

# Agroecología vs. Biotecnología agrícola transgénica

Walter Ritter O.\* , Rene Garduño\* , Sergio Guzmán\* , Hans Vanderwals\*\* , Hugo Ritter O.\*\*\* , Néstor Estrella Ch.º , Roberto Luévanoºº , Germán Urbán L.ººº , Norma Sánchez S.+ , Tobías Rodríguez R.++ , Adalberto Tejeda+++ , Ricardo Klimek ^ , Tahimi Perez E. ^ ^ , Juan Suarez S. ^ ^ , Alfredo Ramos V. ^ ^ , Carmen Corona V. ^ ^ , Hipólito Nava M. ^ ^ , José Jiménez ^ ^ , Saturnino Orozco ^ ^ .

## Resumen

**Las maravillosas conexiones ocultas de la vida. Agroecología vs. Biotecnología agrícola transgénica.** Se postula desde el punto de vista científico que el determinismo genético plantea un reduccionismo incompatible con la naturaleza no lineal y con bucles de retroalimentación de los procesos biológicos y las redes vivas, y que los principios de organización de los ecosistemas que constituyen la base de la sustentabilidad son idénticos a los de todo sistema vivo; no se puede entrar a estos sistemas atropellando la naturaleza y su complejidad creada en miles de millones de años desde la aparición de la vida, y se reconoce que el proceso de emergencia es absolutamente no lineal. La biotecnología agrícola transgénica y la agroecología están en controversia. La biotecnología es una herramienta que tiene el potencial de aportar beneficios y algunos riesgos, y está expuesta a los abusos, lo que requiere de salvaguardas y de nuevos reglamentos y leyes. En su estado actual, la ingeniería genética no está en condiciones de controlar lo que sucede en los organismos manipulados. En el caso de las plantas transgénicas se puede erosionar la biodiversidad por un posible flujo genético desde variedades transgénicas a variedades nativas y

## Abstract

**The hidden and wonderful connections of life. Agro-ecology vs Transgenic Agricultural Biotechnology.** In this paper, it is postulated from the scientific point of view, that genetic determinism is incompatible with non-linear natural systems, feedback in the biological processes, and the interconnected chains or webs of living organisms. The very basic principles of the ecosystem's organization constitute the origin of its rational use; it is wrong to enter into this systems against the natural complexity and diversity created by millions of years of the evolution of life. The process of emergency its absolutely non-linear. The transgenic biotechnology in agriculture and the agro-ecology are opposed due to the aforementioned characteristics of natural systems. Biotechnology has potential for some benefits and has some risks. Also there is the possibility of abuse without control which, consequently, requires consultations, clear rules, and new laws for its correct use. In the actual level of knowledge, genetic engineering doesn't possess the conditions for total control of manipulated organisms. Moreover, transgenic plants can destroy biodiversity due to genetic flux from genetically modified crops to native

## Résumé

**Les connexions merveilleuses occultes de la vie. L'agroécologie versus la biotechnologie agricole génétiquement modifiée.** Dans la perspective scientifique, il est postulé que le déterminisme génétique propose un réductionnisme incompatible avec la nature non linéale. Ainsi, il est incompatible aussi avec les boucles de retro alimentation des processus biologiques et des réseaux vivants. De plus, il est postulé que les principes de l'organisation des écosystèmes qui constituent la base de la durabilité sont identiques à ceux de tout le système vivant. Il n'est pas possible d'entrer dans ces systèmes en endommageant la nature et sa complexité qui a été créée pendant de millions d'années depuis l'apparition de la vie. Alors, il est reconnu que le processus d'émergence n'est pas linéaire dans l'absolu. La biotechnologie agricole génétiquement modifiée et l'agroécologie sont dans une controverse. La biotechnologie est un instrument ayant le potentiel d'apporter de bénéfices et de certains risques. Elle requiert des sauvegardes et de nouveaux règlements et de lois, étant donnée qu'elle est exposée aux abus. Le génie génétique, dans son état actuel, n'est pas en conditions de contrôler ce qui arrive dans les organismes manipulés. Dans le cas des plantes génétiquement modifiées, il est possible d'éroder la biodiversité par un flux génétique probable, de

\*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

\*\*U. A. De Campeche.

\*\*\*U. A. De Chapingo.

º Colegio Posgraduados UACH.

ºº U. Juárez del Edo. de Durango.

ººº U. A. De Guerrero.

+U. A. Metropolitana, Xochimilco.

++U. A. De Puebla.

+++Universidad Veracruzana.

^Universidad del Mar, Oaxaca.

^^Posgrado en Ciencias Ambientales, U. A. de Tlaxcala.

*sus parientes silves genéticamente modificadas están creando las precondiciones clásicas de una economía dependiente de las grandes empresas transnacionales propietarias de patentes biotecnológicas, transfiriéndose recursos económicos de las sociedades menos desarrolladas a las desarrolladas. Ésto recuerda las grandes expectativas de la Revolución Verde, que se convirtió en un fracaso social, económico y ecológico por sus insumos. Se postula la agroecología como base del futuro agrícola apoyando a los productores del campo con tecnologías apropiadas de bajo impacto ecológico y financieramente haciéndolos partícipes del mercado de sus productos, cuyas utilidades van a empresas nacionales y transnacionales.*

*and wild relatives. A very controversial issue is the creation of more dependent economies and more poverty in the undeveloped countries due to the patented rights on transgenic crops and the transnational companies controlling food production with higher cost. For example, not long ago the Green Revolution was a problem due to the high input of fertilizers and pesticides. Finally it is recommended that agro-ecology with organic agriculture and low economical input and low ecological impact and the participation of farmers in the market is a good approach.*

*variétés génétiquement modifiées à variétés natives et ses familles sylvestres. Les plantations génétiquement modifiées sont en train de créer les conditions préalables classiques d'une économie dépendant des grandes entreprises transnationales. Ces entreprises sont les propriétaires des brevets biotechnologiques en transférant de ressources économiques des sociétés les moins avancées aux sociétés développées. Ces facteurs rappellent les grandes attentes de la révolution verte, laquelle est devenue un échec social, économique et écologique dû à ses matières premières. L'agroécologie est postulée comme la base du futur agricole en appuyant les producteurs agricoles avec des technologies appropriées. Ces dernières doivent avoir un impact écologique et financier bas. Ces types de technologies doivent aussi aider les producteurs à participer dans le marché de leurs produits et de leurs utilités, lesquelles s'en vont aux entreprises nationales et transnationales.*

**Palabras clave:** Agroecología, Biotecnología, Biotecnología Agrícola, Plantas Transgénicas, Organismos Genéticamente Modificados, Sistemas No Lineales.

**Key Words:** Agro-ecology, Biotechnology, Agricultural Biotechnology, Transgenic Plants, Genetic Engineering, Non-linear Systems.

**Mots clés:** Agroécologie, biotechnologie, biotechnologie agricole, plantes génétiquement modifiées, Technologie Génétique, Systèmes Non linéales.

## Introducción

Estamos comprometidos en un acto de creación y estamos embarcados en lo que podría ser el cambio más profundo en la historia de la humanidad. Contamos con la capacidad para eliminar de la superficie de la Tierra las necesidades y las privaciones cotidianas, así como para obtener la libertad que nos permita dedicar una mayor parte de nuestro tiempo y de nuestras energías a actividades más enriquecedoras que la simple lucha por la supervivencia, capacidades así también para restablecer nuestro equilibrio con la naturaleza.

Hablar de una industria de la vida, como las nuevas industrias biotecnológicas se hacen llamar, resulta irónico e irreal. Más bien se trata de la industria de la muerte, que sentencia no tan solo a miles de formas de vida que están siendo amenazadas por alteraciones genéticas, sino que también está en riesgo la reproducción misma de la especie humana en su conjunto a través de las mencionadas formas de dominio de la producción; o se hace común el uso de los "logros" de la ingeniería genética, alterando peligrosamente, y no se sabe en que medida, la composición orgánica de nuestros propios cuerpos. La realidad es que las nuevas tecnologías no pueden ser, por sí solas,

la salvación de la agricultura y la alimentación.

El caso es que las aplicaciones biotecnológicas más importantes, vienen haciendo un juego entre una serie de riesgos ambientales reales, conocidos y desconocidos, pero además también están reestructurando las relaciones sociales de producción a nivel mundial y de los propios capitales internacionales, creando avances significativos en el interior de las economías desarrolladas y una capacidad de autosuficiencia alimentaria; por el contrario, los países subdesarrollados han estado perdiendo su autosuficiencia alimentaria, lo cual se refleja en el aumento excesivo de importaciones de maquinaria y semillas, que fueron nativas y ahora se paga una tecnología de manipulación transgénica agrícola, cara y riesgosa.

Esto resulta claro al revisar el caso de la industria de las semillas modificadas genéticamente, en que mediante mecanismos genéticos se puede cancelar la milenaria costumbre de guardar las semillas para el ciclo siguiente, al instruir con sus métodos al código genético para que produzca semillas estériles para la reproducción. De esta manera los campesinos del mundo se ven forzados a comprar en cada ciclo productivo las semillas diseñadas por tales empresas. Pero por otro lado, se reconfigura la composición y dimensión de los capitales hegemónicos que controlan el mercado mundial de semillas y ahí el de gran parte de los alimentos.

La distribución global de semillas transgénicas, reduce la diversidad de los alimentos producidos en el mundo e incrementa los costos para los agricultores y ganaderos, pagando de forma permanente derechos a los propietarios de las patentes y haciendo que todos dependamos de unas pocas corporaciones gigantescas para obtener estos productos básicos. De ésta forma, la biotecnología agrícola transgénica -entendida como el conjunto de principios científicos e ingenieriles que se aplican a los procesos de producción material, a través de agentes biológicos, para obtener bienes y servicios- potencia la transferencia de valiosos recursos de los países pobres a los países ricos.

Gandhi solía decir que el verdadero conocimiento es el que nos hace humildes, por lo

que desde una comprensión cada vez más profunda de la realidad y de lo mucho que desconocemos, debemos postular un cambio de rumbo hacia la humildad, ya que nos encontramos ante una crisis de percepción que requiere un cambio a un modelo basado en una visión holística y ecológica del mundo y desde una amplia base que incluya el pensamiento sistémico aplicado.

Para esta tarea podemos aprender mucho de los ecosistemas, verdaderas comunidades sostenibles de plantas, animales y microorganismos, entendiendo primero los principios básicos de la ecología, lo que significa comprender los principios de organización de las comunidades ecológicas y utilizar dichos principios para crear comunidades humanas sostenibles, revitalizando nuestros sistemas de modo que los principios de ecología se manifiesten en ellas como principios de educación, empresa y política.

Los ecosistemas han ido evolucionando desde el principio para sustentar la vida, alcanzando estabilidad y resistencia gracias a la riqueza y complejidad de sus redes ecológicas. Cuanto más grande sea su biodiversidad, mayor será su estabilidad en la escala del tiempo y su capacidad de sostener la vida como la conocemos actualmente.

La organización de los agrupamientos de Industrias Agroecológicas se basa en un conocimiento pormenorizado de la biodiversidad y los procesos biológicos de los ecosistemas locales. La nueva economía ha profanado el santuario de la vida al tratar de convertir la biodiversidad en monocultivo, la ecología en ingeniería y la propia vida en mercancía.

La supervivencia de la humanidad dependerá de nuestra alfabetización ecológica, de nuestra capacidad de comprender estos principios de ecología y vivirlos en consecuencia con una Cultura Ecológica.

La semilla de la destrucción de Occidente empieza a germinar a partir del predominio de los aspectos económicos, que impone sus prioridades a toda una civilización, coloca a su servicio al técnico y al científico, genera la corrupción y pone en peligro la supervivencia de toda una especie, envolviendo al mundo en una tupida red de intereses puramente económicos, que van más

allá y por encima de toda consideración humanística, ética, ecológica y política.

Nada hay más irracional que precipitarse con la mayor eficiencia en la dirección equivocada. Ya que además cuando nuestros objetivos no son elevados, nuestros problemas podrán no ser difíciles, pero seguramente que si serán absurdos.

### **Creatividad evolutiva, ritmos y catástrofes universales; valores intrínsecos de la naturaleza**

Cuando contemplamos el entorno natural que nos rodea, vemos que el cambio, la adaptación y la creatividad son constantes. Estimulada así también por la selección natural, la red planetaria de la vida crece en tamaño y complejidad hacia formas de diversidad cada vez mayor.

La evolución muestra cómo los principales grupos de animales emergen y se ramifican a partir de un solo tronco submarino de antepasados unicelulares, donde la vida no tan sólo empezó en el agua, sino que también la mayoría de los organismos actuales siguen siendo acuáticos. Estos organismos marinos constituyen repertorios vivientes de estrategias de supervivencia, y el conocimiento de las herramientas que utilizan para superar los retos de la vida pueden ser de incalculable valor para nosotros.

Identificando así mismo las tres vías principales de evolución: mutación, intercambio de genes, y simbiosis, a través de las cuales la vida ha venido desarrollando su creatividad a lo largo de unos tres mil millones de años; desde los antepasados bacterianos universales hasta la emergencia de seres humanos, sin que en ningún momento se quebrara el patrón fundamental de sus redes de autoorganización.

Este escenario de equilibrios que se rompe bruscamente indica que las transiciones repentinas tuvieron que ser causadas por mecanismos muy distintos de las mutaciones aleatorias, así como que en dicho escenario la creación de dichas especies por medio de la simbiosis parece haber tenido un papel crucial, actuando como fogonazos de relámpagos evolutivos.

Los registros fósiles demuestran claramente que a lo largo de la historia de la evolución, han existido dilatados períodos de estabilidad

caracterizados por escasas variaciones genéticas y sacudidos por súbitas y espectaculares transiciones (Ritter *et al.*, 2002).

La repetida ocurrencia de catástrofes, seguidas de intensos períodos de crecimiento e innovación, constituye otro patrón sorprendente de la historia de la evolución. La catástrofe planetaria que borró a los dinosaurios de la faz de la tierra abrió el camino a la evolución de los primeros primates y con el tiempo la de la especie humana.

El hombre a su vez también ha ejercido sus propios impactos en el curso de la evolución al transportar animales y plantas de un continente a otro, introduciéndolos donde no existían y haciendo que proliferarán hasta convertirse en plagas que desplazaron o eliminaron a las especies autóctonas. De manera semejante y en esta dirección, Monsanto está comercializando plantas transformadas con ingeniería genética, capaces de generar sus propios insecticidas.

### **Las primeras biotecnologías esenciales de la vida y los biodiseños de la naturaleza**

La vida se originó sobre la Tierra como resultado de una secuencia de acontecimientos químicos y físicos sujeto a leyes, así como de la dinámica no lineal de los sistemas complejos.

Durante los primeros dos mil millones de años de evolución biológica las bacterias y otros microorganismos fueron las únicas formas de vida sobre el planeta, transformando sin cesar la superficie y la atmósfera de la Tierra y estableciendo los bucles globales de retroalimentación necesarios para la autorregulación del sistema.

Al hacerlo inventaron la totalidad de los procesos metabólicos esenciales para la vida, que incluyen la fermentación, la fotosíntesis, la fijación del nitrógeno, la respiración y otros sobre los que el hombre ha manejado biotecnologías.

Por lo que a tales procesos vitales se refiere, la red bacteriana ha constituido, sin duda, la principal fuente de creatividad evolutiva, impulsada por la creatividad inherente a todos los sistemas vivos, y expresada a través de las vías de la mutación, el intercambio de genes y la simbiosis.

Actividades humanas tradicionales como

la manufactura de productos lácteos, pan, vino, alteración genética mediante reproducción selectiva, clonación de plantas por injerto, utilización de productos microbianos en la fermentación y otros similares, no son considerados en la acepción moderna como partes de la nueva biotecnología.

Sin embargo, sí quedarían incluidos en la emergencia de la década pasada una plétora de nuevos microorganismos con resistencias a los antibióticos que podrían muy bien estar directamente relacionadas con las aplicaciones comerciales a gran escala de la biotecnología durante el mismo período.

Podemos concebir una clase radicalmente distinta de biotecnología, que comenzaría con el deseo de aprender de la naturaleza en lugar de pretender controlarla, de utilizarla como mentor en lugar de cómo mera fuente de materias primas. Lo cual no implicaría ya la modificación genética de organismos vivos, sino el uso de la ingeniería genética para comprender los sutiles diseños de la naturaleza a fin de utilizarlos como modelos para nuevas tecnologías, integrando el conocimiento ecológico y aprender de plantas, animales y microorganismos el modo de producir fibras, plásticos y compuestos químicos no tóxicos, biodegradables y sujetos a reciclaje continuo. Todo lo cual constituye un reto, ya que desconocemos todavía cómo ha desarrollado la naturaleza a lo largo de miles de millones de años de evolución, con tecnologías infinitamente superiores a cualquier diseño humano con su limitado tiempo de existencia (unos dos millones de años).

### **Lo que la biotecnología sabe sobre las conexiones ocultas de la vida: bacterias, enzimas y redes celulares**

La nueva biotecnología de la ingeniería genética es un conjunto de técnicas para aislar, modificar, multiplicar y recombinar genes de distintos organismos, lo que permite a los científicos transferir genes entre especies que nunca se habrían hibridado de forma natural para crear de este modo organismos transgénicos.

Los biotecnólogos tienden a ver el organismo vivo como un mero montón de genes, total-

mente pasivo, sujeto a mutaciones aleatorias y a las fuerzas selectivas del entorno, sobre las cuales carece de cualquier control.

Tanto los problemas en la comprensión de la relación entre genes y enfermedad como la utilización de la clonación en investigación médica y las aplicaciones de la biotecnología a la agricultura tienen sus raíces en el estrecho marco conceptual del determinismo genético.

Los genes tienen habitualmente múltiples efectos y dependen de su entorno genético y celular como un todo, cambiando cuando los genes son introducidos en un nuevo ambiente donde efectos indeseables suprimidos en una especie vuelven a expresarse cuando es transferido a otra.

EL ADN hace ARN, y el ARN hace proteínas y las proteínas nos hacen a nosotros; sin embargo, la dinámica celular puede conducir tanto a la emergencia de numerosas proteínas a partir de un gen como de diversas funciones para una misma proteína, todo lo cual dista mucho de la cadena lineal de causa y efecto que postula el dogma central de la biotecnología.

Las bacterias, en cuanto sistemas vivos más simples, y la célula viva definida como una red metabólica delimitada por una membrana, autogenética y organizativamente cerrada, involucran diversos tipos de macromoléculas de gran complejidad: proteínas estructurales; enzimas, que actúan como catalizadores metabólicos; mensajeros en la transmisión de la información genética (ADN) y almacenes de esta información (ARN) responsables de la autorreplicación de la célula.

La red celular es material y energéticamente abierta y utiliza un flujo constante de materia y energía para reproducirse, regenerarse y perpetuarse, funcionando lejos del equilibrio, allí donde pueden emerger espontáneamente nuevas estructuras y nuevas formas de orden, lo que permite el desarrollo y la evolución.

La totalidad de los procesos biológicos que implican a los genes está regulada por la red celular en la que el genoma está inmerso. Esta red es altamente no lineal y contiene múltiples bucles de retroalimentación, de modo que los patrones de actividad genética cambian constantemente en

respuesta a las diversas circunstancias.

Los nuevos descubrimientos en genética obligarán a los biólogos a adoptar la visión, radicalmente distinta, de que las mutaciones son activamente generadas y reguladas por la red epigenética de la célula, así como de que la evolución es parte integrante de la autoorganización de los sistemas vivos.

### **La agroecología y el enfoque sistémico, en la dinámica no lineal de las redes complejas de los sistemas vivos**

El concepto de que en última instancia la vida no es más que una cuestión de moléculas, se trata de una perspectiva peligrosamente reduccionista, pues la vida se inserta en sistemas complejos.

Para explicar los fenómenos biológicos también debemos tomar en consideración la compleja dinámica no lineal de las redes vivas, es decir que para tener una comprensión plena de los fenómenos biológicos solo lo podremos lograr si puede darse que se contemplen desde la perspectiva de la interrelación de tres niveles diferentes de descripción: el de la biología del fenómeno observado, el de las leyes de la física y la química y el de la dinámica no lineal de los sistemas complejos.

Puesto que la mayoría de los científicos están acostumbrados a trabajar con modelos lineales, se muestran a menudo reticentes a adoptar el marco no lineal de esa teoría, por lo que les resulta difícil apreciar plenamente las implicaciones de la dinámica no lineal, y ésta es particularmente la situación para el caso de lo relativo al fenómeno de la emergencia, donde la emergencia tiene como resultado innovar, y lo nuevo es a menudo cualitativamente diferente de los fenómenos de los que emergió.

En lugar de quedar limitados a la contemplación de un lento proceso dependiente de una variación genética aleatoria, es decir, ciega, tenemos ahora libertad para especular en términos moleculares realistas acerca de la rápida reestructuración del genoma guiada por redes biológicas de retroalimentación.

Considerados en conjunto, los avances en

genética y microbiología equivalen a un cambio espectacular en la teoría de la evolución: del énfasis sobre azar y necesidad se pasa a una visión sistémica que contempla el cambio evolutivo como una manifestación más de la autoorganización de la vida.

La estabilidad del desarrollo, algo misterioso desde el punto de vista del determinismo genético, es reconocida como la consecuencia de una propiedad muy básica de los sistemas no lineales complejos.

Hemos empezado a darnos cuenta de que todos los procesos biológicos que implican a los genes están regulados por las redes celulares en las que se hallan inmersos los genomas, así como de que los patrones de la actividad genética cambian continuamente en respuesta a los cambios en el entorno celular, pasamos de las estructuras genéticas a las redes metabólicas, de las que todavía sabemos muy poco de su compleja dinámica.

### **Sistemas vivos, emergencia, forma, estructura y procesos de la visión sistémica**

Al mirar el mundo que nos rodea, nos percatamos de que no hemos sido arrojados al caos y la aleatoriedad, sino que formamos parte de un orden superior y de la gran sinfonía de la vida; donde la percepción fundamental consiste en una profunda sensación de unidad, un sentido de pertenencia al universo como un todo. Lo cual queda plenamente confirmado por la nueva visión científica de la vida, al comprender cómo se hunden las raíces de la vida en la física y la química y cómo se inició el desarrollo de la complejidad mucho antes de la formación de las primeras células vivas y de su evolución durante miles de millones de años.

Sirviéndose de los mismos patrones y procesos, nos damos cuenta de cuán inmersos estamos en la trama de la vida.

Con el resto del mundo vivo no compartimos únicamente las moléculas de la vida, sino también sus principios básicos de organización. El metabolismo de una célula consiste en una red (forma) de reacciones químicas (proceso) que implica la producción de los componentes de la

célula (materia) y que responde a través de cambios estructurales autodirigidos (proceso), a perturbaciones del entorno.

De forma parecida, el fenómeno de la emergencia es un proceso característico de las estructuras disipativas (materia) que implica numerosos bucles de retroalimentación.

Centrar la atención en las estructuras materiales y en las fuerzas que la unen, así como contemplar los patrones de organización resultantes de esas fuerzas como fenómenos emergentes secundarios, ha sido muy efectivo en física y química, pero, cuando se trata de sistemas vivos, ese planteamiento no resulta ya adecuado.

El metabolismo celular, característica fundamental que distingue a los sistemas vivos de los no vivos, no es una propiedad de la materia sino un patrón específico de relaciones entre procesos químicos. Pero aunque sus características esenciales de organización, complejidad, procesos, etc., sean inmateriales, la vida no está dissociada de la materia. La característica de un sistema vivo no consiste en la presencia de determinadas macromoléculas, sino en la existencia de una red autogenética de procesos metabólicos.

Las tres perspectivas de la naturaleza de los sistemas vivos antes mencionadas corresponden al estudio de la forma o patrón de organización, de la materia o estructura material y del proceso.

Desde la perspectiva de la forma, descubrimos que sus patrones de organización son los de una red autogenética, desde la perspectiva de la materia de un sistema vivo es una estructura disipativa, es decir, un sistema abierto que opera lejos del equilibrio térmico; y desde la perspectiva del proceso, los sistemas vivos son sistemas cognitivos donde dichos procesos están íntimamente ligados al patrón de autopoiesis (que se hace así mismo), Maturana (1987).

Los principios de organización de los ecosistemas, que constituyen la base de la sustentabilidad, son idénticos a los de todo sistema vivo, donde éstos responden autónomamente a las perturbaciones del entorno con cambios estructurales. El sistema vivo no tan solo especifica sus cambios estructurales, sino que también identifi-

ca que perturbaciones del entorno van a activar esos cambios; el sistema vivo mantiene la libertad de decidir a que debe prestar atención y que es lo que lo va a perturbar, es decir que los sistemas vivos eligen siempre a que responder y que ignorar.

Mediante sus respuestas creativas, las redes vivas dentro de la organización generan y comunican significado y subrayan su libertad para recrearse continuamente a sí mismas. Los biólogos y ecólogos han comenzado a cambiar sus metáforas de jerarquías a redes y han llegado a percatarse de que la asociación es una de las características principales de la vida. Los procesos de la vida incluyen, ante todo, la emergencia espontánea de nuevo orden, característica que constituye la base de la creatividad inherente a cualquier forma de vida. La emergencia desemboca en la creación de novedad; esta generación constante de novedad, el llamado avance creativo de la naturaleza, según Whitehead, constituye una propiedad clave de todo sistema vivo.

El proceso de emergencia es absolutamente no lineal, e implica múltiples bucles de retroalimentación, por lo que no puede ser analizado por medio de nuestras formas convencionales de razonamiento lineal, y tendemos a experimentarlo como algo misterioso. La creatividad de la vida se expresa a través del proceso de emergencia; sin embargo, en la naturaleza no hay intención o propósito, lo que no significa que la vida sea meramente aleatoria y carente de sentido, la comprensión sistémica de la vida reconoce el orden que todo lo impregna, la autoorganización y la inteligencia que el mundo vivo manifiesta.

Las estructuras emergentes aportan novedad, creatividad y flexibilidad, son adaptables y capaces de cambiar y de evolucionar.

### **¿Modificar la naturaleza o modificar nuestros objetivos para adaptarnos a ella?**

Los anuncios de la biotecnología nos muestran un mundo feliz en el que la naturaleza será por fin sometida al control humano. Sus plantas se convertirán en artículos genéticamente diseñados, hechos a medida de las necesidades del usuario. Las nuevas variedades serán resis-

tentes a la sequía, los insectos y las malas hierbas. La agricultura no dependerá ya de la química y por ende, respetará el medio ambiente. Los alimentos serán mejores y más seguros que nunca y el hambre desaparecerá por fin de la faz de la tierra. Un riesgo bastante evidente en la recombinación genética es que a menudo se realizan con colibacilos que son huéspedes normales del aparato digestivo humano y que además están muy difundidos en el medio ambiente, por lo que una cepa modificada podría propagarse muy fácilmente y provocar situaciones muy graves.

Se trata de presentar a la ingeniería genética en la agricultura como una tecnología humana dedicada a alimentar a la gente más y mejor. Nada más lejos de la realidad, basándose este argumento en dos premisas falsas: la primera es de que el hambre en el mundo se debe a la escasez de alimento, y la segunda, de que la ingeniería genética constituye el único modo posible de incrementar la producción alimentaria.

Existen datos pormenorizados que demuestran que la característica que mejor describe la producción actual de alimentos no es la escasez, sino la abundancia. Las causas del hambre en el mundo no tienen nada que ver con la producción de alimentos, sino con su distribución y con la pobreza que impide su adquisición, carencia de educación adecuada, desigualdades, falta de acceso a los alimentos y a la tierra. En síntesis, el problema del hambre en el mundo no es técnico sino político.

Es bien sabido que la agricultura química no ha ayudado ni a los agricultores ni a la tierra ni a los consumidores. Víctimas de la revolución verde en el mundo entero, gran número de personas ha abandonado las zonas rurales y han ido a engrosar las masas de desempleados urbanos. El equilibrio de los procesos ecológicos del suelo quedaba trastocado, su nivel de materia orgánica disminuía y, en consecuencia, menguaba su capacidad de retener humedad: pérdida de humus, sequedad, esterilidad, erosión por viento y agua, etc., que junto con el uso excesivo de agroquímicos tuvo como resultado un aumento tremendo de plagas y enfermedades que los agricultores trataban de contrarrestar con dosis

mas elevadas de pesticidas, en un círculo vicioso de agotamiento y destrucción y la consiguiente contaminación de acuíferos y alimentos.

La agricultura orgánica, ecológica y sostenible, o agroecología, consiste en tecnologías para el incremento de las cosechas, el control de las plagas y el mantenimiento del suelo, que no se basa en la química o la biotecnología, sino en el conocimiento ecológico, que saben que un suelo fértil es un suelo vivo, que contiene millones de organismos en cada centímetro cúbico, que saben que se trata de un sistema complejo en el que las sustancias esenciales para la vida circulan en ciclos, y que la energía solar es el combustible natural que alimenta esos ciclos ecológicos, en los que son necesarios organismos vivos de todos los tamaños para sostener el sistema y mantenerlo en equilibrio.

La agroecología preserva y sostiene los grandes ciclos ecológicos al integrar sus procesos biológicos en los de producción de alimentos, contribuyendo a la absorción del bióxido de carbono atmosférico y por consiguiente a la reducción del cambio climático.

La empresa utiliza mano de obra intensiva y esta orientada a la comunidad, crían animales para apoyar en su fertilidad al suelo de los ecosistemas, utilizan la rotación de cultivos, cultivos mixtos, estiércol y composta, terrazas, cultivos hidropónicos, etc., arrojando resultados espectaculares en zonas previamente agotadas y abandonadas por su incapacidad para el cultivo.

La tendencia a crear grandes mercados para un solo producto reduce la biodiversidad, con lo que disminuye la seguridad alimentaria y se incrementa la vulnerabilidad de los cultivos ante enfermedades, plagas de insectos y malas hierbas, donde los sistemas tradicionales de diversidad de cultivos y alimentos de los países en desarrollo están siendo rápidamente desbancados por monocultivos que llevan a innumerables especies a la extinción y crean nuevos problemas de salud a las poblaciones rurales.

El caso de las "vacas locas" es uno de los ejemplos más notorios de tecnología fuera de control con prácticas antinaturales, al tratar de convertir en caníbal a un rumiante vegetariano alimentándolo con desechos cárnicos de otros

mamíferos. No parece que haya muchos motivos para incrementar los riesgos de esa terrible enfermedad, simplemente para favorecer a una tecnología que ni siquiera necesitamos, sobre todo sabiendo que los granjeros estadounidenses llevan cincuenta años produciendo más leche de la que el mercado es capaz de consumir.

El ochenta por ciento de las superficies plantadas con variedades genéticamente modificadas, lo están con plantas resistentes a herbicidas que producen las mismas empresas, y un veinte por ciento restante de las plantas son denominadas resistentes a insectos utilizando genes como los de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, utilizada en el control biológico de plagas y conocida como Bt, cuyos genes productores de toxinas para insectos han sido incorporados al algodón, maíz, papa y manzana, entre otros. Se ha encontrado que no existe una diferencia sustancial en el uso de insecticidas entre las plantaciones Bt y las no Bt, pero si se sabe que las Bt destruyen muchos de los insectos que son beneficiosos para el ecosistema y perjudican el suelo al acumular toxinas que acaban con los microorganismos que son la base de un ecosistema de suelo sano. Se tienen además los llamados “efectos colaterales inesperados” observados en algodón y jitomate, que dieron lugar a numerosos pleitos interpuestos por agricultores contra la empresa Monsanto.

En el pleito con el maíz transgénico Star Link (un maíz Bt) del productor Aventis, se encontró que la información genética que se le había introducido no se destruía con el calor o la digestión (el ADN resiste los extremos de calor y pH del procesado de alimentos porque es una molécula más resistente que una proteína); a pesar de que solo se había autorizado su uso en alimentos para animales, este maíz fue usado para fabricar tortillas con harina producida en EU para la cadena Taco Bell, entre otros consumidores; unos 40 consumidores reclamaron reacciones alérgicas, de las cuales una docena requirieron atención médica urgente.

La magnitud del asunto y los riesgos se pueden valorar porque se retiraron del mercado de EU 300 productos conectados con este maíz (Wheelwright, 2001). Una vía por la que el Start Link puede haber contaminado los cultivos

convencionales es por el polen llevado por el viento, aunque Aventis estipula una zona buffer de 200 m de ancho con maíz convencional que solo será usado para alimento animal y también como refugio estructurado (La Agencia de Protección Ambiental de EU -EPA- acuñó el nombre) para plagas de insectos, de manera que la plaga recientemente resistente al Bt tenderá a procrear con los individuos comunes que todavía son vulnerables a las toxinas Bt en la zona con maíces convencionales, de manera que la resistencia de la plaga se disminuya. Una consideración es que en el caso del maíz transgénico, el gen de la betalactamasa usado contiene resistencia a la ampicilina y ésto podría ser causa de que las bacterias generen resistencia a los antibióticos. En el libro “Cultivos Transgénicos ¿hacia donde vamos?”, el autor Walter A. Pangre afirma que una de las consideraciones importantes tiene relación con la posibilidad de aparición de caracteres alérgicos en ciertos tipos de poblaciones susceptibles. La inserción de un gen resistente que codifica una vía metabólica desconocida en los mamíferos sustenta la hipótesis de una alergia potencial.

Quist y Chapela (2001), encontraron una secuencia promotora de maíz transgénico en maíz mexicano nativo que se fragmentó a través del genoma, lo que provocó un álgido debate sobre la afectación al futuro genético de las variedades de maíz cuyo origen está en México. Los autores fueron atacados por Internet y se encontró que los ataques provenían de una firma de relaciones públicas para GM (Genetically Modified) de Monsanto, en San Louis, Missouri (Aldhous, 2002).

Hay un flujo de literatura sobre la resistencia y el flujo de genes, y en general se concluye que es más lo que no se sabe sobre los efectos ambientales, la posibilidad de nuevas enfermedades virales, la degradación de suelos, el balance de especies en el largo plazo y la diferencia fundamental de escala entre los experimentos de laboratorio y las pruebas de toxicidad en el campo. Dada la complejidad de los sistemas naturales, las respuestas no se pueden esperar a corto plazo.

Un caso que no podemos dejar sin mencio-

nar es el de la industria azucarera, que en el caso de México ha tenido antes capacidad para abastecer el mercado interno y generar divisas por su explotación, pero en años recientes ha sido desplazado el azúcar (principalmente en la industria refresquera) por importaciones desde EU de un jarabe con alto contenido de fructosa o isoglucosa, el cual se obtiene por un proceso biotecnológico de isomerización enzimática del almidón de maíz (del que tienen excedentes en EU). Lo anterior ha creado un enorme impacto económico y empobrecimiento de los productores de azúcar, que los ha llevado a una crisis sin precedentes, cuando lo correcto sería propiciar en nuestro país y otros, una industria azucarera y alentar la investigación en biotecnología derivada de la caña de azúcar y los subproductos de la industria azucarera, entre otros, los residuos de biomasa celulósica (que también existen en pajas de cereales y cañas de maíz), que representan una considerable reserva mal valorada de azúcares de fermentación (que se obtienen por hidrólisis enzimática de la biomasa lignocelulósica) y posteriormente, por fermentación acetona-butílica, se produce a partir de estos azúcares una mezcla de disolventes, muy rica en butanol y acetona, que posee grandes cualidades como carburante de automóviles. Esto es verdaderamente importante en un futuro con escasez de petróleo.

La posición de la industria biotecnológica es contradictoria ya que por una parte proclama que sus productos son equivalentes a los tradicionales y por lo mismo no necesitan una verificación ni un etiquetado específico y, por otra parte, insiste en que son novedosos y, por lo tanto, pueden ser patentados. Negando con este mito de la "equivalencia sustancial" el derecho de la ciudadanía a decidir sobre su propia seguridad e integridad física.

Alguna información sobre la dimensión de estos negocios biotecnológicos agrícolas son los siguientes:

Monsanto en el año 2000 vendió 3900 millones de dólares.

Monsanto, Aventis, Dupont y Sygate dominan el 75 % del mercado.

6 millones de productores de 16 países sembraron transgénicos.

En el 2002 se cultivaron 58 millones de hectáreas de transgénicos, un 12 % más que en 2001.

USA, Canadá, Argentina y China son los principales cultivadores de transgénicos.

La soya transgénica se cultiva en 36.5 millones de hectáreas, que es más de la mitad de su área mundial de cultivo.

### **Otros aspectos que vienen al caso: la nueva economía, complejidad y turbulencia**

El proceso de globalización económica fue deliberadamente diseñado por los principales países capitalistas; las mayores corporaciones transnacionales e instituciones financieras fueron creadas para ese propósito.

Una vez que las redes financieras globales alcanzaron cierto grado de complejidad, sus interconexiones no lineales comenzaron a generar rápidos bucles de retroalimentación que dieron pie a la emergencia de numerosos fenómenos insospechados. Como resultado de todo ello, la nueva economía es tan compleja y turbulenta que desafía cualquier análisis en términos económicos convencionales.

El nuevo capitalismo, que constituye una de las fuerzas motrices de la globalización, es hasta cierto punto, un misterio. Todavía no acabamos de comprender del todo como funciona, ya que los flujos financieros no siguen ninguna lógica; sin embargo, los recientes colapsos de los mercados financieros han arrojado a cerca del cuarenta por ciento de la población mundial al abismo de una profunda recesión económica, donde los países en desarrollo han sido el blanco preferido de los especuladores del casino global, contribuyendo de manera significativa a la incapacidad de los gobiernos para controlar eficazmente la política económica.

El poder económico real ha sido transferido a las redes financieras globales, y toda corporación depende de lo que suceda en esas complejas redes, que nadie controla. El problema no es regional sino internacional y todo indica que es sistémico, donde por su creatividad, adaptabili-

dad y capacidades cognitivas recuerda a las ya mencionadas redes vivas, sin presentar la estabilidad que constituyen una propiedad clave de la vida y por esta razón todo el sistema gira de manera enloquecida, fuera de cualquier posibilidad de control; pero hay demasiadas cosas en juego para que el capital especulativo y los vaivenes de las divisas determinen el destino de la economía mundial.

La nueva economía ha enriquecido a una élite de especuladores financieros, empresarios y profesionales de las altas tecnologías; pero a nivel general, sus impactos sociales y económicos han sido desastrosos. La nueva economía no alivia la pobreza ni la exclusión social, sino que por el contrario, las exagera, ignorando además los costos medioambientales.

En la mayor parte de los países del tercer mundo, los contaminantes agrícolas e industriales han contaminado sus principales ríos, quedando el agua no tan sólo desprovista de peces, sino que ha perdido toda posibilidad de uso para el consumo humano, y hay casos en que los vertidos la han hecho inflamable.

En Taiwán la tasa de cáncer se ha duplicado y la de la hepatitis es de las más altas del mundo. Sin embargo, su nueva riqueza no la puede utilizar para empezar a limpiar su entorno ya que la competitividad de la economía global es tan feroz, que en lugar de endurecer las normas de protección ambiental, éstas se suprimen para reducir los costos de producción industrial.

El desmantelamiento de la producción local para propiciar las exportaciones e importaciones, hace que los alimentos viajen enormes distancias antes de llegar al consumidor, lo que provoca un tremendo estrés sobre el medio ambiente, donde el incremento del volumen de transporte contamina aún más el aire y provoca derrames frecuentes de petróleo y otros productos químicos, por lo que la contribución de los alimentos no locales al cambio climático es entre seis y doce veces superior a la de los alimentos cultivados y consumidos localmente.

En palabras de Vedanta Shiva (2000), el efecto neto es que los recursos van de los pobres a los ricos, mientras que la contaminación va de los ricos a los pobres.

La destrucción del medio natural en el tercer mundo va de la mano del desmantelamiento de los medios de vida tradicionales, en gran medida autosuficientes, olvidándose además de que el estilo moderno de vida de la sociedad de consumo es insostenible y no todo mundo podrá tener acceso a éste, ya que si se tratara de llevar a toda la población del planeta los consumos de materiales y energía de los países desarrollados, el daño medio ambiental provocado sería doscientas veinte veces mayor que el actual, lo que tendría consecuencias inimaginables.

¿Será que no hay modo de proteger el medio ambiente dentro del contexto de una economía de libre comercio?

El capitalismo global, en su presente modalidad, necesita ser rediseñado desde sus raíces, ya que además de ser económicamente inestable, es ecológica y socialmente insostenible, por lo que debemos estar preocupados por su naturaleza y potencial altamente volátil y auto-destructivo.

## Bibliografía

- Aldhous, P., 2002. Agribiotech: More heat than light. *Nature* 420:730-731.
- Altieri, M. A., 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press, Boulder, Colorado. 448 pp.
- Arias P., S., 1990. *Biología: Amenazas y Perspectivas para el desarrollo de América Central*. Ed. Dei, San José, Costa Rica. 280 pp.
- Baltimore, D., 2001. Our genome unveiled. *Nature* 409:814-816.
- Brown, L., 1981. *Building a Sustainable Society*. W. W. Norton & Company, NY. 433 pp.
- Capra, F., 1982. *The Turning Point: Science, Society, and the Rising Culture*. Simon & Schuster, NY., 464 pp.
- Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, NY. 398 pp.
- Ho, Mae-Wan, 1998a. *Genetic Engineering Dream or Nightmare?: The Brave New World of Science and Business*. Gateway Books, Bath. 304 pp.
- Margulis, L., 1998a. *Symbiotic Planet: A New Look at*

Evolution. Basic Books, NY. 160 pp.

Maturana, H. y F. Varela, 1987. The Tree of Knowledge. Shambhada, Boston. 269 pp.

Quiist, D., y I. H. Chapela, 2001. Transgenic DNA introgressed into tradicional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414: 541-543.

Ritter O., W., S. Guzmán R., N. Sánchez-Santillán, J. Suarez S., C. Corona V., H. Muñoz N., A. Ramos V., R. Rodríguez M. Y T. E. Pérez E., 2002. El Clima como sistema complejo adaptativo en coevolución. *Ciencia y Mar* 17(6):23-35.

Scriban, R., 1985. Biotecnología. Ed. El Manual Moderno. México.

Shiva, V., 2000. The World on the Edge, en: Hutton, W., y A. Giddens (eds.). On the Edge: Living with Global Capitalism. London, Jonathan Cape. 242 pp.

Steinbrecher, R., 1998. What is Wrong With Nature? *Resurgence* 188:16-19.

Stewart, I., 1998. Life's Other Secret: The New Mathematics of the Living World. John Wiley & Sons. 304 pp.

Tokar, B., 2001. Redesigning Life?: The Worldwide Challenge to Genetic Engineering. Zed Books, N.Y. 384 pp.

Volcker, P., 2000. The sea of Global Finance, en: Hutton, W., y A. Giddens (eds.). On the Edge: Living with Global Capitalism. London, Jonathan Cape. 242 pp.

Wheelwright, J., 2001. Genetically Altered Corn. How a genetically modified corn called StarLink that wasn't intended for humans got into your food supply. *Discover* 22 (3):36.

*Recibido: 26 de septiembre de 2003*

*Aceptado: 1º. de junio de 2004*