que se utilizó fertilizantes y plaguicidas con N mineral. Los otros dos sistemas fueron manejados de manera orgánica. Uno se trató a base de abono animal, donde el pasto y las legumbres, cultivados como parte de la rotación de un cultivo, estaban destinados a alimentar ganado. El abono animal brindaba N para la producción de maíz. El otro sistema no tenía ganado pero se incorporaron al suelo cultivos leguminosos de cobertura como fuente de N.

Se encontró que las técnicas orgánicas mejoraban significativamente la calidad del suelo, medido por su estructura, la materia orgánica total del suelo (una medida de la fertilidad del suelo) y la actividad biológica [141]. La estructura mejorada del suelo creó también un mejor ambiente en la zona de la raíz para las plantas cultivadas y permitió que el suelo absorbiera mejor y retuviera humedad. Aparte del beneficio en los periodos de escasez de lluvias, redujo el potencial de erosión en las tormentas severas.

Los suelos orgánicos demostraron un mayor nivel de actividad microbiana y una mayor diversidad de microorganismos. Esos cambios a largo plazo en las poblaciones del suelo podrían contribuir a la salud de las plantas y es posible que favorezcan la forma en que nutrientes tales como el carbono y el nitrógeno pueden ser utilizados por las plantas y se reciclen en el suelo.

Increíblemente, en 10 años, los rendimientos promedio del maíz tuvieron menos de un 1% de diferencia entre los tres sistemas, que fueron casi igualmente rentables [154, 155]. Los dos sistemas orgánicos demostraron cada vez mayor presencia de N, mientras que los niveles de N se redujeron en el sistema convencional. Esto indica que los sistemas orgánicos son más sustentables en el largo plazo, en términos de productividad [141].

Los sistemas de producción de soja también fueron muy productivos, logrando 40 fanegas por acre [1 fanega=36,367dm<sup>3</sup>/ lts.) En 1999, durante una de las peores sequías de la historia, el rendimiento de la soja orgánica fue de 30 fanegas por acre, comparado con solamente 16 fanegas por acre de soja cultivada de manera convencional. Las prácticas orgánicas no solamente favorecieron que el suelo mantuviera la humedad de manera más eficiente que el suelo manejado convencionalmente, sino que el mayor contenido de materia orgánica también hizo que el suelo orgánico estuviera menos compacto y que así las raíces pudieran penetrar más profundamente hasta encontrar humedad.

Los resultados subrayaron los beneficios que brinda la agricultura orgánica para la calidad del suelo y su potencial para evitar la pérdida de cosechas. "Nuestros ensayos demuestran que mejorar la calidad del suelo a través de prácticas orgánicas puede ser la diferencia entre tener una cosecha y sufrir penurias en épocas de sequía", dijo Jeff Moyer, Administrador Agrícola del Instituto Rodale [156].

## **17**

### **Un ambiente más limpio**

#### **Menos insumos químicos, menos lixiviación y escorrentía**

Los sistemas agrícolas sustentables que no utilizan plaguicidas o herbicidas químicos, o utilizan muy poco, claramente cumplen un beneficio para el ambiente (ver la próxima sección). Los sistemas agrícolas convencionales, además, se asocian a menudo con problemas tales como la lixiviación de nitrato y la contaminación del agua subterránea.

La aplicación de fertilizantes con fósforo por encima de las necesidades de la planta provocan la acumulación de P en la cubierta del suelo y un aumento de la pérdida del agua de la superficie. La eutrofización del agua es uno de los resultados más demoledores de la contaminación de N y P.

Las altas concentraciones de nutrientes estimulan la aparición de algas, que bloquean la luz del sol con lo cual provocan la muerte de la vegetación acuática, destruyendo así hábitats, alimentos y refugios valiosos para la vida acuática. Cuando las algas mueren y se descomponen, el oxígeno se agota, en detrimento de la vida acuática.

En el Valle del Sacramento, California, desde 1994 a 1998 se evaluaron cuatro sistemas agrícolas orgánico, de bajos insumos, convencional con cuatro años de rotación y convencional con dos años de rotación para tomates y maíz [157]. Los sistemas orgánicos y de bajos insumos demostraron tener, respectivamente, 112% y 36% más de reservas de N potencialmente mineralizable que los sistemas convencionales. Sin embargo, como utilizaban cultivos de cobertura hubo una liberación más lenta y continua de N mineral a lo largo de la época de crecimiento.

En contraste, los sistemas convencionales proporcionaron N mineral en intervalos a partir de fertilizantes sintéticos, y los índices de mineralización del N fueron 100% mayores que en el sistema orgánico y 28% mayores que en el sistema de bajos insumos externos. Esto implicó que en los sistemas convencionales había más probabilidades de lixiviación del N y de problemas de contaminación asociados.

Los rendimientos promedio del tomate y el maíz para un período de cinco años no fueron sustancialmente diferentes entre los distintos sistemas agrícolas. Los investigadores concluyeron que el menor potencial de riesgo de lixiviación del N por las tasas inferiores de mineralización del N en el sistema agrícola orgánico y en el de bajos insumos externos parecen mejorar la sustentabilidad agrícola y la calidad ambiental a la vez que sus rendimientos se mantienen similares a los de los sistemas convencionales.

El estudio suizo de 21 años [149, 150] también evaluó hasta qué punto las prácticas agrícolas orgánicas afectarían la acumulación del P total y existente en el suelo, en comparación con las prácticas convencionales [158]. Se tomaron muestras de suelo de un control no fertilizado, dos tratamientos cultivados de manera convencional y dos tratamientos cultivados de manera orgánica.

Los gastos anuales promedio de P de los sistemas agrícolas orgánicos fueron negativos para cada uno de los períodos de rotación y para los 21 años de experimentación en el terreno. Esto indica que la eliminación de P por productos cosechados excedió el insumo de P por fertilizantes. El suelo cultivado convencionalmente, que recibió fertilizantes minerales y abono de la propia finca, demostró un gasto positivo en las tres rotaciones. Además, la disponibilidad de P inorgánico en la superficie del suelo disminuyó notoriamente en todos los tratamientos durante el ensayo de campo salvo en el tratamiento convencional. Así, el potencial de contaminación de P de los sistemas orgánicos se redujo.

Los ensayos de 15 años llevados a cabo por el Instituto Rodale demostraron que el sistema convencional tenía mayores impactos ambientales 60% más de nitrato lixiviado en el agua subterránea durante un periodo de cinco años que en los sistemas orgánicos [154-155]. Los suelos del sistema convencional también presentaron niveles relativamente elevados de carbono soluble en agua, por lo tanto propenso a lixivarse. Las mejores tasas de infiltración de agua de los sistemas orgánicos los hicieron menos vulnerables a la erosión y disminuyeron las probabilidades de contribuir a la contaminación del agua por la escorrentía de superficie.

## 18 Reducción de plaguicidas sin aumento de plagas

### Menos plaguicidas

La agricultura orgánica prohíbe la aplicación reiterada de plaguicidas. Según la Asociación del Suelo, en el Reino Unido se permiten aproximadamente 430 ingredientes activos de plaguicidas sintéticos en la agricultura no orgánica, comparado con siete en la agricultura orgánica. Los plaguicidas utilizados en la agricultura orgánica pueden ser utilizados solamente como último recurso para el control de plagas, cuando fallen otros métodos. Son productos químicos naturales o simples que se degradan rápidamente. Tres de ellos requieren además autorización para su uso.

Muchos proyectos de agricultura sustentable informan que después de adoptar el manejo integrado de plagas se reduce en gran medida la utilización de plaguicidas. En Vietnam, los agricultores han bajado la cantidad de aspersiones de 3,4 a 1,0 por estación; en Sri Lanka de 2,9 a 0,5 por estación, y en Indonesia de 2,9 a 1,1 por estación. En términos generales, en el sudeste asiático, 100.000 pequeños productores de arroz que realizan un manejo integrado de plagas aumentaron sustancialmente los rendimientos a la vez que eliminaron el uso de plaguicidas [130].

### Control de plagas sin plaguicidas y sin pérdida de cultivos

Como en los procedimientos orgánicos no pueden utilizarse plaguicidas sintéticos, los críticos aducen que aumentarían las pérdidas por plagas. Sin embargo, la investigación de la producción de tomate californiano contradujo este argumento [159]. No hubo una diferencia significativa en el grado de perjuicio ocasionado por plagas en 18 fincas rurales comerciales, la mitad de las cuales eran sistemas orgánicos certificados y la otra mitad, actividades convencionales. El promedio de la biodiversidad de artrópodos fue un tercio mayor en las fincas orgánicas que en las fincas convencionales. No hubo diferencias importantes entre los dos sistemas en cuanto a la abundancia de herbívoros (plaga).

Sin embargo, los enemigos naturales de las plagas fueron más abundantes en las fincas orgánicas, donde hubo mayor riqueza de especies de todos los grupos funcionales (herbívoros, predadores, parasitoides). Así, una especie particular de plaga en las fincas orgánicas estaría asociada con una mayor variedad de herbívoros (es decir, se diluiría) y sujeta a control por una variedad más amplia y una mayor abundancia de parasitoides y predadores potenciales.

Al mismo tiempo, la investigación revela que es posible realizar el control de plagas sin plaguicidas, revirtiendo realmente la pérdida de cultivos. En África del este, el maíz y el sorgo enfrentan dos grandes plagas el barrenador del tallo y la *Striga*, una planta parásita. En los márgenes de la finca se plantan "cultivos trampa", como la gramínea Napier y la gramínea de Sudán, que atraen al barrenador del tallo. Las plagas quedan atrapadas pues la gramínea produce una sustancia pegajosa que mata a la larva del barrenador del tallo [160]. Intercalados con los cultivos se planta desmodio plateado (*Desmodium uncinatum*) y dos leguminosas: *silverleaf* y *greenleaf*. Las leguminosas ligan el N, enriqueciendo el suelo. El *Desmodium* también repele a los barrenadores del tallo y a la *Striga*.

En 1995 comenzó un proyecto en Bangladesh para promover medios no químicos de control de plagas en el arroz, basados en los enemigos naturales y en la capacidad de la planta del arroz para compensar los daños provocados por el insecto. No ha habido impactos negativos en materia de rendimiento [161]. Por el contrario, los agricultores que no utilizan insecticidas tienen habitualmente mayores rendimientos que los que utilizan insecticidas. Como los participantes del proyecto también modificaron otras prácticas además de abandonar los insecticidas, no puede decirse que el aumento del rendimiento se deba enteramente a la ausencia de insecticidas. No obstante, demuestra que los insecticidas no son necesarios para obtener aumentos en el rendimiento. Los participantes del proyecto obtienen ganancias netas mayores que los que utilizan insecticidas: el promedio de ganancias netas en 1998 para los participantes fue de 5.373 takas (US\$ 107) por agricultor por estación, comparado con 3.443 takas (US\$ 69) de los que utilizaban insecticidas.

### Otros beneficios de evitar el uso de plaguicidas

Además del beneficio obvio de no utilizar plaguicidas peligrosos, los investigadores coreanos han informado que la no utilización de plaguicidas en los arrozales favorece el desarrollo de la carpa oriental (*Misgurnus mizolepis*), que efectivamente controla los mosquitos que diseminan la malaria y la encefalitis japonesa [162]. Los campos en los que no se utilizaron plaguicidas tenían una mayor variedad de insectos. No obstante, los peces son predadores voraces de las larvas de mosquito.

En Japón, un agricultor orgánico innovador ha sido el iniciador de un sistema de cultivo del arroz que convierte a las malezas y plagas en recursos para criar patos [163]. Los patos comen insectos plagas y el caracol dorado (*Pomacea canaliculata*) que ataca las plantas del arroz, y también comen las semillas y plántulas de las malezas. Utilizando sus patas para desenterrar las plántulas de las malezas, los patos ventilan el agua y ofrecen estimulación mecánica para que los tallos se fortalezcan y sean fértiles.

Esta práctica ha sido adoptada por unos 10.000 agricultores de Japón, y por agricultores de Corea del Sur, Vietnam, Filipinas, Laos, Camboya, Tailandia y Malasia. Numerosos agricultores aumentaron su rendimiento entre 20% y 50% o más en el primer año. Un agricultor de Laos llegó a triplicar sus ingresos.

Sistemas como esos, que son característicos de propuestas agrícolas sustentables, hacen uso de las complejas interacciones entre diferentes especies y demuestran la importancia que tiene la relación entre la biodiversidad y la agricultura (ver el capítulo siguiente).

Los beneficios para la salud al evitar los plaguicidas se discuten brevemente en "Orgánicos por la salud".

## 19 Apoyando y utilizando la diversidad

### La biodiversidad agrícola es crucial para la seguridad alimentaria

Mantener la biodiversidad agrícola es vital para la seguridad alimentaria a largo plazo. Pimbert estudió las múltiples funciones de la biodiversidad agrícola y su importancia para las formas de vida y el sustento rural [164]. La biodiversidad agrícola contribuye a la seguridad alimentaria y al sustento, a la producción eficiente, a la sustentabilidad ambiental y al desarrollo rural; regenera los sistemas alimentarios locales y las economías rurales. Las poblaciones rurales tienen formas de vida y sustento dinámicas y complejas, que generalmente dependen de una diversidad de especies vegetales y animales, tanto silvestres como domesticadas. La

diversidad *dentro* de las especies (es decir, las variedades o razas criollas de los agricultores) también es importante entre las especies domesticadas para la producción de cultivos y ganado, y es el resultado de la innovación de las poblaciones rurales. Esa diversidad agrícola es un seguro fundamental contra el brote de enfermedades en los cultivos y el ganado, y mejora la resiliencia a largo plazo de las formas de vida y sustento rurales frente a las tendencias adversas o a las perturbaciones.

La biodiversidad agrícola está cada vez más en peligro por la adopción de cultivares y variedades uniformes de alto rendimiento en el monocultivo "moderno". Los debates en una reunión de la FAO realizada en 2002 "La biodiversidad y el enfoque ecosistémico en la agricultura, el manejo del bosque y la pesca" (Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries) subrayaron las interconexiones que existen entre la biodiversidad y la agricultura [165]. Se dieron ejemplos específicos de cómo las innovaciones de los agricultores mejoran la biodiversidad así como de la importancia de la biodiversidad para la agricultura. Un documento evaluó 16 estudios de caso de 10 países de Asia, América Latina, Europa y África, demostrando cómo la agricultura orgánica aumenta la diversidad de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura [166]. En todos los casos existe una relación estrecha entre los sistemas orgánicos y el mantenimiento de la biodiversidad, por un lado, y la mejora de las condiciones socioeconómicas de los agricultores por el otro.

Los estudios de caso de un sistema agrícola orgánico basado en la comunidad en Bangladesh, el cultivo *ladang* de especies orgánicas en Indonesia y la producción de café orgánico en México demuestran cómo el manejo tradicional y basado en la comunidad puede rehabilitar ecosistemas agrarios abandonados y degradados. Esos sistemas de policultivos se caracterizan por tener ecosistemas altamente diversificados y biodiversidad agrícola, que ofrece no solamente alimentos sino también otros servicios para la comunidad. Los estudios de caso del cultivo de cacao orgánico en México y de algodón orgánico pigmentado naturalmente en Perú, son ejemplos de los buenos resultados de la agricultura orgánica que ha contribuido a la conservación *in situ* y a la utilización sustentable de centros de diversidad, a la vez que brinda beneficios económicos para las comunidades locales.

Ha sido la agricultura orgánica la que ha salvado de la extinción a especies y variedades tradicionales y subutilizadas de Perú (quinua libre de gluten), Italia (grano Saraceno, poroto Zolfino, trigo farro (spelt)) e Indonesia (variedades locales de arroz). Cuatro estudios de caso, de Alemania, Italia, Sudáfrica y Brasil, ilustran cómo la agricultura orgánica ha recuperado numerosas variedades y razas tradicionales que están mejor adaptadas a las condiciones ecológicas locales y son resistentes a las enfermedades. Como concluyen los autores, la agricultura orgánica contribuye a la conservación *in situ*, la restauración y el mantenimiento de la biodiversidad agrícola.

### **Conservando y sustentando la biodiversidad**

La agricultura sustentable desempeña otra función importante en la conservación de la biodiversidad natural. Las fincas rurales orgánicas a menudo exhiben mayor biodiversidad natural que las fincas convencionales, con más árboles, una diversidad más amplia de cultivos y numerosos predadores naturales diferentes, que controlan las plagas y ayudan a prevenir las enfermedades [131].

Investigaciones realizadas en Colombia y México revelaron que había un 90% menos de especies de pájaros en las plantaciones de café cultivadas al sol que en las de café orgánico cultivado a la sombra, que imita el hábitat natural del bosque [167].

El cultivo a la sombra está recomendado por las normas orgánicas ya que aumenta la fertilidad del suelo, controla las plagas y enfermedades y amplía las opciones de producción de cultivos. Otro estudio de la Fundación Británica de Ornitología (BTO, en inglés) reveló que había densidades de reproducción de la alondra (una especie en peligro de extinción) significativamente mayores en fincas orgánicas que en fincas convencionales. La diversidad floral, que también se ha visto amenazada por el creciente uso de herbicidas en la producción agrícola, puede llegar a beneficiarse de sistemas orgánicos que no permiten la utilización de herbicidas químicos. Estudios en Grecia e Inglaterra demuestran que la diversidad y abundancia de flores es en efecto mayor en los sistemas orgánicos que en los convencionales. Otros estudios demuestran que los sistemas orgánicos tienen mayor diversidad y abundancia de invertebrados.

Un informe de la organización británica Asociación de Suelos (Soil Association) [168] estudió extensivamente los resultados de nueve estudios (siete del Reino Unido, dos de Dinamarca), y resumió los resultados fundamentales de otros catorce estudios sobre la biodiversidad sustentada en la agricultura orgánica. El informe concluyó que la agricultura orgánica en tierras bajas contiene un grado mayor de biodiversidad (tanto en abundancia como en diversidad de especies) que los sistemas agrícolas convencionales, en particular de especies que han mermado de manera significativa. Fue el caso en especial de plantas silvestres en campos arables; de pájaros y la reproducción de alondras; de invertebrados, particularmente artrópodos, que constituyen el alimento de las aves; de mariposas benéficas; y de arañas. Las fincas rurales orgánicas también demostraron una reducción importante de áfidos plaga y ningún cambio en las mariposas plaga. La calidad del hábitat fue más favorable en las fincas rurales orgánicas, tanto en términos de los márgenes del campo como de los hábitats de los cultivos.

Se identificaron numerosas prácticas benéficas de la agricultura orgánica, tales como rotaciones de los cultivos con praderas temporales, siembra mixta de primavera y otoño, pastos más permanentes, no aplicación de herbicidas o plaguicidas sintéticos, y utilización de abono verde. Esas prácticas pueden revertir la tendencia a la pérdida de biodiversidad asociada a la agricultura convencional. En general, las mejoras de la biodiversidad se encontraron tanto en las zonas cultivadas como en los márgenes del campo. El informe también indicó que probablemente los beneficios más importantes se dan en las zonas de montaña.

La menor aplicación de agroquímicos en la agricultura orgánica y sustentable, o directamente su no utilización, también permitirá que prosperen especies de plantas silvestres, entre las cuales hay un número creciente de hierbas que son utilizadas en medicinas tradicionales. La Organización Mundial de la Salud estima que entre el 75% y 80% de la población mundial utiliza plantas medicinales, sea en parte o enteras, para la atención de la salud. Algunas de esas especies de plantas silvestres están en vías de extinción y es necesario concertar esfuerzos para su conservación local, a la vez de asegurar que su recolección en estado silvestre sea sustentable y continúe contribuyendo al sustento de las poblaciones locales [169]. Las plantas y animales silvestres también forman parte de un repertorio importante de alimentos y medicinas para numerosas comunidades agrícolas [164].

### **La diversidad aumenta la productividad agrícola**

La biodiversidad es parte importante e integral de las propuestas de agricultura sustentable. Cada especie de un agroecosistema es parte de una red de relaciones ecológicas conectadas por flujos de energía y materiales. En este sentido, los distintos componentes de la agrobiodiversidad son polifuncionales y contribuyen a la resiliencia de los sistemas de producción a la vez que ofrecen servicios ambientales, si bien algunas especies pueden desempeñar importantes funciones de estimulación [164]. Entre los múltiples servicios ambientales que brinda la biodiversidad agrícola figuran la descomposición de la materia orgánica del suelo, el ciclo de los nutrientes, eficiencia en la producción y el rendimiento de la biomasa, conservación del suelo y el agua, control de plagas, polinización y dispersión, conservación de la biodiversidad, funciones climáticas, ciclo del agua e influencia en la estructura del paisaje.

Las pruebas empíricas de un estudio comenzado en 1994 demuestran que los ecosistemas biodiversos son dos o tres veces más productivos que los monocultivos [170, 171]. En las parcelas experimentales, la biomasa tanto de la superficie del suelo como la total aumentó significativamente con el número de especies. Las parcelas con alta diversidad fueron bastante inmunes a la invasión y el crecimiento de malezas, pero no ocurrió lo mismo con los monocultivos y las parcelas con baja diversidad. Por consiguiente, los sistemas biodiversos son más productivos y también menos propensos a la invasión de malezas!

Miles de productores de arroz chinos demostraron, con resultados sorprendentes, que la siembra de cultivos diversos es beneficiosa (comparada con los monocultivos) pues los rendimientos se duplicaron y prácticamente se eliminó la enfermedad más devastadora sin utilizar productos químicos o gastar más [172, 173].

Un grupo de científicos trabajó en forma conjunta con agricultores de Yunnan, quienes aplicaron una práctica sencilla que limitó radicalmente el hongo *blast* del arroz, que destruye millones de toneladas de arroz y cada año cuesta a los agricultores pérdidas multimillonarias (en dólares).

En lugar de plantar grandes extensiones con un único tipo de arroz, como es lo habitual, los agricultores plantaron una mezcla de dos variedades: un arroz híbrido estándar que generalmente no sucumbe al hongo *blast* y un arroz con mucho más contenido de glutinosa o más "pegajoso", que se sabe es muy susceptible a la plaga. Se plantaron cultivos de arroz genéticamente diversos en todos los campos de arroz de cinco municipios en 1998 (812 hectáreas), y de diez municipios en 1999 (3.342 hectáreas). Las variedades susceptibles a enfermarse, al ser plantadas con variedades resistentes tuvieron un aumento del 89% en su rendimiento, y el hongo *blast* fue un 94% menos severo de lo que era cuando crecía en un monocultivo. Ambas variedades de arroz -glutinosa e híbrido- expresaron menor grado de infección.

La hipótesis del arroz glutinoso es bastante clara. Si una variedad es susceptible a una enfermedad, cuanto más concentrados estén esos tipos susceptibles, más fácilmente se propaga la enfermedad. Es menos probable que se propague cuando las plantas susceptibles crecen entre plantas resistentes a la enfermedad (es decir, se diluye el efecto). Las plantas de arroz glutinosas que crecen por encima del arroz híbrido más corto, también se beneficiaron de condiciones más soleadas, más cálidas y más secas que refrenaron el crecimiento de los hongos. El hecho de que la variedad híbrida mostró menos susceptibilidad a enfermarse puede deberse a que el arroz glutinoso, al ser más alto, bloqueó las esporas del hongo *blast* transportadas por el aire, y a una mayor resistencia inducida (por los diversos campos que mantienen diversidad de patógenos sin que haya una única cepa dominante). El valor neto de las mezclas por hectárea fue un 14% mayor que el de los monocultivos híbridos y un 40% mayor que el de los monocultivos glutinosos.

En Cuba, los sistemas agrícolas integrados o policultivos, tales como yuca-frijol-maíz, yuca-tomate-maíz, y boniato-maíz tienen de 1,45 a 2,82 veces más productividad que los monocultivos [135]. Además, las legumbres mejoran las características físicas y químicas del suelo y rompen con eficacia el ciclo de las infecciones de insectos plaga.

En Bangladesh se integraron vegetales a los sistemas de cultivo de arroz, plantándolos en diques. Eso no afectó el rendimiento del arroz a pesar de la superficie destinada a las zanjas, que se perdió para ese cultivo [161]. Por el contrario, los vegetales aportaron más nutrientes a las familias. El excedente fue compartido con los vecinos, amigos y parientes, o se vendió, lo que produjo un valor agregado del 14%.

La integración de peces a los sistemas de arroz inundado tampoco causó una reducción importante de los rendimientos del arroz, y en algunos casos los aumentó. Las ganancias netas de la venta de pescado alcanzaron un promedio de 7.354 takas (US\$ 147) por agricultor por estación, más los ingresos por el arroz. En cuanto a los vegetales, los agricultores con cultivo combinado de arroz y peces comieron pescado con mayor frecuencia y donaron gran parte del mismo entre sus redes sociales.

La biodiversidad del suelo también cumple una función fundamental en la promoción de una agricultura sustentable y productiva, y las prácticas orgánicas ayudan a aumentarla [174]. El pajote orgánico, aplicado con moderación en superficies de suelo degradadas y endurecidas en la región saheliana de Burkina Faso, desencadenó una actividad de las termitas que facilitó la recuperación y rehabilitación de los suelos degradados. Las termitas que se alimentaron con el pajote aplicado a la superficie o lo transportaron, mejoraron la estructura del suelo y la infiltración de agua, con lo cual aumentó la liberación de nutrientes en el suelo. El crecimiento y rendimiento del guisante sureño (*Vigna unguiculata*) fue mucho mayor en las parcelas con termitas que en las que no las tenían. En India, los fertilizantes orgánicos y las lombrices utilizadas en lombricultura, aplicados en tramos entre hileras de té, aumentaron los rendimientos de té entre 76% y 239% comparados con la fertilización inorgánica convencional. Las ganancias aumentaron de manera acorde.

## 20

### Sustentabilidad ambiental y económica

#### Producción sustentable

Investigaciones publicadas en *Nature* estudiaron la sustentabilidad de los sistemas orgánico, convencional e integrado en la producción de manzana (que combina ambos métodos) en Washington de 1994 a 1999 [175, 176]. El sistema orgánico ocupó el primer lugar en términos de sustentabilidad ambiental y económica, el sistema integrado el segundo y el sistema convencional el último.

Los indicadores utilizados fueron la calidad del suelo, el desempeño hortícola, la rentabilidad del huerto, la calidad ambiental y la eficiencia energética. Las valoraciones de la calidad del suelo en 1998 y 1999 para los sistemas orgánico e integrado fueron significativamente mayores que la del sistema convencional, debido al agregado de compost y pajote. Los tres sistemas dieron rendimientos similares, sin diferencias observables en materia de alteraciones fisiológicas o daños provocados por plagas o enfermedades. En los tres casos hubo niveles de nutrientes satisfactorios. Una prueba para evaluar el sabor entre los consumidores reveló que las manzanas orgánicas eran menos ácidas al momento de la cosecha y más dulces que las manzanas convencionales después de estar almacenadas durante seis meses.

Las manzanas orgánicas fueron más rentables debido a que tenían mejores precios de venta por su condición de orgánicas, y tuvieron un retorno de la inversión más rápido. A pesar de que en los tres primeros años la recaudación inicial fue menor por el tiempo que llevó convertir el sistema a una agricultura orgánica certificada, el precio extra en los tres años subsiguientes promedió un 50% por encima de los precios convencionales. A largo plazo, el sistema orgánico recuperó sus costos más rápidamente. El estudio proyectó que el sistema orgánico alcanzaría su máximo desempeño después de 9 años, pero que el sistema convencional lo haría recién después de 15 años y el sistema integrado después de 17 años.

El impacto ambiental fue evaluado por un índice de calificaciones para determinar los posibles impactos adversos de los plaguicidas y tñer (*disolventes*) de la fruta: cuanto más alta la calificación, mayor el impacto negativo. La calificación del sistema convencional fue 6,2 veces mayor que la del sistema orgánico. A pesar de que necesita más mano de obra, el sistema orgánico gastó menos energía en fertilizantes, control de malezas y control biológico de plagas, siendo el de mayor eficiencia energética.

Otro estudio evaluó los aspectos financieros y ambientales de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas orgánico, integrado y convencional, aplicando un marco de contabilidad económica y ambiental integrado a tres fincas rurales de Toscana, Italia [177]. En términos de los resultados financieros, los márgenes netos de los sistemas agrícolas de régimen orgánico permanente fueron mayores que los márgenes netos correspondientes a los sistemas agrícolas convencionales. Los sistemas orgánicos tuvieron mejores resultados que los sistemas integrados y convencionales con respecto a las pérdidas de nitrógeno, riesgos por plaguicidas, biodiversidad de plantas herbáceas y la mayoría de los indicadores ambientales.

Los resultados brindaron pruebas de que la agricultura orgánica potencialmente mejora la eficiencia de numerosos indicadores ambientales, además de ser más remunerable. Si bien el estudio no ofrece conclusiones finales de que la agricultura orgánica sea más sustentable, el resultado de los sistemas agrícolas orgánicos fue mejor que el de los sistemas agrícolas convencionales.

#### Ambientalmente sustentable

Un estudio que abarcó el continente europeo evaluó los impactos de la agricultura orgánica en el ambiente y la utilización de los recursos, en comparación con la agricultura convencional [178]. El estudio demostró que los resultados de la agricultura orgánica fueron mejores que los de la agricultura convencional en relación con la mayoría de los indicadores ambientales estudiados. En ninguna de las categorías la agricultura orgánica demostró resultados peores que la agricultura convencional.

Por ejemplo, la agricultura orgánica tuvo mejores resultados que la agricultura convencional en términos de la diversidad de flora y fauna, conservación de la vida silvestre y diversidad de hábitats. La agricultura orgánica también logró una mejor conservación de la fertilidad del suelo y la estabilidad del sistema que los sistemas convencionales. Además, el estudio demostró que la agricultura orgánica tiene índices de lixiviación de nitratos mejores o similares a los de la agricultura integrada o convencional, y que no plantea riesgos de contaminación del agua subterránea o de superficie por plaguicidas sintéticos.

El estudio de la FAO [133] concluyó: "Como evaluación final, puede establecerse que la agricultura orgánica bien manejada crea condiciones más favorables en *todos* los aspectos ambientales" (las itálicas son nuestras, pág. 62). La evaluación demostró que el contenido de materia orgánica es generalmente mayor en los suelos orgánicos, indicando mayor fertilidad, estabilidad y capacidad de retención de la humedad, lo cual reduce el riesgo de erosión y desertificación. Los suelos orgánicos tienen una actividad biológica y una masa de microorganismos significativamente mayor, acelerando el reciclado de los nutrientes y mejorando la estructura del suelo.

El estudio reveló que la agricultura orgánica no plantea riesgos de contaminación del agua a través de plaguicidas sintéticos y que los índices de lixiviación de nitrato por hectárea son significativamente más bajos que los de los sistemas convencionales. En términos de utilización de la energía, la agricultura orgánica tiene mejores resultados que la convencional (ver la próxima sección).

El análisis estableció que los recursos genéticos, en especial insectos y microorganismos, aumentan cuando la tierra se trabaja de manera orgánica, mientras que la flora y la fauna dentro y alrededor de las fincas rurales orgánicas es más diversa y abundante. Al ofrecer recursos alimenticios y refugio para artrópodos y pájaros benéficos, la agricultura orgánica contribuye al control natural de las plagas. También contribuye a la conservación y supervivencia de los polinizadores.

## 21

### Amortiguando el cambio climático

#### Eficiencia energética, menor utilización directa e indirecta de la energía

La agricultura "moderna" tiene mucho para responder en términos de su contribución al cambio climático, que es por lejos el problema más peligroso que ha enfrentado hasta ahora la humanidad. Ha aumentado las emisiones de óxido nítrico y metano, potentes gases de efecto invernadero; requiere utilización intensiva de energía basada en combustible fósil y contribuye a la evasión de carbono del suelo hacia la atmósfera [179].

Las prácticas de una agricultura sustentable pueden ofrecer beneficios sinérgicos para amortiguar el cambio climático. La FAO considera que la agricultura orgánica mejora los ecosistemas permitiendo que se adapten mejor a los efectos del cambio climático y tiene mayor potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero agrícolas [133]. Su estudio concluyó que, "La agricultura orgánica tiene mejores resultados que la agricultura convencional cuando se la considera a escala de una hectárea, tanto con respecto al consumo de energía directa (combustible y petróleo) como al consumo indirecto (fertilizantes y plaguicidas sintéticos)", con mayor eficiencia de utilización de la energía (pág. 61)

Los ensayos del Instituto Rodale revelaron que la utilización de energía fue 200% mayor en el sistema convencional que en los sistemas orgánicos [141]. Investigaciones realizadas en Finlandia demostraron que si bien la agricultura orgánica utilizó más horas de trabajo con maquinarias que la agricultura convencional, el consumo total de energía fue igualmente menor en los sistemas orgánicos [180]. En los sistemas convencionales, más de la mitad de la energía consumida en la producción de centeno se dedicó a la elaboración de plaguicidas.

La agricultura orgánica fue más eficiente en materia de energía que la agricultura convencional en los sistemas de producción de manzana [175, 176]. Estudios llevados a cabo en Dinamarca compararon la agricultura orgánica y convencional en la producción de leche y granos de cebada [181]. La energía total utilizada por kilogramo de leche producida fue menor en el tambo orgánico que en el convencional, mientras que la energía total utilizada para cultivar una hectárea de cebada de primavera orgánica fue 35% menor que la utilizada para producir cebada de primavera convencional en la misma superficie. Sin embargo, el rendimiento de la cebada orgánica fue menor, por lo tanto la energía utilizada para producir un kilogramo de cebada fue sólo apenas menor en la orgánica que en la convencional.

Se calculó que las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fueron de 48% a 66% menores por hectárea en los sistemas de agricultura orgánica de Europa [133, 178], y esto se atribuyó a las características de la agricultura orgánica, es decir, ningún insumo de fertilizantes con N mineral que requieren un alto consumo de energía, menor utilización de raciones que implican un elevado consumo de energía, menor insumo de fertilizantes minerales (P, K) y nada de plaguicidas.

Además, como la agricultura sustentable se centra en la producción, el consumo y la distribución locales, se desperdicia menos energía en el transporte de los productos, particularmente por aire. Según un estudio realizado en 2001, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el transporte de alimentos de una finca rural local a un mercado local de agricultores fue 650 veces menor que las emisiones asociadas con la venta promedio de alimentos en supermercados [citado en 179].

#### Mayor secuestro de carbono

Los suelos son un sumidero importante de CO<sub>2</sub> atmosférico, pero las prácticas convencionales de utilización de las tierras agrícolas ha destruido cada vez más este sumidero.

Los criterios de la agricultura sustentable, sin embargo, ayudan a contrarrestar el cambio climático restaurando el contenido de materia orgánica del suelo (ver "Mejores suelos"), ya que aumentan la fijación de carbono bajo el suelo. La materia orgánica se recupera con el agregado de abonos animales, compost, pajote y cultivos de cobertura.

Pretty y Hine indican que los 208 proyectos por ellos evaluados acumularon aproximadamente 55,1 millones de toneladas de carbono (C) [130]. El Proyecto SAFS reveló que el contenido de C orgánico del suelo aumentó en los sistemas orgánico y de bajos insumos externos [143], mientras que el estudio de 20 fincas rurales comerciales en California reveló que los campos orgánicos tenían 28% más C orgánico [148]. Lo mismo se comprobó en el estudio de 15 años del Instituto Rodale, según el cual los niveles de C en el suelo aumentaron en los dos sistemas orgánicos pero no en el sistema convencional [141]. Los investigadores concluyeron que los sistemas orgánicos demostraron una capacidad importante de absorber y retener C, aumentando la posibilidad de que las prácticas agrícolas sustentables puedan ayudar a reducir el impacto del calentamiento de la atmósfera.

#### Menos emisiones de óxido nítrico

La FAO también estimó que la agricultura orgánica aumenta la posibilidad de emitir menos óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) [133], otro de los gases importantes que contribuyen a crear el efecto invernadero y también causa del agotamiento de la capa del ozono estratosférico. Esto se debe a que hay menos insumos con N, a que el abono orgánico tiene menos N debido a que la densidad de animales es más baja, a que el coeficiente C/N de abono orgánico aplicado es mayor y hay menos N mineral en el suelo como fuente de desnitrificación; y a que los cultivos de cobertura permiten que haya una absorción eficiente del N móvil en los suelos.

## 22

### Producción eficiente y rentable

#### Aumento de la productividad

Cualquier disminución de la producción en la agricultura orgánica está más que compensada por los beneficios que brinda en materia ecológica y de eficiencia, y por los costos menores que tiene, lo cual la hace un emprendimiento rentable. El estudio suizo reveló que el insumo de fertilizantes y energía se redujo entre 34% y 53%, y el insumo de plaguicidas en 97%, mientras que el rendimiento medio del cultivo disminuyó solamente un 20% en los 21 años, lo que indica una producción y uso de los recursos eficientes [149, 150]. El enfoque orgánico fue comercialmente viable en el largo plazo, produciendo más alimentos por unidad de energía o de recursos.

Los datos demuestran que las fincas rurales más pequeñas producen mucho más por unidad de superficie que las fincas rurales más grandes (que tienden a ser monocultivos, típicos de la agricultura convencional) [136]. Si bien el rendimiento por unidad de superficie de un cultivo puede ser menor en una finca pequeña que

en un monocultivo grande, la producción total por unidad de superficie, a menudo compuesta de más de una docena de cultivos y diversos productos animales, puede ser mucho más elevada. Las fincas pequeñas son también más eficientes que las grandes en términos de uso de la tierra y del "factor total de la productividad", un promedio de la eficiencia del uso del total de los distintos factores que integran la producción, entre ellos tierra, mano de obra, insumos, capital, etc.

Estudios realizados en Bolivia demuestran que si bien la productividad es mayor en las fincas rurales de papas fertilizadas con productos químicos y trabajadas con maquinaria, los costos de energía son mayores y los beneficios económicos netos menores que cuando se han utilizado legumbres criollas como cultivos de rotación [135]. Las encuestas indican que los agricultores prefieren este último sistema porque optimiza la utilización de recursos escasos, de mano de obra y de capital, y pueden utilizarlo incluso los productores pobres.

#### **Menores costos, mayores ganancias**

Dos ensayos llevados a cabo en Minnesota evaluaron una rotación de maíz-soja de dos años y una rotación de maíz-soja-avena/alfalfa-alfalfa de cuatro años, en cuatro estrategias de manejo: insumo cero, baja cantidad de insumos, alta cantidad de insumos e insumos orgánicos [182]. El promedio de producción en un plazo de siete años de 1993 a 1999 para el maíz y la soja en la estrategia orgánica de cuatro años fue de 91% y 93%, y en la estrategia de alta cantidad de insumos de dos años fue de 81% y 84%, respectivamente. Sin embargo, los rendimientos de avena fueron similares tanto en la estrategia orgánica de cuatro años como en la de alta cantidad de insumos. Los rendimientos de alfalfa en la estrategia orgánica de cuatro años fueron el 92% de los de la estrategia de alta cantidad de insumos de cuatro años en uno de los ensayos, y en el segundo ensayo los rendimientos fueron iguales.

A pesar de la leve reducción de los rendimientos del maíz y la soja, la estrategia orgánica tuvo menores costos de producción que la estrategia de alta cantidad de insumos. Por consiguiente, la ganancia neta de las dos estrategias, sin considerar el mayor precio del orgánico por su condición de producto de calidad, fueron equivalentes en las dos estrategias. Los científicos indicaron que los sistemas de producción orgánica podían ser competitivos con los convencionales.

Un amplio relevamiento de los numerosos estudios comparativos de la producción de granos y soja, realizado desde 1978 por seis universidades de Midwestern, Estados Unidos, reveló que en general la producción orgánica era equivalente y, en algunos casos, mejor que la convencional [183]. Los sistemas orgánicos tuvieron rendimientos mayores que los sistemas convencionales típicamente con producción continuada de cultivos (es decir, sin rotación de cultivos), y rendimientos iguales o menores en los sistemas convencionales que incluyeron rotaciones de cultivos. En los climas más secos los sistemas orgánicos tuvieron rendimientos mayores ya que fueron más resistentes a la sequía que los sistemas convencionales.

Los sistemas de cultivo orgánico fueron siempre más rentables que los sistemas convencionales más comunes al contabilizar el mayor precio por su condición de orgánicos. Cuando ese precio extra no se contabilizó, los sistemas orgánicos fueron igualmente más productivos y rentables en la mitad de los estudios. Esto se atribuyó a los menores costos de producción y a la capacidad de los sistemas orgánicos de superar a los convencionales en zonas más secas, o durante períodos de sequía. El autor concluyó que "los sistemas de producción orgánica son competitivos con respecto a los sistemas de producción convencional más comunes" e indicó que "si los agricultores obtienen mayores precios en el mercado corriente por cereales y soja orgánicos de alta calidad, su producción orgánica generalmente les deja mayores ganancias que la producción de cereales y soja no orgánicos" (pág. 2).

Los resultados de 15 años de estudios del Instituto Rodale demostraron que después de un período de transición en el cual hubo rendimientos más bajos, los sistemas orgánicos fueron financieramente competitivos con relación al sistema convencional [141]. Si bien hay mayores probabilidades de que los costos de la transición afecten el aspecto financiero general de la finca rural durante algunos años, las ganancias proyectadas variaron de levemente por debajo hasta sustancialmente por encima de las del sistema convencional, aún cuando los análisis económicos no tuvieron en cuenta el mayor precio que se paga por los productos orgánicos por su alta calidad. Las ganancias más elevadas de las fincas rurales orgánicas provinieron en gran medida de los mayores rendimientos del maíz, que casi se duplicaron después del período de transición. Cuando los precios o rendimientos fueron bajos, los agricultores orgánicos sufrieron menos que los convencionales y tuvieron menores fluctuaciones en sus ingresos, ya que tenían diversidad de cultivos para vender y no uno solo. Los gastos de las fincas orgánicas fueron significativamente menores que los de la convencional esta última gastó 95% más en fertilizantes y plaguicidas. Los costos generales de producción de los predios orgánicos fueron 26% menores.

## **23**

### **Mayor seguridad alimentaria y beneficios para las comunidades locales**

#### **Mayor producción local de alimentos**

A pesar de que la producción mundial de alimentos es adecuada, muchos pasan hambre porque el hecho de que haya mayor cantidad de alimentos no significa que la seguridad alimentaria mejore automáticamente. Lo importante es quiénes producen los alimentos, quiénes tienen la tecnología y el conocimiento para producirlos, y quiénes tienen el poder adquisitivo para comprarlos [130]. Los agricultores pobres no pueden pagar las costosas tecnologías "modernas" que teóricamente aumentan la productividad.

Muchos agricultores presentan "atrasos en la productividad" no porque carezcan de las semillas "milagrosas" que contienen su propio insecticida o toleran enormes dosis de herbicida, sino porque han sido desplazados a tierras marginales cuya única agua de riego es la de lluvia, y enfrentan estructuras y políticas macroeconómicas que se han construido encima de desigualdades históricas y que atentan cada vez más contra la producción de alimentos por parte de los pequeños agricultores [184].

De por sí, su agricultura se caracteriza por ser "compleja, diversa y propensa al riesgo" [185] y han adaptado tecnologías agrícolas a sus circunstancias variables pero únicas, en términos de clima local, topografía, suelos, biodiversidad, sistemas de cultivo, recursos, etc. Son esos agricultores, ya propensos al riesgo, quienes serán los más perjudicados por los riesgos de los cultivos transgénicos [184].

Las propuestas de la agricultura sustentable deben pues, permitir a los agricultores mejorar la producción local de alimentos con tecnologías e insumos de bajo costo, que sean fácilmente asequibles y que no dañen el ambiente. Y así ocurrió, de acuerdo a los estudios de Pretty y Hine [130]. La mayoría de los proyectos e iniciativas de agricultura sustentable implicaron aumentos importantes en la producción de alimentos para la familia en algunos en forma de mejoras del rendimiento, en otros en forma de aumento de la intensidad del cultivo o de la diversidad de los productos.

Las pruebas demostraron que: la producción promedio de alimentos por familia aumentó 1,71 toneladas por año (hasta un 73%) para 4,42 millones de agricultores en 3,58 millones de hectáreas. El aumento de la producción de alimentos fue de 17 toneladas por año (un aumento del 150%) para 146.000 agricultores en 542.000 hectáreas de cultivo de tubérculos (papa, boniato y mandioca). La producción total aumentó 150 toneladas por familia (un aumento del 46%) en las fincas rurales más grandes de América Latina (con un tamaño medio de 90 hectáreas).

El estudio reveló que en la medida que aumentó la provisión de alimentos, también aumentó el consumo doméstico, con beneficios directos sobre la salud, en especial para mujeres y niños. Además, el 88% de los 208 proyectos hicieron una mejor utilización de los recursos naturales disponibles en el lugar, y 92% mejoraron el capital humano a través de programas de formación. En más de la mitad de los proyectos, la gente trabajó unida.

#### **Aprendiendo de los agricultores**

Las propuestas de la agricultura sustentable reconocen el valor del conocimiento tradicional e indígena, así como de la experiencia e innovación de los agricultores. La importancia y el valor de lo que se aprende de los agricultores y de investigaciones agrícolas participativas dirigidas por agricultores, están bien establecidos en conceptos tales como "primero el agricultor" [185, 186].

Los estudios de caso y las experiencias de innovaciones agroecológicas exitosas de África, América Latina y Asia [187] ofrecen pruebas de que la agricultura de bajos insumos externos que utiliza prácticas agroecológicas podría hacer una contribución importante para alimentar al mundo en los próximos 30 a 50 años. Al depender de los recursos y los conocimientos principalmente locales, los agricultores pueden aumentar sustancialmente la productividad, a veces duplicando o triplicando lo producido.

Para citar un ejemplo, en la zona saheliana de Malí, las prácticas de conservación del suelo y el agua y de agroforestería han aumentado el rendimiento de los cereales, en algunos casos de 300 kg. a 1.700 kg. por hectárea, casi el doble del nivel necesario para satisfacer las necesidades alimenticias básicas. También se ha puesto énfasis en la conservación de las variedades tradicionales de semillas y de la biodiversidad, a través de la evaluación que realiza el agricultor y de los bancos genéticos comunitarios o locales.

Las investigaciones de la FAO subrayan la importancia de las contribuciones que han realizado los agricultores de referencia en todo el mundo [133]. La agricultura orgánica no certificada, practicada por millones de pueblos indígenas, campesinos y pequeñas fincas familiares, ha hecho una contribución fundamental a la seguridad alimentaria regional: en América Latina representa más del 50% de la producción de maíz, frijoles, mandioca y papas; en África, la mayoría de los cereales y tubérculos; en Asia, la mayor parte de la producción de arroz.

Estudios de caso en India, Brasil, Irán, Tailandia y Uganda demuestran cómo el conocimiento tradicional, la innovación y las propuestas agroecológicas han traído numerosos beneficios: mayor productividad, mejor salud ambiental y fertilidad del suelo, mayor biodiversidad, beneficios económicos, seguridad alimentaria, mejores relaciones sociales dentro de las comunidades y recuperación de las prácticas tradicionales de agricultura sustentable [133].

Agricultores de Etiopía están adoptando medidas para garantizar su seguridad alimentaria basándose en sus propios conocimientos [188]. En Ejere, los agricultores han vuelto a plantar sus propias variedades de trigo local, *teff* (un cereal básico etíope) y cebada, luego de que las llamadas "variedades modernas de alto rendimiento" en realidad les dieran menores rendimientos y más problemas. En la zona de Butajira, los agricultores están demostrando que es posible cultivar de manera intensiva y sustentable para tener una cantidad de alimentos suficiente como para satisfacer las necesidades de la población. Y lo logran utilizando cultivos indígenas seleccionados para resistir a las enfermedades, tener tolerancia a la sequía y otras características deseables, intercalando cultivos e integrando el manejo de ganado. En Worabe, los agricultores mantienen un sistema agrícola complejo, sustentable e indígena que garantiza su seguridad alimentaria. El sistema se basa en el *enset*, un cultivo indígena multipropósito, muy resistente a la sequía.

### **Mejores ingresos, mayor seguridad alimentaria**

Las pruebas presentadas por cientos de proyectos para el desarrollo, de organizaciones de base, demuestran que el aumento de la productividad agrícola por las prácticas agroecológicas no solamente aumenta la cantidad de alimentos sino que también aumenta los ingresos, con lo cual se reduce la pobreza, mejora el acceso a los alimentos, se reduce la desnutrición y mejoran las formas de vida de los sectores pobres [189]. Los sistemas agroecológicos dan como resultado niveles de producción total más estables por unidad de superficie que los sistemas que requieren gran cantidad de insumos; y a los pequeños agricultores y sus familias les representan tasas de ingresos más favorables, su trabajo se ve remunerado y obtienen otras ventajas que les permiten tener una forma de vida aceptable. También aseguran la protección y conservación del suelo, y mejoran la biodiversidad agrícola [190].

Los sistemas de producción integrada y las fincas rurales diversificadas han ayudado a los agricultores de la región centro-sur de Chile a lograr una autosuficiencia alimentaria durante todo el año, a la vez que han recuperado la capacidad productiva de la tierra [135]. Se han instalado pequeños sistemas de granjas modelo que consisten en policultivos y secuencias de rotación de forraje y cultivos alimenticios, bosque y árboles frutales, y la incorporación de ganado.

La fertilidad del suelo mejoró y no han aparecido problemas de plagas o enfermedades. Los árboles frutales y los cultivos de cobertura lograron rendimientos mayores que el promedio, y la producción de leche y huevos excedió largamente la de las fincas rurales convencionales de altos insumos. Para una familia tipo esos sistemas produjeron un excedente de proteínas de 250%, excedentes de 80% y 550% de vitamina A y C respectivamente, y un excedente de 330% de calcio. Vendiendo toda la producción agrícola a los precios al por mayor, una familia podría generar un ingreso mensual neto 1,5 veces mayor al del salario mínimo mensual de Chile, dedicando solamente unas pocas horas por semana a la granja. El tiempo libre podría utilizarse en otras actividades generadoras de ingresos.

La agricultura orgánica pudo mejorar el ingreso, la rentabilidad y las ganancias del trabajo por la eliminación o reducción de la adquisición de insumos; la diversificación (a menudo añadiendo un nuevo elemento productivo) y optimización de la productividad; el mantenimiento o mejora de la biodiversidad en el campo y fuera de él, permitiendo a los agricultores vender cultivos que no hayan sido sembrados, insectos y animales; y por las ventas en un mercado que paga mejor por la condición de cultivo de calidad [191]. Un estudio de caso de Senegal demostró que fue posible aumentar varias veces la productividad y hubo menos variaciones de un año a otro, con la cual mejoró la seguridad alimentaria familiar. De igual forma, una cooperativa mexicana de café que participa en el comercio justo y que adoptó prácticas orgánicas, permitió que los pequeños productores de café superaran las desventajas de la degradación del suelo y los bajos rendimientos, y lograran acceder a un mercado de productos especiales.

### **Generando dinero para la economía local**

Los movimientos de dinero de un proyecto de canastas de productos orgánicos de Cusgarne Organics (Reino Unido) demostraron las ventajas que trajo la compra a escala local para la comunidad en su conjunto [192]. El análisis económico siguió el recorrido de los ingresos del proyecto, monitoreando exactamente dónde se gastó el dinero, cuánto de ese dinero se destinó a gastos "locales", y luego lo rastreó hasta la siguiente etapa de gasto.

Estimó que por cada £1 gastada en Cusgarne Organics, se generan £2,59 para la economía local. En contraste, un estudio en el que estaban involucrados los grandes supermercados Asda y Tesco reveló que por cada £1 gastado en un supermercado, se generaba solamente £1,40 para la economía local. El estudio concluye lo siguiente: "Las cifras demuestran que el gasto realizado en Cusgarne Organics tiene un efecto neto para la economía local que casi duplica el de la misma cantidad gastada en empresas extranjeras y nacionales" (Pág. 16).

## **24**

### **Orgánicos por la salud**

#### **Menos residuos químicos**

Un extenso relevamiento de investigaciones científicas llevado a cabo por la Asociación de Suelos ha demostrado que, en general, los alimentos orgánicos son mejores que los no orgánicos [193]. En primer lugar, son más seguros, ya que la agricultura orgánica prohíbe la aplicación metódica de plaguicidas y herbicidas, de manera que rara vez se encuentran residuos químicos. Por el contrario, los alimentos no orgánicos tienen probabilidades de estar contaminados con residuos que suelen presentarse en combinaciones potencialmente peligrosas. La Sociedad de Alergia, Ambiente y Medicina Nutricional de Gran Bretaña (British Society for Allergy, Environmental and Nutritional Medicine), formuló comentarios sobre el informe y declaró: "Hace mucho tiempo que pensamos que las deficiencias de micronutrientes que comúnmente observamos en nuestros pacientes tienen su origen en el agotamiento de minerales de los suelos como consecuencia de la agricultura intensiva, y *sospechamos que la sucesiva exposición a los plaguicidas contribuye al aumento alarmante de alergias y otras enfermedades*" (las itálicas son nuestras).

Neurotoxicidad, alteración del sistema endócrino, carcinogénesis y supresión del sistema inmunológico (ver también "Peligros de los herbicidas") son algunos de los efectos negativos de los plaguicidas sobre la salud. Resulta más difícil identificar los efectos de la exposición de los alimentos a residuos de plaguicidas en los niveles que es común encontrar dentro y sobre los alimentos, pero es necesario adoptar un criterio de cautela. Si bien hay niveles de seguridad recomendados para

los plaguicidas, los ensayos del propio gobierno del Reino Unido han demostrado que es posible que las cifras que se manejan del promedio de los niveles de residuos en los alimentos sean menores a las reales.

La investigación también ha revelado que la exposición a los plaguicidas afecta la función reproductiva masculina, lo que provoca una disminución de la capacidad de fertilización del esperma y una caída de los índices de fertilización [194]. De igual forma, los miembros de una asociación de agricultores orgánicos dinamarqueses, cuyo consumo de productos lácteos orgánicos era por lo menos el 50% del consumo total de productos lácteos, tenían mayor densidad de esperma [195]. En otro estudio, la concentración de esperma fue 43,1% más elevada entre los hombres que ingerían alimentos producidos de manera orgánica [196].

Los niños, en particular, podrían beneficiarse de los alimentos orgánicos. Algunos científicos hicieron un control de niños preescolares en Seattle, Washington, para evaluar su exposición a plaguicidas organofosforados (OP) a través de los alimentos que formaban parte de su dieta [197]. La concentración total de metabolito de dimetil fue aproximadamente seis veces mayor en los niños con dietas convencionales que en los que tenían una dieta orgánica. Las estimaciones de las dosis calculadas sugieren que el consumo de frutas, vegetales y jugo orgánicos puede reducir los niveles de exposición de los niños hasta ubicarlos por debajo de las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), cambiando así la exposición de un rango de riesgo incierto a un rango de riesgo mínimo. El estudio concluyó que el consumo de productos orgánicos podría ser una forma relativamente simple de que los padres reduzcan la exposición de los niños a los plaguicidas organofosforados.

#### **Más sanos y más nutritivos**

Además, la producción de alimentos orgánicos prohíbe la utilización de aditivos artificiales en los alimentos, tales como lípidos hidrogenados, ácido fosfórico, aspartame y glutamato de monosodio, que han estado asociados a problemas de salud tan diversos como enfermedades cardíacas, osteoporosis, migrañas e hiperactividad [193].

Además, mientras que los vegetales absorben una amplia gama de minerales del suelo, los fertilizantes artificiales reemplazan solamente algunos de los principales minerales. Hay una clara reducción a largo plazo en el contenido de trazas de minerales de frutas y vegetales y es necesario investigar más en profundidad la influencia de las prácticas agrícolas. El estudio de la Asociación de Suelos [193] reveló que, en general, los alimentos orgánicos tienen mayor cantidad de vitamina C, mayores niveles de minerales y mayor cantidad de fitonutrientes componentes de los vegetales que pueden combatir el cáncer (ver más adelante) que los alimentos convencionales.

Los productos convencionales también tienden a tener mayor cantidad de agua que los productos orgánicos, que contienen mayor materia seca (en promedio, un 20% más) para un peso total dado [193]. Así, el costo más elevado de productos orgánicos frescos en parte está compensado por la diferencia en la cantidad de nutrientes ya que quienes compran productos convencionales están pagando un peso extra de agua y obtienen solamente el 83% de la cantidad de nutrientes que generalmente se encuentra en los productos orgánicos. El mayor contenido de agua también tiende a diluir el contenido de nutrientes.

Los ensayos con personas y animales alimentados con productos orgánicos demuestran que hay una diferencia real para la salud, y los tratamientos alternativos para el cáncer que se basan en el consumo exclusivo de alimentos orgánicos han logrado buenos resultados. El estudio [193] hace referencia a pruebas clínicas recientes de médicos y nutricionistas que administraron tratamientos alternativos para el cáncer y observaron que para obtener buenos resultados es esencial observar una dieta completamente orgánica. Las terapias nutricionales para el cáncer evitan al máximo los contaminantes y toxinas, y promueven el consumo exclusivo de alimentos cultivados orgánicamente y el mayor consumo de nutrientes. Los ensayos de alimentación a animales también han demostrado una mayor salud reproductiva y mejor recuperación de las enfermedades.

Un relevamiento bibliográfico de 41 estudios y 1.240 comparaciones [198] encontró diferencias estadísticamente importantes del contenido de nutrientes entre los cultivos orgánicos y los convencionales. Esto se atribuyó en primer lugar a las diferencias en el manejo de la fertilidad del suelo y sus efectos en la ecología del suelo y el metabolismo de las plantas. Los cultivos orgánicos contenían una cantidad significativamente mayor de nutrientes vitamina C, hierro, magnesio y fósforo y una cantidad significativamente menor de nitratos (un componente tóxico) que los cultivos convencionales. Hubo tendencias poco importantes que demostraron que había menor cantidad de proteínas en los cultivos orgánicos. Sin embargo, los cultivos orgánicos eran de mejor calidad y tenían mayor contenido de minerales importantes desde el punto de vista nutricional, con menor cantidad de algunos metales pesados, comparados con los convencionales.

#### **Ayudando a combatir el cáncer**

Los fenólicos vegetales (flavonoides) son metabolitos secundarios vegetales que se cree protegen a las plantas contra la depredación de insectos, la infección de bacterias y hongos y la foto-oxidación. Se ha descubierto que esos químicos vegetales son eficaces en la prevención del cáncer y las enfermedades cardíacas, así como para combatir disfunciones neurológicas relacionadas con la edad. Un reciente documento científico [199, 200] comparó el contenido fenólico total (TP) de moras "marion", fresas y maíz cultivados orgánicamente y con otros métodos sustentables, con las mismas especies cultivadas con prácticas agrícolas convencionales. Sistemáticamente se encontraron niveles estadísticamente más elevados de TP en los alimentos cultivados orgánica y sustentablemente que en los producidos con agricultura convencional.

Un estudio previo que comparó los componentes antioxidantes de duraznos y peras orgánicos y convencionales estableció que se registró una mejoría en el sistema de defensa antioxidante de las plantas como consecuencia de las prácticas de cultivo orgánico [201]. Esto probablemente permitiría que la fruta estuviera protegida de posibles estragos cuando fuera cultivada sin plaguicidas. Por lo tanto, la agricultura orgánica, que elimina la utilización metódica de plaguicidas sintéticos y fertilizantes químicos, podría crear condiciones favorables para la producción de fenólicos vegetales que contribuyen a mejorar la salud.

Se ha tratado de dirigir la atención del gobierno del Reino Unido a esos y otros muchos beneficios para la salud que ofrecen los alimentos orgánicos [202, 203]. Entre los temas planteados están los costos ocultos de la agricultura convencional, que no se contabilizan en el precio. Si se tomaran en cuenta los costos ocultos, los alimentos producidos de manera convencional demostrarían ser más caros que los alimentos orgánicos. Por ejemplo, de haber utilizado agricultura orgánica se hubiera evitado la epidemia de la encefalopatía espongiiforme bovina ("enfermedad de la vaca loca") con lo que se habrían ahorrado £4.500 millones. Ningún animal nacido y criado en una finca orgánica contrajo encefalopatía espongiiforme bovina en el Reino Unido.

## **25**

### **Conclusión de la Parte 3**

Los criterios de agricultura sustentable pueden lograr un aumento sustancial de la producción de alimentos a bajo costo. Pueden ser económica, ambiental y socialmente viables, y contribuir positivamente al sustento local. También son mejores para la salud y el ambiente. En la medida que la desigualdad entre países y pueblos es la verdadera causa estructural del hambre, cualquier método que implique aumentar la producción de alimentos profundizando esta desigualdad está destinado al fracaso en cuanto a reducir el hambre. Por el contrario, sólo las tecnologías que tengan efectos positivos en la distribución de riqueza, ingresos y activos pueden reducir verdaderamente el hambre [4]. Afortunadamente, esas tecnologías ya existen en propuestas sustentables para la agricultura.

Agroecología, agricultura sustentable y trabajo agropecuario orgánico, no solamente para los agricultores del mundo desarrollado sino especialmente para los agricultores de los países en desarrollo. Como demuestra el estudio de la FAO [133], existe una buena base para hacer el esfuerzo de mejorar lo que se ha hecho hasta ahora en materia de agricultura orgánica certificada y no certificada. Las tecnologías y los procesos sociales para las mejoras locales son cada vez mejor probados y están cada vez más consolidados, y ya arrojan beneficios en términos de una

mayor productividad. Los ejemplos estudiados aquí son tan sólo una muestra de innumerables experiencias exitosas de prácticas agrícolas sustentables a escala local. Representan las incontables demostraciones de talento, creatividad y capacidad científica de diversas comunidades rurales [132].

Existe, pues, la imperiosa necesidad de dirigir los esfuerzos, la investigación, los fondos y el apoyo en materia de políticas, a la agroecología, la agricultura sustentable y la agricultura orgánica, particularmente fortaleciendo la producción de los propios agricultores para las necesidades locales. El reto es ampliar y multiplicar los casos exitosos, y lograr que se pueda acceder a ellos de manera equitativa y amplia. Es necesario cuestionar el modelo de la agricultura "moderna", que con tanta frecuencia está en manos de unas pocas empresas gigantes. Y lo mismo hay que hacer con los cultivos transgénicos. Es necesario eliminar los subsidios y las políticas de incentivos para los sistemas convencionales que hacen uso de productos químicos y transgénicos, y por otro lado no seguir permitiendo que todos los recursos se destinen a esas prácticas y ninguno a las alternativas [4]. También es necesario estar prevenidos ante la posibilidad de que poderosos intereses se apropien de la agricultura orgánica, y por lo tanto hay que apoyar todo tipo de agricultura sustentable, especialmente la de los pequeños agricultores.

## Referencias

1. Carta abierta de científicos del mundo a todos los gobiernos" pidiendo una moratoria para la liberación de organismos transgénicos y el apoyo a la agricultura sustentable orgánica, firmada hasta el momento por más de 600 científicos de 72 países, con abundante referencia a bibliografía científica, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
2. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. *Unidad de Estudios de Perspectivas Mundiales (ESDG)*, julio de 2000.
3. Aliteri MA y Rosset P. Ten reasons why biotechnology will not ensure food security, protect the environment and reduce poverty in the developing world. *AgBioForum*, Volúmen 2, Nº 3 & 4, Verano/Otoño 1999, 155-162.
4. Aliteri MA y Rosset P. Strengthening the case for why biotechnology will not help the developing world: A response to McLaughlin. *AgBioForum*, Volúmen 2, Nº 3 & 4, Verano/Otoño 1999, 226-236.
5. ActionAid. *GM Crops - Going Against the Grain*. 2003. <http://www.actionaid.org/resources/pdfs/gatg.pdf>
6. <http://www.isaa.org/>
7. Pimber M, Wakeford T y Sathesh PV. Citizens' juries on GMOs and farming futures in India. *LEISA Magazine*, diciembre de 2001, 27-30. <http://www.leiaa.org/2/17-4/27-30.PDF>
8. Pimber MP y Wakeford T. *Prajateerpu: A Citizens Jury Scenario Workshop on Food and Farming Futures for Andhra Pradesh*. India: IIED & IDS, 2002. <http://www.iied.org/pdf/Prajateerpu.pdf>
9. Ho MW y Lim LC. Biotech debacle in four parts. Special briefing for the Prime Minister's Strategy Unit on GM. *ISIS Report*, agosto de 2002. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
10. Ho MW. The state of the art. The continuing debacle of an industry both financially and scientifically bankrupt. *GeneWatch* (en prensa), 2003.
11. "Monsanto investors face catastrophic risk." *Greenpeace*, Berlín, Comunicado de prensa, 16 de abril de 2003.
12. Benbrook C. Evidence of the magnitude and consequences of the Roundup Ready soybean yield drag from university-based varietal trials in 1998. *AgBioTech InfoNet Technical Paper Number 1*, 1999; Troubled times amid commercial success: Glyphosate efficacy in shipping and unstable transgenic expression erodes plant defences and yields. *AgBioTech InfoNet Technical Paper Number 4*, 1999. [www.biotech-info-net/RR\\_yield\\_less.html](http://www.biotech-info-net/RR_yield_less.html)
13. Benbrook C. Do GM crops mean less pesticide use? *Pesticide Outlook*, octubre de 2001.
14. Lim LC y Matthews J. GM crops failed on every count. *Science in Society* 2002, 13/14, 31-33; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
15. *Seeds of doubt. North American farmers' experiences of GM crops*. Asociación de Suelos, 2002. ISBN 0 905200 89 6.
16. Shiva V y Jafri AH. Failure of the GMOs in India. *Research Foundation for Science, Technology and Ecology Report*, 2003; ver además Ho MW. *Living with the Fluid Genome*. ISIS & TWSN, Londres y Penang, 2003. Capítulo 1, Cuadro 1.
17. Finnegan H y McElroy D. Transgene inactivation: plants fight back! *BioTechnology* 1994, 12, 883-8.
18. Ho MW. *Living with the Fluid Genome*. ISIS & TWSN, Londres y Penang, 2003. Capítulo 11, Sección, "Transgenic instability, the best kept open secret".
19. Ho MW, Cummins J y Ryan A. *ISIS Reprints on Transgenic Instability 1999-2002*, sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
20. Gahakwa D, Maqbool SB, Fu X, Sudhakar D, Christou P y Kohli A. Transgenic rice as a system to study the stability of transgene expression: multiple heterologous transgenes show similar behaviour in diverse genetic backgrounds. *Theor. Appl. Genet.* 2000, 101, 388-99.
21. Ho MW. Questionable stability at JIC. *ISIS News* 9/10, July 2001. ISSN: 1474-1547 (impreso), ISSN: 1474-1814 (en Internet), [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk), reseña de referencia 20.
22. Hall L, Topinka K, Huffman J, Davis L, y Good A. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multi-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science* 2000, 48, 688-94.
23. Orson J. Gene stacking in herbicide tolerant oilseed rape: lessons from the North American experience. *English Nature Research Reports No. 443*. English Nature, enero de 2002, ISSN 0967-876X.
24. Ho MW y Cummins J. What's wrong with GMOs? *Science in Society* 2002, 16, 11-27; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
25. Cummins J y Ho MW. Atrazine poisoning worse than suspected. *Science in Society* 2003, 17, 22-23; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
26. "Engineered Genes Help Wild Weeds Thrive", por Cat Lazaroff, *Environmental News Service*, ashington, USA, 9 de agosto de 2002.
27. Lim LC. Environmental and Health Impacts of Bt crops. *ISIS Report*, abril de 2003; contiene 63 referencias.
28. Quist D y Chapela IH. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 2001, 414, 541-543.
29. Ho MW and Cummins J. Who's afraid of horizontal gene transfer? *ISIS Report*, 4 de marzo de 2002. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk); también el GM maize war in three episodes. *Science in Society* 2002, 15, 12-14.
30. Ho MW. Worst ever contamination of Mexican landraces. *ISIS Report*, 29 April 2002. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk); también el GM maize war in three episodes. *Science in Society* 2002, 15, 12-14.
31. Ho MW. Canadian farmers against corporate serfdom. *Science in Society* 2002, 16, 5-6.
32. Kietek L. Research shows: herbicide tolerance everywhere. *Manitoba Co-operator*, 1º de agosto de 2002; Friesen LF, Nelson AF y Van Acker RC. Evidence of contamination of pedigreed canola (*Brassica napus*) seedlots in Western Canada with genetically engineered herbicide resistance traits. *Agronomy Journal* (en prensa).
33. *GM Crops: What you should know. A guide to both the science and implications of commercialisation of genetically modified crops*. GM Free Cymru, junio de 2002. [www.gm-news.co.uk](http://www.gm-news.co.uk)
34. Meier P y Wackernagel W. Monitoring the spread of recombinant DNA from field plots with transgenic sugar beet plants by PCR and natural transformation of *Pseudomonas stutzeri*. *Transgenic Research* 2003, 12, 293-304.
35. Saunders PT. Use and abuse of the precautionary principle. *ISIS News* 6, septiembre de 2000, ISSN: 1474-1547 (impreso), ISSN: 1474-1814 (en Internet), [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
36. Saunders PT y Ho MW. The precautionary principle and scientific evidence. *ISIS News* 7/8, febrero de 2001, ISSN: 1474-1547 (impreso), ISSN: 1474-1814 (en Internet), [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk); also *TWN Biosafety Briefing Paper*, diciembre de 2002.
37. Saunders PT y Ho MW. The precautionary principle is sciencebased. *ISIS Report*, abril de 2003. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
38. Ho MW. FAQs on genetic engineering. *ISIS Tutorials*. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk); ver además: *TWN Biosafety Briefing Paper*, diciembre de 2002.
39. Ho MW y Steinbrecher R. Fatal flaws in food safety assessment: Critique of the joint FAO/WHO Biotechnology and Food Safety Report. *Journal of Nutritional and Environmental Interactions* 1998, 2, 51-84.
40. Conner AJ. Case study: food safety evaluation of transgenic potato. En: *Application of the Principle of Substantial Equivalence to the Safety Evaluation of Foods or Food Components from Plants Derived by Modern Biotechnology*, pp. 23-35, WHO/FNU/FOS/95.1. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
41. Martineau B. *First Fruit*. McGraw-Hill, Nueva York, 2001.
42. *Greenpeace Business*, Número 66, abril/mayo de 2002.
43. *Lecciones tardías de alertas tempranas: el principio de cautela, 18962000*. Editado por: Poul Haremoës, David Gee, Malcolm MacGarvin, Andy Stirling, Jane Keys, Brian Wynne, Sofia Guedes Vaz. Environmental issue report No 22, 2002. OPOCE (Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas).
44. Respones by Stanley William Barclay Ewen M.B.Ch.B., Ph.D., F.R.C.Path to Health Committee of Scottish Parliament's Investigation into Health Impact of GM crops, 14 de noviembre de 2002. <http://www.gmnews.co.uk/gmnews33.html>
45. Fares NH y El-Sayed AK. Fine structural changes in the plum of field fed on denotoxin-treated potatoes and transgenic potatoes. *Natural Toxins* 1998, 6, 219-33; ver además: "Bt is toxic" por Joe Cummins y Mac-Wan Ho. *ISIS News* 7/8, febrero de 2001, ISSN: 1474-1547 (impreso), ISSN: 1474-1814 (en Internet), [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
46. Pusztai A. Health impacts of GM crops. Submission of evidence to the Clerk to the Health and Community Care Committee of the Scottish Parliament. 15 de noviembre de 2002. <http://www.gmnews.co.uk/gmnews33.html>
47. Pusztai A, et al. Expression of the insecticidal bean alpha-amylase inhibitor transgene has minimal detrimental effect on the nutritional value of peas fed to rats at 30% of the diet. *The Journal of Nutrition* 1999, 129, 1597-1603.
48. Ewen S y Pusztai A. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Gallium nivalis* lectin on rat small intestine. *The Lancet* 1999, 354, 1353-4; ver la repuesta de Pusztai a sus críticos en: <http://plab.ku.dk/tcbh/PusztaiPusztai.htm>
49. Pusztai A. Can science give us the tools for recognizing possible health risks of GM food? *Nutrition and Health* 2002, 16, 73-84.
50. Pusztai A. GM food safety: Scientific and institutional issues. *Science as Culture* 2002, 11, 70-92.
51. Pusztai A, Bardocz S and Ewen SWB. Genetically modified foods: Potential human health effects. In *Food Safety: Contaminants and Toxins*, (J P F D Mello ed.), Scottish Agricultural College, Edinburgh, CAB International, 2003.
52. Vázquez-Padrón RI, Moreno-Fierros L, Neri-Bazán L, de la Riva G y López-Revilla R. Intra-gastric and intraperitoneal administration of Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* induce systemic and mucosal antibody responses in mice. *Life Sciences* 1999, 64, 1897-1912.
53. Hernández E, Ramisse F, Cruel T, le Vagueresse R y Cavallo JD. *Bacillus thuringiensis* serotype H34 isolated from human and insecticidal strains serotypes 3a3b and H14 can lead to death of immunocompetent mice after pulmonary infection. *FEMS Immunology and Medical Microbiology* 1999, 24, 43-7.
54. Cummins J. Biopesticide and bioweapons. *ISIS Report*, 23 de octubre de 2001. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
55. "Poison pharm crops near you", por Joe Cummins, *Science in Society* 2002, 15; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
56. Menassa P, Nguynw C, Jevnikar A y Brindle J. A self-contained system for the field production of plant recombinant interleukin-10. *Molecular Breeding* 2001, 8, 177-85.
57. Cummins J. Pharming cytokines in transgenic crops. *Science in Society* 2003, 18, versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
58. Dantzer R. Cytokine-induced sickness behaviour: Mechanisms and implications. *Annals of the NY Acad. of Sci.* 2001, 933, 222-34.
59. Bocci V. Central nervous system toxicity of interferons and other cytokines. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents* 1998, 2, 107-18.
60. Mouligner A. Recombinant interferon alpha induced chorea and subcortical dementia. *Neurology (Correspondence)* 2002, 59, 18-21.
61. Caraceni A, Gangeri L, Martini C, Belli F, Brunelli C, Baldini M, Mascheroni L, Lenisa L y Cascinetti N. Neurotoxicity of interferon alpha in melanoma therapy. *Cancer* 1998, 83, 482-9.
62. Valente A, Meyers C, Kling MA, Richelson E y Hauser P. Mood and cognitive side effects of interferon alpha. *Semin. Oncol.* 1998, 25 (supl. 1) 39-47.
63. Ho MW y Cummins J. SARS and genetic engineering? *ISIS Report*, Abril 2003; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
64. Tubolya T, Yuh W, Bailey A, Degradis S, Dub S, Erickson L y Nagya EA. Immunogenicity of porcine transmissible gastroenteritis virus spike protein expressed in plants. *Vaccine* 2000, 18, 2023-8.
65. Ho MW. Bioterrorism and SARS. *ISIS Report*, Abril 2003; *Science in Society* 2003, 18; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
66. Prtije J, Veljkovic N, Doliana T, Colombatti A, Johnson E, Metlas R y Veljkovic V. Identification of an active Chi recombinational hot spot within the HIV-1 envelope gene: Consequences for development of AIDS vaccine. *Vaccine* 1999; 17: 1462-7.
67. Veljkovic V y Ho MW. AIDS vaccines or dangerous biological agent? *AIDS Science*. <http://aids-science.org/Debates/aids-science019d.asp>
68. Ho MW. AIDS vaccines trials dangerous. *ISIS News* 11/12, octubre de 2001, ISSN: 1474-1547 (impreso), ISSN: 1474-1814 (en Internet), [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
69. Manders P y Thomas R. Immunology of DNA vaccines: CpG motifs and antigen presentation. *Inflamm. Res.* 2000, 49, 199-205.
70. Gurunathan S, Klinkman D y Seder R. DNA Vaccines. *Annu. Rev. Immunol.* 2000, 18, 927-74.
71. Deng S, Nilsson A, Verdrengh M, Collins L y Tarkowski A. Intraarticularly located bacteria containing CpG motifs induces arthritis. *Nature Medicine* 1999, 5, 702-6.
72. Hsu S, Chung S, Robertson D, Ralph L, Chelvarajan R y Bonada S. CpG oligodeoxynucleotides rescue BKS-2 immature B cell lymphoma from anti-Ig-M-mediated growth inhibition by up-regulating of egr-1. *International Immunology* 1999, 6, 871-9.
73. Rui L, Vinuesa CG, Blasiosi J y Goodnow CC. Resistance to CpG DNA-induced autoimmunity through tolerogenic B cell antigen receptor ERK signalling. *Nature Immunology* 2003, 4, 594-600.
74. Ho MW y Cummins J. Chronicle of an ecological disaster foretold. *ISIS Report*, marzo de 2003, versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
75. Hooper M. Evidence with special emphasis on the use of glutofinate ammonium (phosphinotricin). Chardon LL T25 maize hearing, mayo de 2002; enviada a la Organización Mundial de la salud (con más de 40 referencias) y al sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
76. Cummins J. Glyphosate and glyphosate-tolerant crops. Impacts on health and the environment. *ISIS Report*, June 2002; enviada a la Organización Mundial de la salud y al sitio web de los miembros de ISIS. [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk). Actualizado en abril de 2003.
77. Canadian Food Inspection Agency Canada Plant Health and Production Division. *Decision Document DD95-02: Determination of Environmental Safety of Monsanto Canada Inc.'s Roundup® Herbicide-Tolerant Brassica napus Canola Line GT73*.
78. Schonbrunn E, Eschenburg S, Shuttleworth WA, Schloss JV, Amrhein N, Evans JNS y Kabsch W. Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase in atomic detail. *PNAS* 2001, 98, 1376-80.
79. <http://www.pan-uk.org/pestnews/actives/glyphosa.htm>, contiene muchas más referencias.
80. "Weed Killer", *The Progressive*, Julio 1987, <http://www.naturescountrystore.com/roundup/page3.html>
81. Arbuckle T, Lin Z y Mery L. An exploratory analysis of the effect of pesticide exposure on the risk of spontaneous abortion in an Ontario farm population. *Envir. Health Perspectives* 2001, 109, 851-60.
82. Garry V, Harkins M, Erickson L, Long S, Holland S y Burroughs B. Birth defects, seasons of conception and sex of children born to pesticide applicators living in the red river valley of Minnesota, USA. *Envir. Health Perspectives* (Supl. 3) 2002, 110, 441-9.
83. Dallegrave E, DiGiorgio F, Coello R, Pereira J, Dalsenter P y Langoloh A. The teratogenic potential of the herbicide glyphosate-Roundup in Wistar rats. *Toxicology Letters* 2003, 142, 45-52.
84. Walsh L, McCormick C, Martin C y Stocco D. Roundup inhibits steroidogenesis by disrupting steroidogenic acute regulatory protein expression. *Envir. Health Perspectives* 2000, 108, 769-76.
85. Peluso M, Munnia A, Bolognisi C y Parodi S. P32-Postlabeling detection of DNA adducts in mice treated with the herbicide roundup. *Environmental and Mol. Mutagenesis* 1998, 31, 55-9.

86. Lioi M, Scarfi M, Santoro A, Barbeiri R, Zeni O, Barardino D y Ursini M. Genotoxicity and oxidative stress induced by pesticide exposure in bovine lymphocyte cultures in vitro. *Mut. Res.* 1998, 403, 13-20.
87. Szarek J, Słowicki A, Andrzejewska A, Terech-Majewska E y Banaszkiewicz T. Effect of the herbicide roundup on the ultrastructural pattern of hepatocytes in carp. *Marine Environ. Res.* 2000, 50, 263-66.
88. Grisolia C. A comparison between mouse and fish micronucleus test using cyclophosphamide, mitomycin C and various pesticides. *Mut. Res.* 2002, 400, 474, 1-6.
89. Mann R y Bidwell J. The toxicity of glyphosate and several glyphosate formulations to four species of southwestern Australian frogs. *Archives of Environ. Contam. Toxicol.* 1999, 36, 193-99.
90. Clements C, Rapph S y Petras M. Genotoxicity of selected herbicides in *Rana catesbeiana* tadpoles using the alkaline single-cell gel DNA electrophoresis (comet) assay. *Env. Mol. Mutagenesis* 29, 277-88.
91. Morowati M. Histochemical and histopathological study of the intestine of the earthworm exposed to a field dose of the herbicide glyphosate. *The Environmentalist* 2000, 20, 105-11.
92. Mark EJ, Lorillon O, Boulben S, Hureau D, Durand G y Belle R. Pesticide roundup provokes cell cycle dysfunction at the level of CDK1/Cyclin B activation. *Chem. Res. Toxicol.* 2002, 15, 326-31.
93. Ho MW. *Living with the Fluid Genome*. ISIS & TWN, Londres y Penang, 2003. Capítulos 8-10.
94. Ho MW, Traavik T, Olsvik R, Tappeser B, Howard V, von Weizsacker C y McGavin G. Gene Technology and Gene Ecology of Infectious Diseases. *Microbial Ecology in Health and Disease* 1998, 10, 33-59.
95. Ho MW, Ryan A, Cummins J y Traavik T. *Slipping through the regulatory net. 'Naked' and 'free' nucleic acids*. TWN Biotechnology & Biosafety Series 5, Red del Tercer Mundo, Penang 2001.
96. Stemmer WPC. Molecular breeding of gene, pathways and genomes by DNA shuffling. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 2002, 19-20, 2-12.
97. Ho MW. Death by DNA shuffling. *ISIS Report*, abril de 2003; ver además: *Science in Society* 2003, 18, 9, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
98. Ho MW, Ryan A y Cummins J. Cauliflower mosaic viral promoter - A recipe for Disaster? *Microbial Ecology in Health and Disease* 1999, 11, 194-7.
99. Hodgson J. Scientists avert new GMO crisis. *Nature Biotechnology* 2000, 18, 13.
100. Cummins J, Ho MW y Ryan A. Hazardous CaMV promoter? *Nature Biotechnology* 2000, 18, 363.
101. Hull R, Covey SN y Dale P. Genetically modified plants and the 35S promoter: Assessing the risks and enhancing the debate. *Microbial Ecology in Health and Disease* 2000, 12, 1-5.
102. Ho MW, Ryan A y Cummins J. Hazards of transgenic plants with the cauliflower mosaic viral promoter. *Microbial Ecology in Health and Disease* 2000, 12, 6-11.
103. Courtaib B, Fenebach F, Eberhard S, Rhomer L, Chiappello H, Carillieri C y Lucas H. Tnt 1 transposition events are induced by *in vitro* transformation of *Arabidopsis thaliana*, and transposed copies integrated into genes. *Mol. Gen. Genomics* 2001, 265, 32-42.
104. Ho MW, Ryan A y Cummins J. CaMV35S promoter fragmentation hotspot confirmed and it is active in animals. *Microbial Ecology in Health and Disease* 2000, 12, 189.
105. Respuesta del Comité Asesor de Liberaciones al Ambiente (ACRE) a los temores planteados por escrito y asociados con la audiencia pública CHARDON LL y a las declaraciones efectuadas en la audiencia pública de ACRE relacionada con la evaluación de la seguridad del maíz transgénico T25, llevada a cabo en el marco de la Directiva 90/220/EEC, [www.defra.gov.uk/environment/acre](http://www.defra.gov.uk/environment/acre)
106. Metz M y Futterer J. Suspect evidence of transgenic contamination. *Nature*, Advance Online Publication, 4 de abril de 2002, [www.nature.com](http://www.nature.com); ver además: Ho MW. Astonishing denial of transgenic pollution. *Science in Society* 2002, 15, 13-14; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
107. Bergelson J, Purrington CB y Wichmann G. Promiscuity in transgenic plants. *Nature* 1998, 395, 25.
108. De Vries J, y Wackernagel W. Detection of nptII (kanamycin resistance) genes in genomes of transgenic plants by marker-rescue transformation. *Mol. Gen. Genet.* 1998, 257, 606-13.
109. Schlüter K, Futterer J y Potyuk L. Horizontal gene transfer from a transgenic potato line to a bacterial pathogen (*Erwinia chrysanthemi*) occurs, if at all, at an extremely low-frequency. *BioTechnology* 1995, 13, 1094-8.
110. Gebhard F y Smalla K. Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. *FEMS Microbiol. Ecol.* 1999, 28, 261-72.
111. Mercer DK, Scott KP, Bruce-Johnson WA, Glover LA, y Flint HJ. Fate of free DNA and transformation of the oral bacterium *Streptococcus gordonii* DL1 by plasmid DNA in human saliva. *Applied and Environmental Microbiology* 1999, 65, 6-10.
112. Duggan PS, Chambers PA, Heritage J y Forbes JM. Survival of free DNA encoding antibiotic resistance from transgenic maize and the transformation activity of DNA in ovine saliva, ovine rumen fluid and silage effluent. *FEMS Microbiology Letters* 2000, 191, 71-7.
113. Schubert R, Rentz D, Schmitz B y Döerfler W. Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leukocytes, spleen and liver via the intestinal wall mucosa and can be covalently linked to mouse DNA. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 1997, 94, 961-6.
114. Döerfler W, y Schubert R. Uptake of foreign DNA from the environment: the gastrointestinal tract and the placenta as portals of entry. *Wien Klin. Wochenschr.* 1998, 110, 40-4.
115. Traavik T. *Too Early May Be Too Late: Ecological Risks Associated with the Use of Naked DNA as a Biological Tool for Research, Production and Therapy*. Report for the Directorate for Nature Research, Trondheim, 1998.
116. "Predicted hazards of gene therapy a reality" por Mae-Wan Ho. *ISIS Report*, octubre de 2002, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk) comentada en *Science*, News of the Week, 4 de octubre de 2002; también ver: Ho MW. Gene therapy's first victim. *Science in Society* 2003, 17, 26-7.
117. Hohweg U y Döerfler W. On the fate of plant or other foreign genes upon the uptake in food or after intramuscular injection in mice. *Mol. Genet. Genomics* 2001, 265, 225-33.
118. Willeers E, Hansen AJ, Binladen J, Brand BT, Gilbert MTP, Shapiro B, Bunce M, Winf C, Gilchinsky DA y Cooper A. Diverse plant and animal genetic records from Holocene and Pleistocene Sediments. *ScienceExpress Report*, 17 de abril 2003.
119. "Fears raised over DNA survival in soil". *The Dominion Post* (Wellington), 25 de abril, 2003, a través de GM Watch, <http://www.ngin.org.uk>
120. Netherwood T, Martin-Orue SM, O'Donnell AG, Gockling S, Gilbert HJ y Mathers JC. *Transgenes in genetically modified Soya survive passage through the small bowel but are completely degraded in the colon*. Informe técnico sobre el proyecto G010008 del Organismo de Normas Alimenticias "Evaluación de los riesgos asociados al uso de organismos modificados genéticamente en alimentos humanos" (Evaluating the risks associated with using GMOs in human foods), Universidad de Newcastle.
121. Ho MW. Stacking the odds against finding it. *Science in Society* 2002, 16, 28; versión con referencias completas en el sitio web de los miembros de ISIS, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
122. Ferguson G y Heinemann J. Recent history of trans-kingdom conjugation. En *Horizontal Gene Transfer* 2ª ed., Sivanen M y Kado CI. (eds.), Academic Press, San Diego, 2002.
123. Ho MW. Averting success for nonsense in horizontal gene transfer. *Science in Society* 2002, 16, 29-30.
124. Mc Nicol MJ, Lyon GD, Chen MY, Barrett C y Cobb E. Scottish Crop Research Institute. Contract NO RG 0202. The Possibility of *Agrobacterium* as a Vehicle for Gene Escape. MAFF. *R&D and Surveillance Report*: 395.
125. Cobb E, MacNicol R y Lyon G. A risk assessment study of plant genetic transformation using *Agrobacterium* and implication for analysis of transgenic plants. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 1997, 19, 135-144.
126. Kado C. En *Horizontal Gene Transfer* 2ª ed., Sivanen M y Kado CI. (eds.), Academic Press, San Diego, 2002.
127. Sengelov G, Kristensen KJ, Sorensen AH, Kroer N y Sorensen SJ. Effect of genomic location on horizontal transfer of a recombinant gene cassette between *Pseudomonas* strains in the rhizosphere and spermosphere of barley seedlings. *Current Microbiology* 2001, 42, 160-7.
128. Kunik T, TrzFira T, Kapulnik Y, Gafni Y, Dingwall C y Citovsky V. Genetic transformation of HeLa cells by *Agrobacterium*. *PNAS USA*, 2001, 98, 1871-87; ver además: "Common plant vector injects genes into human cells". *ISIS News* 2002, 11/12, 10, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
129. Ho MW. Recent evidence confirms risks of horizontal gene transfer. Contribución de ISIS a la reunión abierta de ACNFP/Food Standards Agency del 13 de noviembre de 2002, Cambridge, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk)
130. Pretty J y Hine R. *Reducing food poverty with sustainable agriculture: A summary of new evidence*. Centre for Environment and Society, Universidad de Essex, 2001, [www2.essex.ac.uk/ces/ResearchProgrammes/CESOccasionalPapers/SAFErepSUBHEADS.htm](http://www2.essex.ac.uk/ces/ResearchProgrammes/CESOccasionalPapers/SAFErepSUBHEADS.htm)
131. Parrott N y Marsden T. *The real Green Revolution: Organic and agroecological farming in the South*. Greenpeace Environment Trust, Londres, 2002, <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/4526.pdf>
132. Altieri MA. *The case against agricultural biotechnology: Why are transgenic crops incompatible with sustainable agriculture in the Third World?* 2003.
133. *Organic agriculture, environment and food security*. Scialabba NE-H y Hattam C (eds), FAO, Roma, 2002.
134. Lim LC. Organic agriculture fights back. *Science in Society* 2002, 16, 30-32.
135. Altieri MA, Rosset P y Thrupp LA. The potential of agroecology to combat hunger in the developing world, 1998, [http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/potential\\_of\\_agroeco\\_ch19.pdf](http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/potential_of_agroeco_ch19.pdf)
136. Rosset PM. The multiple functions and benefits of small farm agriculture in the context of global trade negotiations. *Policy Brief No. 4*, Institute for Food and Development Policy, 1999, <http://www.foodfirst.org/pubs/policy/bp4.html>
137. "Magic bean" transforms life for poor Jacks of Central America, por Julian Pettifer, *Independent on Sunday*, 10 de junio de 2001.
138. Kwabiah AB, Stoskopf NC, Palm CA, Voroney RP, Rao MR y Gacheru E. Phosphorus availability and maize response to organic and inorganic fertilizer inputs in a short term study in western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2003, 95, 49-59.
139. "Get the facts straight: organic agriculture yields are good", por Bill Liebhardt, Organic Farming Research Foundation Information Bulletin 10, Verano 2001, <http://www.ofrr.org/publications/news/IB10.pdf>
140. Vasiliokits C. *Can Organic Farming 'Feed the World'?* 2000, [http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/organic\\_feed\\_world.pdf](http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/organic_feed_world.pdf)
141. Petersen C, Drinkwater LE y Wagoner P. *The Rodale Institute Farming Systems Trial: The First 15 Years*. Instituto Rodale, 1999.
142. Clark MS, Horwath WR, Sheenan C, Scow KM, Lanini WT y Ferris H. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1999, 73, 257-270.
143. Clark MS, et al. Crop-yield and economic comparisons of organic, low-input, and conventional farming systems in California's Sacramento Valley. *American Journal of Alternative Agriculture* 1999, 14 (3), 109-121; y Clark MS et al. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal* 1998, 90, 662-671. Citado en la referencia 140.
144. Warman PR y Havard KA. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1998, 68, 207-216.
145. Pearce F. Desert harvest. *New Scientist*, 27 de octubre de 2001, 44-47.
146. Lim LC. Sustainable agriculture pushing back desert. *Science in Society* 2002, 15, 29.
147. Jenkinson DS et al. En: *Long-term experiments in Agricultural and Ecological Sciences* (eds Leigh RA & Johnston AE), p.117-138, CAB International, Wallingford, UK, 1994. Citado en la referencia 140.
148. Drinkwater LE et al. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 1995, 5 (4), 1098-1112. Citado en la referencia 140.
149. Mäder P, Fliebbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P y Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 2002, 296, 1694-97.
150. Pearce F. 20-year study backs organic farming. *New Scientist*, 30 de mayo de 2002, <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99992351>
151. "Soil fungi critical to organic success", USDA Agricultural Research Service, 4 de mayo de 2001.
152. Bulluck III LR, Brosius M, Evanylo GK y Ristaino JB. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* 2002, 19, 147-160.
153. Ryan A. Organics enter the science wars. *ISIS News* 11/12, octubre de 2001.
154. Drinkwater LE, Wagoner P y Sarrantonio M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* 1998, 396, 262-265.
155. Tilman D. The greening of the green revolution. *Nature* 1998, 296, 211-212.
156. "100-year drought is no match for organic soybeans", Instituto Rodale, 1999, [http://www.rodaleinstitute.org/global/arch\\_home.html](http://www.rodaleinstitute.org/global/arch_home.html)
157. Poudel DD, Horwath WR, Lanini WT, Temple SR y van Bruggen AHC. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2002, 90, 125-137.
158. Oehl F, Oberson A, Tagmann HU, Besson JM, Dubois D, Mäder P, Roth H-R y Frossard E. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 2002, 62, 25-35.
159. Letourneau DK y Goldstein B. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *J. Applied Ecology* 2001, 38(3), 557-570.
160. Pearce F. An ordinary miracle. *New Scientist* 2001, Vol. 169, N° 2276, p. 16.
161. Barzman M y Das L. Ecologising rice-based systems in Bangladesh. *ILRI Newsletter* 2000, 16(4), 16-17, [http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/ecologising\\_rice.pdf](http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/ecologising_rice.pdf)
162. "Organic rice is twice as nice", por John Bruer, Informe del Congreso Internacional de Ecología, 15 de agosto de 2002.
163. Ho MW. One bird - ten thousand treasures. *The Ecologist* 1999, 29(6), 339-340, y *Third World Resurgence* 1999, 110/111, 2-4.
164. Pimbert M. Sustaining the multiple functions of agricultural biodiversity. FAO background paper series for the Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, Holanda, setiembre de 1999.
165. *La biodiversidad y el enfoque ecosistémico en la agricultura, el manejo del bosque y la pesca*. Actas del evento satélite en ocasión de la Novena reunión ordinaria de la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura Roma 12-13 de octubre de 2002, FAO, Roma.
166. Scialabba NE-H, Grandi C y Henatchi C. Organic agriculture and genetic resources for food and agriculture. En: *Biodiversity and the ecosystem approach in agriculture, forestry and fisheries*, p. 72-99, 2002, FAO, Roma.
167. *Organic agriculture and biodiversity: Making the links*. IFOAM, IUCN y BFN, Alemania, 2002; ver además Stoltz S. *Organic Agriculture and Biodiversity*, IFOAM Dossier 2, 2002.
168. Azeez G. *The biodiversity benefits of organic farming*, Asociación de Suelos, Bristol, 2000.
169. Burcher S. Herbalist to the rescue. *Science in Society* 2003, 18, 17.
170. Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T y Lehman C. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science* 2001, 294, 843-5.
171. Ho MW. Biodiverse systems two to three times more productive than monocultures. *Science in Society* 2002, 13/14, 36.
172. Zhu Y, Chen H, Fan J, Wang Y, Li Y, Chen J, Fan JX, Yang S, Hu S, Leung H, Mew TW, Teng PS, Wang Z y Mundt C. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 2000, 406, 718-722.
173. "Simple Method Found to Vastly Increase Crop Yields", por Carol Kaesuk Yoon, *New York Times*, 22 de agosto de 2000.
174. Bennack D, Brown G, Bunning S y de Cunha MH. Soil biodiversity management for sustainable and productive agriculture: Lessons from case studies. En: *Biodiversity and the ecosystem approach in agriculture, forestry and fisheries*, p.196-223, 2002, FAO.
175. Reganold JP, Glover JD, Andrews PK y Hinman JR. Sustainability of three apple production systems. *Nature* 2001, 410, 926-930.
176. "Organic apples win productivity and taste trials", 10 de agosto de 2001, Pesticide Action Network Updates Service, <http://www.panna.org>
177. Piacini C, Wossink A, Giesen G, Vazzana C y Huirne R. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2003, 95, 273-288.
178. Stolze M, Piore A, Häring A y Dabbert S. *Environmental and resource use impacts of organic farming in Europe*, Comisión de las Comunidades Europeas, Agricultura y Pesca (FAIR) programa específico de investigación técnica, Fair3-CT96-1194, "Effects of the CAP-reform and possible further development on organic farming in the EU", 1990.
179. Goldsmith E. How to feed people under a regime of climate change (documento inédito), 2003.
180. Grijóns E. Machine work and energy consumption in organic farming. *Ecology and Farming* 2003, 32, 7-8, IFOAM.
181. Dalgaard T. On-farm fossil energy use. *Ecology and Farming* 2003, 32, 9, IFOAM.
182. Porter PM, Higgins DR, Perillo CA, Quiring SR y Crookston RK. Organic and other management strategies with two- and four-year crop rotations in Minnesota. *Agronomy Journal* 2003, 95(2), 233-244.
183. Welsh R. *The Economics of Organic Grain and Soybean Production in the Midwestern United States*. Henry A. Wallace Institute for Alternative Agriculture, 1999, [http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/economics\\_organic\\_prod.pdf](http://www.agroeco.org/fatalharvest/articles/economics_organic_prod.pdf)
184. Rosset P. Taking seriously the claim that genetic engineering could end hunger: A critical analysis. Pp 81-93 in Britt Bailey y Marc Lappé (eds), *Engineering the Farm: Ethical and Social Aspects of Agricultural Biotechnology*. Island Press, Washington DC, 2002.
185. Chambers R, Pacey A y Thrupp LA. *Farmer First: Farmer Innovation and Agriculture Research*, Intermediate Technology Publications, Londres, 1989.
186. Scoones I y Thompson J. *Beyond Farmer First: Rural People's Knowledge, Agricultural Research and Extension Practice*, Intermediate Technology Publications, Londres, 1994.
187. *Agroecological Innovations: Increasing Food Production with Participatory Development*. Editado por Norman Uphoff, Earthscan Publications, 2002.
188. Lim LC. Ethiopia's own agriculture. *Science in Society* 2003, 17, 7-8.
189. Uphoff N y Altieri MA. *Alternatives to conventional modern agriculture for meeting world food needs in the next century*. (Informe de la Conferencia "Sustainable Agriculture: Evaluation of New Paradigms and Old Practices", Bellagio, Italia). Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development, Ithaca, NY, 1999. Citado en la referencia 4.

190. Pretty J. *Regenerating agriculture*. Earthscan, Londres, 1995. Citado en la referencia 4.
191. Rundgren G. *Organic Agriculture and Food Security*. IFOAM Dossier 1, 2002.
192. Boyde T. *Casparne Organics local money flows*. New Economics Foundation and The Countryside Agency, Londres, 2001.
193. Heaton S. *Organic farming, food quality and human health: A review of the evidence*. Asociación de Suelos, Bristol, 2001.
194. Tielmans E, van Kooij E, te Velde ER, Burdorf A y Heederik D. Pesticide exposure and decreased fertilisation rates in vitro. *The Lancet* 1999, 354, 484-485.
195. Abell A, Ernst E y Bonde JP. High sperm density among members of organic farmers' association. *The Lancet* 1994, 343, 1498.
196. Jensen TK, Gierwerman A, Carlsen E, Scheike T y Skakkebaek NE. Semen quality among members of organic food associations in Zealand, Denmark. *The Lancet* 1996, 347, 1844.
197. Curl CL, Fenske RA y Elgethun K. Organophosphorus pesticide exposure of urban and suburban preschool children with organic and conventional diets. *Environmental Health Perspectives* 2003, 111(3), 377-382.
198. Worthington V. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 2001, 7(2), 161-173.
199. Asami DK, Hong YJ, Barrett DM y Mitchell AE. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51(5), 1237-1241. 10.1021/jf020635c S0021-8561.
200. Cummins J. Organic agriculture helps fight cancer. *ISIS Report*, 27 de marzo de 2003, [www.isis.org.uk](http://www.isis.org.uk).
201. Carbonaro M, Mittera M, Nicoli S, Bergamo P y Cappelloni M. Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (Peach, *Prunus persica* L., and Pear, *Pyrus communis* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2002, 50, 5458-5462.
202. Novotny E. Informe IV - The Wheel of Health (en el listado de la audiencia por el maíz T25 - Chardon LL-) 2002, <http://www.sgr.org.uk/GMOs.html>
203. Novotny E. Carta enviada a los Miembros del parlamento escocés sobre la ley de Objetivos de la agricultura orgánica (Organic Farming Targets Scotland Bill), 2003, <http://www.sgr.org.uk/GMOs.html>

## DECLARACIÓN DEL GRUPO DE CIENCIA INDEPENDIENTE

### Pronunciada el 10 de mayo de 2003 en Londres

El Grupo de Ciencia Independiente (ISP) está constituido por un grupo de científicos de diversas disciplinas, comprometidos con:

**1. Promover la ciencia para el bien público, manteniéndose independiente de intereses comerciales u otros intereses especiales, o del control gubernamental**

Creemos firmemente que la ciencia debe rendir cuentas a la sociedad civil; que todos y todas con independencia de su sexo, edad, grupo étnico, religión o casta y todos los sectores de la sociedad civil deberían participar en la adopción de decisiones acerca de todos los temas relacionados con la ciencia, desde la investigación científica hasta las políticas relativas a la ciencia y las tecnologías.

Creemos que la opinión pública debe poder acceder en tiempo y forma a una información científica precisa, sin que medie tergiversación ni censura.

**2. Conservar la máxima integridad e imparcialidad en la ciencia**

Suscribimos los principios de honestidad, apertura y pluralismo en la práctica de la ciencia. Debería haber una revisión *inter pares* abierta de los trabajos publicados, y respeto y protección para aquellos cuyas investigaciones cuestionen el paradigma convencional o la opinión mayoritaria. Es necesario que las discrepancias científicas sean discutidas de manera abierta y democrática.

Nos comprometemos a apoyar las normas más exigentes de la investigación científica, y a asegurar que los fondos para investigación no se desvíen o distorsionen por imperativos comerciales o políticos.

**3. Avanzar en aquellas ciencias que tiendan a un mundo sustentable, equitativo y pacífico, y que mejore la vida de todos sus habitantes**

Respetamos el sentido sagrado de la vida humana, buscamos reducir al mínimo los daños a cualquier criatura viva, y protegemos el ambiente. Afirmamos que la ciencia debe contribuir al bienestar físico, social y espiritual de todos y todas, en todas las sociedades.

Nos comprometemos a tener una perspectiva ecológica que tome debidamente en cuenta la complejidad, diversidad e interdependencia de toda la naturaleza.

Suscribimos el principio de precaución: cuando hay una sospecha razonable de perjuicio grave o irreversible, no debe utilizarse la falta de consenso científico para posponer acciones preventivas.

Rechazamos los productos científicos que sirven a fines militares agresivos, promueven el imperialismo comercial o lesionan la justicia social.

### El Grupo de Transgénicos del ISP

El Grupo de Transgénicos del ISP está integrado por científicos que trabajan en genética, ciencias biológicas, toxicología y medicina, y por representantes de la sociedad civil preocupados por las consecuencias nocivas de las modificaciones genéticas de plantas y animales y las tecnologías vinculadas, y su rápida comercialización en la agricultura y la medicina sin el debido proceso de una adecuada evaluación científica y de consulta y consentimiento públicos.

Consideramos que los siguientes aspectos son especialmente lamentables e inaceptables:

Falta de información pública crítica sobre la ciencia y la tecnología de la modificación genética.

Falta de responsabilidad ante el público por parte de la comunidad científica dedicada a la ingeniería genética.

Falta de investigación científica independiente y desinteresada de los riesgos y de la evaluación de los transgénicos.

Actitudes parciales de organismos reguladores y vinculados con la información pública, que parecen más interesados en difundir propaganda de las empresas que en ofrecer información vital.

Conflictos de intereses comerciales y políticos que permean tanto la investigación como la reglamentación de los transgénicos.

La exclusión y difamación de los científicos que intentan transmitir al público información resultante de investigaciones, que se considera lesiva para la industria.

La negación y omisión permanente de abundantes pruebas científicas sobre los riesgos de los transgénicos para la salud y el medio ambiente por

parte de quienes proponen la modificación genética y de organismos asesores y de regulación, supuestamente desinteresados.

Las constantes afirmaciones de las empresas de la biotecnología acerca de los beneficios que ofrecen los transgénicos, y la reiteración de esas afirmaciones por parte del *establishment* científico, frente a la abundancia de pruebas de que los transgénicos han fracasado tanto en el campo como en el laboratorio.

La renuencia a reconocer que las empresas ya han disminuido la financiación de investigaciones económicas en el campo de los transgénicos, y que las multinacionales de la biotecnología (y sus accionistas) así como los consultores en materia de inversión, cuestionan la conveniencia del "negocio de los transgénicos".

Ataques y descarte sumario de las profusas pruebas existentes que señalan los beneficios de diversos abordajes agrícolas sustentables para la salud y el ambiente, así como para la seguridad alimentaria y el bienestar social de los agricultores y sus comunidades locales.

## **Grupo de Transgénicos del ISP**

### **Lista de miembros**

#### **Prof. Miguel Altieri**

Profesor de Agroecología Universidad de California, Berkeley, EE.UU.

#### **Dr. Michael Antoniou**

Profesor titular de la Cátedra de Genética molecular, Escuela de Medicina GKT, King's College, Londres.

#### **Dra. Susan Bardocz**

Bioquímica, ex integrante del Instituto de investigación Rowett, Escocia.

#### **Prof. David Bellamy OBE**

Botánico de renombre internacional, ambientalista, comunicador, autor y activista; ha recibido numerosos premios; Presidente y Vicepresidente de varias organizaciones ecologistas y ambientalistas.

#### **Dra. Elizabeth Bravo V.**

Bióloga, investigadora y activista en temas de biodiversidad y transgénicos; cofundadora de Acción Ecológica; profesora de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

#### **Prof. Joe Cummins**

Profesor Emérito de Genética, Universidad de Western Ontario, Londres, Ontario, Canadá.

#### **Dr. Stanley Ewen**

Histopatólogo consultante en el Grampian University Hospitals Trust; ex profesor agregado de Patología, Universidad de Aberdeen; Histopatólogo en jefe de la sección Grampian del Colorectal Cancer Screening Pilot Project de Escocia.

#### **Edward Goldsmith**

Recibió entre otras distinciones, el premio Right Livelihood; ambientalista, académico, autor y Editor fundador de *The Ecologist*.

#### **Dr. Brian Goodwin**

Académico residente, Schumacher College, Inglaterra.

#### **Dra. Mae-Wan Ho**

Cofundadora y Directora del Instituto Ciencia en Sociedad, Editora de la revista *Science in Society*; asesora científica de la Red del Tercer Mundo e integrante de la Lista de Expertos del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología.

#### **Prof. Malcolm Hooper**

Profesor Emérito de la Universidad de Sunderland; ex profesor de Química médica, Facultad de Ciencias farmacéuticas, Politécnico de Sunderland; Asesor científico principal de los Veteranos de la Guerra del Golfo.

#### **Dr. Vyvyan Howard**

Histopatólogo con calificación médica, Grupo de Toxicopatología para el desarrollo, Departamento de Anatomía humana y Biología celular, Universidad de Liverpool, miembro del Comité Asesor sobre pesticidas del gobierno del Reino Unido.

#### **Dr. Brian John**

Geomorfólogo y científico ambientalista; fundador y presidente durante varios años del Eco Centre de Gales occidental; uno de los grupos coordinadores de GM Free Cymru.

#### **Prof. Marijan Jost**

Profesor de Fitogenética y Producción de Semillas, Facultad de Agronomía de Krizevci, Croacia.

#### **Lim Li Ching**

Investigadora, Instituto Ciencia en Sociedad y Red del Tercer Mundo; editora adjunta de la revista *Science in Society*.

#### **Dra. Eva Novotny**

Astrónoma y activista en temas sobre transgénicos para Científicos por la Responsabilidad Mundial (SGR, en inglés).

#### **Prof. Bob Orskov OBE**

Ex integrante del Instituto de Investigación Rowett, Aberdeen, Escocia; Director de la Unidad Internacional de Recursos Alimenticios; miembro de la Sociedad Real de Edimburgo (FRSE, en inglés); miembro de la Academia Polaca de Ciencias.

**Dr. Michel Pimbert**

Ecologista agrario, y Socio principal del Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo.

**Dr. Arpad Pusztai**

Asesor privado; ex miembro investigador principal del Instituto de Investigación Rowett, Bucksburn, Aberdeen, Escocia.

**David Quist**

Ecologista microbiano; División de Ciencias Ecosistémicas, Ciencias Ambientales, políticas y gestión, Universidad de California, Berkeley, EE.UU.

**Dr. Peter Rosset**

Ecologista agrario y especialista en desarrollo rural; Codirector del Instituto de Políticas de Alimentación y Desarrollo (Food First), Oakland, California, EE.UU.

**Prof. Peter Saunders**

Profesor de Matemáticas aplicadas del King's College, Londres.

**Dr. Veljko Veljkovic**

Virólogo de SIDA, Centro de Ingeniería e Investigaciones Multidisciplinarias, Instituto de Ciencias Nucleares, VINCA, Belgrado, Yugoslavia.

**Prof. Oscar B. Zamora**

Profesor de Agronomía, Departamento de Agronomía, Universidad de Filipinas, Facultad de Agronomía Los Baños (UPLB-CA), Facultad, Laguna, Filipinas.

Sitio web del Grupo de Ciencia Independiente: [www.indsp.org](http://www.indsp.org)

**El Grupo de Transgénicos del Grupo de Ciencia Independiente (ISP) fue presentado el 10 de mayo de 2003 en una conferencia pública realizada en Londres, a la que asistieron el entonces Ministro de Ambiente del Reino Unido, Michael Meacher, y 200 participantes más. Está integrado por decenas de destacados científicos de siete países, que abarcan las disciplinas de agroecología, agronomía, biomatemática, botánica, química médica, ecología, histopatología, ecología microbiana, genética molecular, bioquímica nutricional, fisiología, toxicología y virología.**

**Como contribución al debate mundial sobre los transgénicos, el ISP ha compilado este dossier completo de las pruebas existentes hasta ahora acerca de los problemas y peligros de los cultivos transgénicos, así como de los múltiples beneficios de la agricultura sustentable.**

**Esperamos que su lectura ayude a tomar la decisión correcta para el futuro de la agricultura y la seguridad alimentaria.**