



Esta obra forma parte del acervo de la Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM

www.juridicas.unam.mx

CAPÍTULO SEGUNDO

DELIMITACIÓN TEMÁTICA

I. Percepción social de la ciencia: la biotecnología	33
II. Mitos sobre biotecnología	35
III. Acotamiento temático.	39
IV. Utilización de transgénicos en distintos sectores y análisis de riesgos	41
1. Sector salud.	42
2. Sector alimentos	46
3. Agricultura	47
4. Sector pecuario	61
5. Sector de la acuicultura	64
6. Energía y biorremediación	66
7. Riesgo y seguridad	70
8. Políticas de precaución en materia de bioseguridad	72

CAPÍTULO SEGUNDO

DELIMITACIÓN TEMÁTICA

I. PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA: LA BIOTECNOLOGÍA

En este apartado abordamos uno de los temas que tiene mucha importancia en el desarrollo de cualquier ciencia y tecnología. Sin lugar a dudas, la percepción —negativa o positiva— que hay de los avances científicos determina su inserción final en la sociedad. En muchas ocasiones, los elementos que componen el tejido social no dan voto de confianza a los avances científicos. En este ámbito de desconfianza juegan un papel muy importante la información que recae en los individuos, el esfuerzo por hacer divulgación científica, la actuación de organizaciones no gubernamentales y las políticas públicas.

Cabe destacar el concepto de alfabetización científica cívica, el cual radica en hacer una serie de estrategias consistentes en tres acciones: la primera se refiere a lograr que el público obtenga dominio del vocabulario científico básico; la segunda es la comprensión de los procesos científicos, y una tercera acción se refiere a extender la influencia que hay de la ciencia a la sociedad.⁵² Con este proceso se logra evitar temor, desconfianza y sobre todo se pretende alcanzar cierta objetividad en la emisión de juicios sobre un fenómeno científico-tecnológico determinado.

Especulaciones sin fundamento, mala información con actitud dolosa, campañas transnacionales millonarias en contra de la biotecnología han provocado que decisiones públicas fundamentales se tornen restrictivas, teniendo como consecuencia que no exista crecimiento científico y tecnológico, en especial en países en desarrollo que tienen potenciales gené-

⁵² Miller, Jon *et al.*, *Percepciones del público ante la ciencia y la tecnología. Estudio comparativo de la Unión Europea, Estados Unidos y Japón*, Fundación BBV-Academia de Ciencias de Chicago, 1998, p. 43.

ticos importantes. Por ello, insistimos en que las decisiones públicas se basen en hechos científicos y no en especulaciones sin fundamento. En ocasiones se ha hablado de que la biotecnología moderna, transgénicos y demás productos así como procesos son de un riesgo equiparable a la industria nuclear, también se habla de caos, “contaminación transgénica”, procesos incontrolables, cáncer, destrucción. Sin negar los posibles riesgos que como cualquier tecnología tiene, mucho de ello es absolutamente falso e infundado.

Hay que destacar que el público en general no profundiza en los temas científicos,⁵³ lo que conlleva a la sociedad a “creer” casi como dogma cualquier mentira llena de prejuicios sobre la ciencia que estén en comerciales de televisión, espectaculares en las calles y “hazañas de protesta”; sin embargo, la conciencia colectiva puede orientar decisiones políticas. Así, la desinformación sobre los transgénicos ha fluido, provocando en la sociedad en general una percepción negativa, incluso miedo, a los productos biotecnológicos y consecuentemente a la ciencia. En sus mismas protestas infundadas no ven la creación de biofármacos, de filtros para evitar la contaminación, mejoras al ambiente, procesos de biorremediación y una serie de enormes beneficios que hay en la biotecnología moderna, hechos que analizamos en los próximos apartados.

También es importante subrayar que las acciones tendientes a modificar la percepción del público son cuestión de Estado. Por lo menos así lo han concluido en España, el Reino Unido y otros países.⁵⁴ Esto es, el Estado debe encargarse de planear esquemas de divulgación científica, como parte del derecho a la educación que tiene cualquier pueblo. La política científica debe estar cerca de la sociedad, fortaleciendo programas de divulgación, periodismo científico, materias en escuelas que acerquen a la ciencia a los estudiantes de todos los niveles. Poner en práctica todo ello significaría centrar el debate a un campo más respetable, responsable, maduro y mucho más objetivo y serio que es lo que la comunidad científica y la sociedad reclaman.

⁵³ Carullo, Juan Carlos, *La percepción pública de la ciencia: el caso de la biotecnología*, Argentina, Instituto de Estudios Sociales de Ciencia y Tecnología, 2002, pp. 10 y 11.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 15.

II. MITOS SOBRE BIOTECNOLOGÍA

No cabe duda que la población en general —como quedó anotado en el apartado anterior— no hace profundas reflexiones sobre su alrededor. Ante esas circunstancias, es fácil que las campañas con contenidos apócrifos triunfen y se conviertan en algo generalmente aceptado. Las cruzadas en contra de los productos biotecnológicos no han tenido sustento válido. No creemos prudente exponer en el presente trabajo las argumentaciones de algunas organizaciones no gubernamentales, sin embargo sí vamos a exponer algunas discusiones que se han generado en torno a los organismos genéticamente modificados, las cuales han trascendido a la sociedad, pero de forma distorsionada. Tampoco queremos que este trabajo sea una apología a los transgénicos y que el trabajo de algunos científicos sea demeritado, sólo haremos mención de algunas circunstancias dadas, y la conciencia y honestidad científica de cada quien estará fuera de este trabajo.

Expresiones tales como “los transgénicos provocan cáncer”, “son comida chatarra”, “no son una solución”, “inseguros”, “tan peligrosos como la energía nuclear”, una de las más recurridas y falsas “contaminación transgénica”, se esparcen a través de las voces populares y se difunden entre la sociedad, provocando temor y desconfianza a lo que por muchos argumentos es algo positivo. En general, en el plano científico no han surgido este tipo de aseveraciones, surgen de alguna arena política en contra de los productos biotecnológicos. Cabe destacar que no se puede tasar a “los transgénicos” como si fueran una y la misma cosa, como si comprendieran todos por igual los mismos efectos. Hay que tomar en cuenta que las evaluaciones de riesgo son particularizadas y se deben considerar y evaluar caso por caso, no como unidad.

¿Cuál es el problema central?, en sí, la biotecnología moderna, los transgénicos son en muchos sentidos soluciones, ¿por qué dar una idea diferente a lo que son, dando un sentido distinto, muchas veces sin base científica? Principalmente, esta última pregunta es difícil contestar, porque más allá de la seguridad —que es realmente el centro del debate— juegan alrededor muchos intereses y factores económicos. Siempre ha habido cambios disruptivos, no es la primera vez que la humanidad se encuentra ante una tecnología que hace que varios sectores de la pro-

ducción cambien o tengan que cambiar y que otras tecnologías que en su tiempo fueron dominantes, ahora sean obsoletas.

Recientemente, y en ciertos productos, la aceptación social es muy importante para el desarrollo de cualquier tecnología. Por otro, la creación de mitos podría ser perjudicial porque en ambos casos pueden influir en la toma de decisiones y en consecuencia se puede hasta prohibir algo que puede ser benéfico *per se* a la sociedad misma. En el caso de los transgénicos que se comercializan actualmente —como ya se ha dicho— hasta el momento no hay evidencia científica de efectos nocivos para la salud ni para el ambiente; en contraste, han constituido una mejor alternativa que el uso de productos químicos. La aceptación sólo se puede lograr haciendo una labor enorme de promoción y divulgación científica. La sociedad debe tener conocimiento de que, en términos generales, el flujo génico —principal temor de la utilización de transgénicos en el sector agrícola— se da en la naturaleza, y que desde hace aproximadamente 10,000 años el hombre ha cruzado especies, variedades y razas vegetales, consecuentemente la agricultura es ancestralmente una historia de modificación genética y los productos agrícolas transgénicos son la continuación de esos miles de años de experiencia humana.

La información que ha sido difundida sobre los transgénicos ha sido dirigida por algunas organizaciones no gubernamentales que califican negativamente a estas tecnologías, sin evaluar y/o compararlas con las tecnologías existentes. Por otro lado, en la mayoría de los casos, los investigadores y científicos se han limitado a difundir los resultados, beneficios y ventajas de la biotecnología moderna a través de publicaciones científicas, que no llegan al público en general. Por ello, la opinión pública está orientada por las campañas adversas, sin haber balances o información con argumentos científicos.

Dentro de toda la información y la mala información que ha surgido por los productos biotecnológicos existen muchas aseveraciones falsas y se han generado políticas negativas que en lugar de encausar con sólidos argumentos, las disertaciones han sido vacuas y retóricas. Grupos como *Greenpeace* han expresado su profunda indignación e inconformidad en contra de los transgénicos, arguyendo peligrosidad, contaminación transgénica y una serie de posturas que han sido eliminadas —muchas de ellas— por la inmensa literatura científica que existe. Sin embargo, han insistido en sus campañas a pesar de que la fuente de los contraargumen-

tos es científica. En México, por ejemplo, urge la instrumentación de políticas científicas que impulsen todas las áreas del conocimiento; particularmente con la biotecnología también se requiere mayor inversión en conocimiento, el diseño de nuestros propios productos biotecnológicos bajo sus propias condiciones y características ¿Por qué tomar en cuenta a una organización no gubernamental transnacional y otras también nacionales, que en uso de descalificativos y no de argumentos científicos se enfrentan ante una pléyade bien consolidada de investigadores mexicanos, y en el fondo promueven más el retroceso que el avance, mientras que países con realidades similares como Cuba, Argentina se han propuesto estar a la zaga en esta área?

El trabajo denominado *The Frankenfood Myth*⁵⁵ da cuenta de una serie de mitos generados alrededor de los productos biotecnológicos y de cómo se han hecho populares descalificando a los transgénicos. Entre los múltiples ejemplos señala varios casos de investigaciones científicas erróneas que han sido desvirtuadas. Entre ellas podemos mencionar el caso del doctor Arpad Pusztai, quien dijo en un programa de televisión en Gran Bretaña que ratas alimentadas con papas transgénicas habían tenido repercusiones negativas porque disminuyó la eficacia de su sistema inmunológico. Después se corroboró que los datos del doctor Pusztai eran erróneos y que a las ratas solamente se les había alimentado con papas, lo que les provocó desequilibrio alimenticio. Sin embargo, en medio de la discusión y el análisis, organizaciones no gubernamentales y prensas sensacionalistas hicieron que la percepción sobre los transgénicos en la sociedad se torne negativa.

También vale la pena puntualizar en el presente trabajo el caso de la larva de la mariposa monarca, cuestión que se originó en 1999 a raíz de una publicación en la revista de corte científica *Nature*.⁵⁶ En dicho documento se estableció que el maíz transgénico con un gen que se expresa como un bioinsecticida podría causar la muerte a las larvas de las mariposas monarca. Sin duda, ello hizo que la opinión pública, los medios y las ONG hicieran que la animadversión a los productos biotecnológicos se incrementara. Aunado a esta publicación se realizaron pruebas y se

⁵⁵ Miller, Henry I. y Conko, Gregory, *op. cit.*, nota 12, p. 19.

⁵⁶ Losey, John E. *et al.*, "Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae", *Nature*, 399, 20 de mayo de 1999, p. 214.

publicaron en otra revista llamada *Oecologia*,⁵⁷ y los resultados obtenidos concluían la alta peligrosidad del maíz Bt (transgénico) en las larvas de la mariposa monarca. Sin embargo, en 2001 una serie de nuevos estudios, publicados en *Proceeding of the National Academy of Sciences*,⁵⁸ revelaron que los maíces transgénicos son absolutamente inocuos a las larvas de las mariposas monarca; empero, los artículos supuestos fueron utilizados nuevamente para descalificar a los productos biotecnológicos.

Finalmente, creemos preciso anotar otro caso en el cual se realizaron estudios científicos posteriormente desvirtuados, pero que se utilizaron para generar erróneamente una imagen negativa de los productos biotecnológicos. Investigadores de la Universidad de Berkeley, California, David Quist e Ignacio Chapela en 2001 publicaron en la revista *Nature*⁵⁹ un artículo que supuestamente revelaba el flujo génico de maíces transgénicos a parientes ancestralmente domesticados y silvestres de la sierra mazateca de Oaxaca y sus alrededores. Esto es, que genes introducidos en los transgénicos —por polinización— habían fluido hacia otro tipo de maíces. Obviamente esto levantó mucha expectativa y se habló del gran “riesgo” del maíz mexicano y, más aún, el área en donde se habían encontrado los transgenes es parte del centro de origen de todo el maíz que hay, además se acuñó la idea de “contaminación trans-

⁵⁷ Cansen, Laura C. Jesse y Obrycki, John J., “Field Deposition of Bt Transgenic Corn Pollen: Lethal Effects on the Monarch Butterfly”, *Oecologia*, 125, 2000, pp. 241-248.

⁵⁸ Estos artículos son: Zangerl, A. R. *et al.*, “Effects of Exposure to Event 176 *Bacillus Thuringiensis* Corn Pollen on Monarch and Black Swallowtail Caterpillars under Field Conditions”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11908-11912; Oberhauser, Karen S. *et al.*, “Temporal and Spatial Overlap between Monarch Larvae and Corn Pollen”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11913-11918; Pleasants, John M. *et al.*, “Corn Pollen Deposition on Milkweeds in and Near Cornfields”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11919-11924; Hellmich, Richard L. *et al.*, “Monarch Larvae Sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-Purified Proteins and Pollen”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11925-11930; E., Diane *et al.*, “Assessing the Impact of Cry1Ab-expressing Corn Pollen on Monarch Butterfly Larvae in Field Studies”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11931-11936; Sears, Mark K. *et al.*, “Impact of Bt Corn Pollen on Monarch Butterfly Populations: A Risk Assessment”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 2001, 98: 11937-11942.

⁵⁹ Quist, David y Chapela, Ignacio, “Transgenic DNA Introgressed into Traditional Maize Landraces in Oaxaca, Mexico”, *Nature*, 414, 2001, pp. 541-543.

génica”. Después de otras investigaciones y de haber desvirtuado la existencia de transgenes en maíces mexicanos de Oaxaca, los editores de la revista *Nature* concluyeron en una nota⁶⁰ que el artículo de Chapela no tenía los suficientes elementos para haber sido publicado en el número de referencia. Tiempo después se realizaron más estudios en los que se afirmó que cuatro años después del reporte de Chapela ya no se encontraron transgenes.⁶¹

Podríamos citar más ejemplos de investigaciones que han trastornado la opinión pública. No negamos los riesgos de la biotecnología moderna, pero sí se debe insistir en la imparcialidad científica y en el uso responsable de los resultados científicos. También creemos que la existencia de organizaciones no gubernamentales es algo fundamental, ya que en ambos casos se está promoviendo una mayor participación y conciencia social, que debiera pervivir en todas las áreas.

III. ACOTAMIENTO TEMÁTICO

Desvirtuar a la biotecnología moderna es hacerlo con toda la ciencia. Sin duda, las aplicaciones que ofrecen las biociencias son de enorme trascendencia y de gran importancia, mismas que va aumentar progresivamente conforme pasen los años y se desarrollen nuevos campos de aplicación. Cabe señalar que estas utilidades, como cualquier otra tecnología, siempre deben realizarse con conciencia, respeto y responsabilidad. Hemos visto cómo las biociencias han influido en distintas áreas y campos de estudio, y su característica disruptiva ha desembocado múltiples debates, desde las nuevas categorías éticas que se han generado, hasta la apropiación a través de los procedimientos de propiedad intelectual.

Sin embargo, el presente trabajo está enfocado en el desarrollo, la justificación y el análisis de las normas que regulan un ámbito, que si bien tiene concurrencia con los otros, goza de independencia. Nos referimos a la seguridad en la utilización de organismos genéticamente modificados y la serie de disposiciones jurídicas que pretenden minimizar los posibles

⁶⁰ Nota editorial en “*Nature* has concluded that the Evidence Available is not Sufficient to Justify the Publication of the Original Paper”, *Nature*, 11 de abril de 2002, p. 602.

⁶¹ Marris, Emma, “Four Years on, no Transgenes found in Mexican Maize”, *Nature*, vol. 436, agosto de 2005, p. 760.

riesgos que surjan de su aplicación. Cabe destacar que —en ocasiones— en distintos foros no se ha hecho una correcta delimitación de lo que sugiere la bioseguridad, arguyéndose de forma conjunta y bajo la misma mesa temas disímiles, que tienen el mismo punto de partida pero distintos sentidos.

Con estas aseveraciones podemos decir lo que la bioseguridad de organismos genéticamente modificados no es. No se refiere al genoma humano, al conocimiento tradicional, a la propiedad intelectual, incluida las instituciones de propiedad industrial. Simple y llanamente su campo de acción está limitado a la seguridad en la biotecnología, tratándose de organismos genéticamente modificados. En este sentido, queremos hacer énfasis en que cualquier ciencia tiene un porcentaje de riesgos en mayor o menor medida. Por ejemplo, muchos fármacos están diseñados por promedio, esto es que después de un análisis de comportamiento y consecuencias en distintas personas el medicamento es lanzado al mercado y puede funcionar perfectamente a la persona que tenga ese promedio, sin embargo puede ser incluso hasta contraproducente a alguien que no esté dentro de los rangos; la utilización de energía nuclear, de hidrocarburos, tienen riesgos; los pesticidas químicos utilizados en la elaboración de hortalizas también tienen graves riesgos. Por ende, la utilización de organismos genéticamente modificados también conlleva posibles riesgos. El desarrollo científico y tecnológico se ha desenvuelto en esta tensión que existe entre riesgo y beneficio. Dando una revisión a la historia humana, la idea de cualquier tecnología es administrar correctamente los riesgos o los posibles riesgos de tal suerte que éstos se minimicen y a la vez se maximicen los beneficios.⁶²

Sin perjuicio de que el tema del riesgo se analice en apartados posteriores, queremos hacer énfasis en que la identificación de riesgos y la existencia de posibles riesgos son categorías diferentes y tienen alcances distintos. Por un lado, estamos frente a riesgos cuando existan dos elementos: peligro y exposición. Por ejemplo, fumar es un verdadero riesgo, existe el peligro y hacerlo es exponerse, lo que puede conducir a que degeneren los tejidos de los pulmones y sean degradados; de forma distinta, en la otra categoría mencionada de posibles riesgos no existe un

⁶² Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, pp. 429 y 430.

peligro real, actual, no está latente el posible daño, esto es, una categoría inferior al riesgo en sí.

En los sectores en que tiene aplicación directa la biotecnología moderna puede haber riesgos: el sector farmacéutico, alimentario, de generación de energía y biorremediación. Aunque no exista la utilización de metodologías que involucren la modificación genética, hay riesgos. En términos generales, como lo analizamos en los apartados posteriores, no se incrementan los riesgos por la utilización de organismos genéticamente modificados, también lo analizaremos en apartados posteriores, al contrario, se reducen significativamente en muchos casos.

IV. UTILIZACIÓN DE TRANSGÉNICOS EN DISTINTOS SECTORES Y ANÁLISIS DE RIESGOS

Podemos encuadrar las aplicaciones de los organismos genéticamente modificados en distintos sectores. En primer término, en el sector salud, la creación de medicinas de uso humano o de trasplantes de órganos creados con base en la ingeniería genética. En segundo lugar, en el sector alimentario, y de ello derivan otros sectores agrícola, pecuario y acuícola, en este ámbito se analizan aspectos en torno a animales y plantas genéticamente modificadas, así como insumos para la producción de alimentos y la creación de biofármacos para enfermedades en plantas y animales. Otro uso de los transgénicos lo encontramos en la utilización de estas técnicas para el control de los contaminantes, como la utilización de biofiltros o la restauración de los suelos (biorremediación), y de igual manera la generación de bioenergéticos. Cabe señalar que los transgénicos se han clasificado dependiendo si se van a liberar al ambiente o si estarán bajo utilización confinada, o bien si son para consumo humano o animal o para cualquier otro procesamiento.

Todas estas aplicaciones son el resultado de muchos estudios, de gestión y análisis y evaluación de posibles riesgos. Sin embargo, qué es lo que se está arriesgando, cuál es el costo del uso de los organismos genéticamente modificados. Fundamentalmente, la bioseguridad debe tutelar la salud humana, la salud animal y vegetal, y el ambiente. Si estas esferas son transgredidas por la utilización de algún organismo genéticamente modificado, la liberación al ambiente o el consumo y comercialización no debe proceder; por otro lado, si la utilización de transgénicos no pone

en riesgo —más allá de los productos convencionales— o vulnera cualquiera de estas áreas, su liberación y comercialización debe tener cauce.

En los siguientes apartados daremos cuenta —por sector— de la utilización de organismos genéticamente modificados, así como los beneficios que se obtienen de utilizar responsablemente la biotecnología moderna, de acuerdo con casos exitosos y actuales que se han instrumentado en la vida real.

1. *Sector salud*

No sólo la biotecnología moderna, también la ingeniería genética, la medicina y terapia genómicas y todas las ramas relacionadas han sido de enorme ayuda en el sector salud. La biotecnología moderna utilizada en pro de la salud humana abarca la creación de proteínas para el tratamiento de problemas clínicos (diabetes, cáncer, etcétera), la obtención de vacunas y para lograr diagnósticos a partir de la amplificación de un fragmento del genoma del agente infeccioso; asimismo, es posible la creación de tejidos humanizados; finalmente, las terapias génicas, que se refieren a la posibilidad de predicción y en su caso de corrección de desórdenes genéticos, es decir, la detección de una enfermedad hereditaria en un futuro ser humano para eliminar la posibilidad de existencia de esa enfermedad.⁶³

Por otro lado, la utilización de organismos genéticamente modificados en este sector la podemos enfocar en dos aplicaciones: la elaboración de fármacos y vacunas recombinantes a partir de transgénicos utilizados como biorreactores y en la creación de organismos genéticamente modificados con órganos transplantables.

Por lo que respecta al sector farmacéutico, los grandes consorcios internacionales y los centros de investigación se han enfocado a buscar nuevas rutas en la elaboración de fármacos basados en la biotecnología. Hoy en día, al menos 25 fármacos que se expenden en las farmacias son productos biotecnológicos. Tanto medicamentos como vacunas se han logrado con técnicas de ADN recombinante y sus efectos han sido de

⁶³ Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica, 2002, pp. 171-184.

gran valía en la sociedad. Poco a poco los fármacos biotecnológicos están logrando una posición más relevante en los mercados.

Con la obtención de biofármacos, a través de la manipulación del material genético (ADN), se “recortan” e “insertan” genes en células de distintos organismos. No es la idea en el presente estudio realizar una sucinta explicación sobre cómo se logra un medicamento biotecnológico; sin embargo, creemos prudente esbozar cómo es el funcionamiento de obtención porque resulta ilustrativo, amén de que este trabajo tiene vocación divulgadora. A continuación expondremos algunos ejemplos de cómo la utilización de transgénicos ha sido benéfica en la creación de fármacos, vacunas y transgénicos con órganos transplantables.

Como primer ejemplo está la creación de insulina humana, que es además el primer producto comercial en la industria farmacéutica de la biotecnología moderna. Para los enfermos diabéticos —quienes no pueden sintetizar el azúcar porque su páncreas no genera la hormona llamada insulina— se utilizaba esta proteína de origen animal, lo que en algunas personas provocaba reacciones alérgicas. Actualmente es posible la generación de insulina humana a partir de una bacteria llamada *Escherichia coli*, a la que se le ha insertado el material genético humano ADN, que se expresa, traduce y transcribe en dicha hormona. Así la bacteria, que funciona como biorreactor, es un transgénico capaz de producir proteínas heterólogas (que provienen de otra especie). Con dicha inserción, la bacteria tiene “ordenada” la creación de insulina humana, cuestión que ha permitido la posibilidad a muchos diabéticos de contar con la hormona idéntica a la que naturalmente generamos los seres humanos, pero producida por una bacteria.⁶⁴

Otro ejemplo de la utilización de organismos genéticamente modificados en este sector es el de la obtención de vacunas, como la vacuna recombinante contra el virus que provoca la hepatitis B. Tradicionalmente, las vacunas son elaboradas utilizando los propios agentes infecciosos atenuados, con el objeto de que a la persona en quien se aplique genere anticuerpos propios. Sin embargo, esta forma de elaboración, creada por

⁶⁴ Bolívar Zapata, Francisco, “Surgimiento de la biotecnología moderna, microorganismos transgénicos y producción de proteínas heterólogas”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2004, p. 117.

el ilustre Louis Pasteur, tiene la desventaja de ser, en ocasiones, contra-productiva a un sector reducido de la población vacunada. La elaboración de la vacuna contra la hepatitis B se realiza con levaduras transgénicas que se han modificado para que generen el anticuerpo.⁶⁵

Adicionalmente es destacable la utilización de cerdos y vacas transgénicas —utilizadas como biorreactores— que tienen la capacidad de producir proteínas humanas. Se ha tomado del genoma humano el material genético responsable de producir estas proteínas y a las células de los organismos receptores se le ha recombinado genéticamente para que las produzcan. Existen cerdos transgénicos que han recibido el material genético para que se obtenga hemoglobina humana; por otro lado, hay vacas genéticamente modificadas diseñadas para que produzca hormonas del crecimiento humano.⁶⁶ Las célebres “Vacas Pampa” son organismos genéticamente modificados, utilizados como biorreactores, de los cuales se obtienen hormonas de crecimiento humano en la leche que producen, con el objeto de elaborar medicamentos que combatan enfermedades como el enanismo y otras relacionadas.⁶⁷

Asimismo, podemos incluir a los animales transgénicos, a los cuales, siendo células, se les ha modificado el ADN para que produzcan órganos humanos trasplantables. En condiciones normales es prácticamente imposible tomar el órgano de un animal y transplantarlo a un ser humano porque el organismo reacciona rechazando el tejido donado. Sin embargo, con la correcta aplicación de la biotecnología es posible la obtención de un animal —generalmente son cerdos— transgénico para que se utilicen sus órganos y sean histocompatibles con el organismo humano. En otras palabras, al organismo genéticamente modificado se le “ordenó” con el material genético en la célula para que no exista rechazo del órgano a transplantar a un ser humano.

⁶⁵ *Ibidem*, p. 128.

⁶⁶ *Idem*.

⁶⁷ Barrera Saldaña, Hugo, “Manipulación genética de animales; transgénesis y clonación”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2004, p. 155.

Análisis de riesgos en este sector

Todos los medicamentos comercializados, sean elaborados con biotecnología o no, tienen que ser aprobados por estrictos estándares de salud pública y bajo procesos de control, estudio e investigación. La utilización de técnicas de ADN recombinante cada vez más abre nuevos campos en la investigación biomédica, lo que ofrece un futuro promisorio en este sector, con medicamentos más vanguardistas y más parecidos a las sustancias que están presentes en el ser humano.

Algunos científicos resaltan que las ventajas de utilizar animales transgénicos en el sector farmacológico son, por mucho, superiores a los riesgos. Se pueden generar medicinas, vacunas humanizadas, como vimos el caso de la insulina, utilizando microorganismos, plantas o animales como biorreactores. Desde la creación de medicinas hasta su distribución pública en farmacias, los productos en este sector pasan por una serie de evaluaciones de riesgo, principalmente, en el sentido de resguardar la salud humana y la completa verificación de que el fármaco tiene un objetivo definido sobre la cura de alguna enfermedad. Por otro lado, los laboratorios son lugares confinados en los cuales se realizan experimentos con mayor control de riesgo.

Por su parte, con los órganos transplantables se ha llegado a obtener compatibilidad de los tejidos entre animales y humanos, pero no se han hecho trasplantes por el posible riesgo de que se transmita alguna enfermedad viral exclusiva de animales al ser humano. Sin embargo, si se llega a superar esta situación, a través de investigación, en el futuro la falta de donadores de órganos estará subsanada por la obtención de órganos animales humanizados.⁶⁸

Finalmente, debemos subrayar que en este sector ha habido pocas protestas en contra de los transgénicos. Lo han hecho en otros rubros, sobre todo en el sector alimentario que es la materia de nuestro siguiente apartado.

⁶⁸ *Ibidem*, p. 144.

2. Sector alimentos

El sector alimenticio también ha tenido repercusiones positivas derivadas de la utilización de las técnicas de ADN recombinante. Aunque la mayoría de las protestas en contra de los transgénicos se dirigen a este sector, en especial al agrícola, la Organización Mundial de la Salud, órgano especializado del sistema de Naciones Unidas, ha establecido que:

La aplicación de la biotecnología moderna en la producción de alimentos presenta nuevas oportunidades y retos a la salud humana. Los beneficios potenciales al sector de la salud pública comprenden la alteración nutricional del alimento, la disminución del potencial alergénico y el mejoramiento de los sistemas de producción alimentaria.⁶⁹

Al igual que en el sector médico, el sector alimentario está ampliamente beneficiado por la utilización de las técnicas de ADN recombinante; no se pueden negar todas las virtudes y bondades que ofrecen a las industrias agrícola, pecuaria y acuícola. Su uso es más respetuoso del ambiente, más limpio y saludable que otros procesos. En el sector agrícola se ha logrado el mejoramiento de especies vegetales, la creación de bioinsecticidas, la obtención de productos resistentes al estrés ambiental y con mayores propiedades nutritivas; en el sector pecuario también existe un mejoramiento de especies porcinas, bovinas, avícolas, hay mejoramiento en medicamentos de aplicación animal y mejor tratamiento a enfermedades, en consecuencia aumenta la producción en cantidad y en calidad; en el sector acuícola también hay un mejoramiento de especies, un mejor tratamiento en enfermedades y un incremento muy significativo en la producción.

De hecho, ya hay una gran variedad de productos transgénicos que se venden en las tiendas y supermercados, y a la fecha no existen indicios de que estos productos hayan afectado la salud humana, el medio ambiente ni a la salud animal y vegetal. Sin embargo, como ha quedado establecido, toda tecnología tiene riesgos en mayor o menor medida, en el tenor de la biotecnología moderna, por supuesto que existen posibles riesgos, eso también es innegable. No obstante, los beneficios son dimensionalmente superiores a los posibles riesgos, particularmente en los or-

⁶⁹ Página oficial de la Organización Mundial de la Salud <http://www.who.int/>.

ganismos genéticamente modificados que actualmente se comercializan. En los siguientes apartados daremos cuenta de los beneficios que se han generado en cada sector alimentario, tomando en cuenta también los posibles riesgos y riesgos que se pueden generar en las esferas de la bioseguridad (salud humana, ambiente y salud animal y vegetal).

3. *Agricultura*

La agricultura es una actividad que consiste en la producción de vegetales para el consumo que data de aproximadamente 10,000 años, y permitió que las tribus humanas nómadas se convirtieran en núcleos sedentarios. A partir de plantas silvestres y con la combinación de ellas se lograron, en procesos milenarios, los actuales cultivos. Por ejemplo el maíz se logró en un proceso de cruza y retrocruza de variedades en 3,000 años en la región conocida como Mesoamérica. Sin la intervención del hombre, no habría una sola mazorca en el mundo: se domó a la naturaleza y a partir del pariente silvestre, teocintle, se obtuvieron todas variedades que conocemos actualmente. Se creó maíz de todos tipos, tamaños y características: los que se dan en determinada área geográfica, los que pueden ser de clima frío, cálido, húmedo, seco. Al final, todas esas variedades se obtuvieron merced a la acumulación de conocimiento y tradiciones.

La diversidad geográfica y los distintos climas en el mundo lograron desarrollar el gran número de vegetales que se consumen y existen hoy día. El progreso de las comunicaciones ha permitido que se expandan más allá de su origen los cultivos. Ahora hay maíz en todo el mundo, aunque como lo anotamos su centro de origen es Mesoamérica. Lo mismo sucede con el arroz de Asia, el trigo de mediterráneo, el café de África, las papas de Sudamérica y todo ello logrado a partir de combinaciones de sus parientes silvestres. Las variedades se fueron mejorando y se han hecho cada vez más grandes y resistentes a factores bióticos y abióticos. A este proceso se le conoce como “fitomejoramiento”.

El fitomejoramiento tradicional —descrito en los experimentos de Gregorio Mendel— consiste en la selección de semillas para cruzarlas, dirigidas entre individuos y así obtener características deseadas en determinados cultivos, es la técnica usual en la producción agrícola.

Los individuos sobresalientes son seleccionados en ciclos subsecuentes de cultivo, hasta que después de numerosos eventos de cruza y retrocruza, aunadas a laboriosas pruebas de campo, se obtiene una generación portadora de la característica deseada que es reconocida como una nueva variedad. Todo el proceso de selección va acompañado de colectas, tanto de semillas como de plantas completas, que son almacenadas en bancos de germoplasma quedando a disposición para posteriores usos.⁷⁰

Sin embargo, la técnica de fitomejoramiento tradicional encuentra muchas dificultades en la producción a gran escala que precisa la humanidad entera. Por un lado, el entrecruzamiento entre especies es imposible en muchos casos y no es posible obtener un producto *ad hoc*; por otro lado, aunque se trate de vegetales de la misma especie, no siempre es viable su combinación (si es que existe incompatibilidad genética); finalmente, las variedades logradas en muchas ocasiones requieren de la utilización de agroquímicos para su viabilidad. Por su parte, la biotecnología moderna ofrece una expectativa favorable a corto plazo, porque se identifican y caracterizan los genes que expresan determinada característica, se insertan y recombinan, logrando las particularidades deseadas, con más precisión y predicción de resultados, lo que ofrece un fitomejoramiento más preciso y sustentable.

Por lo anterior, creemos prudente y atinada la aseveración de Kreuzer en el sentido de que la biotecnología moderna, en el plano agrícola es un *continuum* de lo que se ha venido haciendo desde tiempos inmemorables.⁷¹ Es decir, la historia de la agricultura es el inicio de la modificación genética. Evidentemente hay que destacar que la modificación no se hacía en un plano nuclear, dentro de la célula y modificando el ADN previamente a la consolidación de un organismo; la modificación se realiza seleccionando semillas (ahora también se seleccionan genes), cruzando variedades y se siembra el cultivo deseado.

La biotecnología moderna tiene múltiples aplicaciones en el sector agrícola, su naturaleza disruptiva se vislumbra en este sector con más intensidad. De forma parecida a los biofármacos, los productos agrícolas biotecnológicos están teniendo cada vez más auge, en virtud de que ofrecen un incremento en la producción agrícola. Algunos productos quími-

⁷⁰ Herrera-Estrella, Luis y Martínez Trujillo, Miguel, *op. cit.*, nota 29, p. 167.

⁷¹ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 19.

cos están siendo sustituidos por los biotecnológicos, como el caso de los bioinsecticidas.

Como ejemplos de las aplicaciones de los transgénicos en este sector podemos señalar, entre ellos, la creación de variedades mejoradas por el incremento de sus propiedades nutrimentales, los vegetales resistentes a insectos, asimismo, los transgénicos que se obtienen para la resistencia a virus, hongos y bacterias, y las que son resistentes al estrés ambiental (sequía, alta salinidad de suelos, etcétera). Además la producción de nutraceuticos (alimentos con sustancias con actividad biológica benéfica concentrada); aunado a lo anterior, la aplicación de vacunas con la obtención de alimentos, lo que según varios científicos mejoraría y aumentaría la distribución de dichos productos.

A. *Variedades mejoradas*

Generalmente los productos de las dietas básicas regionales no tienen la cantidad de proteínas, minerales y vitaminas que la alimentación humana requiere. La desnutrición en el plano mundial arroja números alarmantes. De acuerdo con estimaciones de la FAO,⁷² en el mundo en desarrollo,⁷³ existen más de 800 millones de habitantes que padecen esta situación. En otro extremo, las sociedades industrializadas tienen también problemas de nutrición de otra índole, como las enfermedades de opulencia: la hipertensión, la obesidad, las enfermedades cardíacas, la falta de hierro. La biotecnología moderna ofrece herramientas sólidas y confiables para contrarrestar estos males consistentes en la creación de variedades vegetales que contengan mayor calidad y nutrientes, y/o menor cantidad de sustancias que en cantidades elevadas pueden causar daños a la salud (como el aceite). A este proceso se le conoce como biofortificación.⁷⁴

⁷² Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2005; la erradicación del hambre en el mundo: clave para la consecución de los objetivos de desarrollo del milenio*, Italia, FAO, 2005.

⁷³ Para efectos del informe, se entiende por mundo en desarrollo Asia y el Pacífico, América Latina y El Caribe, Cercano Oriente y África del Norte, África Subsahariana y África Occidental.

⁷⁴ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 539.

Para ejemplificar, por un lado, la falta de hierro en la alimentación aqueja a países en desarrollo como desarrollados, produce anemia, deficiencia inmunológica y reduce las capacidades físicas y mentales, además las mujeres en la etapa posterior al parto corren el riesgo de morir. Al menos 2,000 millones de personas en el mundo padecen insuficiencia de hierro; por otro lado, la falta de vitamina A en la alimentación causa la muerte de uno a dos millones de niños al año, y cinco millones de personas tienen problemas de la vista, y otros 125 millones de niños sufren problemas de aprendizaje. A la luz de este lúgubre escenario se ha creado el Arroz de Oro (*Golden Rice*), al cual se le insertaron genes de cinco distintas especies para que el arroz incremente su potencial nutritivo, obteniendo un arroz rico en hierro y en beta caroteno (precursor de la vitamina A).⁷⁵

Otro caso corresponde a la utilización de aceites de cocina de origen animal, el cual ha causado el aumento en enfermedades como la hipertensión y los padecimientos cardíacos. Por ello se ha incrementado alternativamente la utilización de aceites vegetales. Otra manera de mejorar las variedades vegetales con técnicas de ADN recombinante es logrando que el aceite que generan mejore en cantidad y en calidad. En este sentido, se han obtenido aceites derivados de canola⁷⁶ transgénica que tiene una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados, esto es con un mayor porcentaje de aceites que no son perjudiciales a la salud, porque no contienen colesterol.⁷⁷

La alimentación humana para que esté balanceada y bien nutrida requiere de 17 minerales y 13 vitaminas. Con la utilización de técnicas de ADN recombinante se pueden obtener alimentos funcionales y/o nutracéuticos, que son aquellos alimentos que contienen componentes que proveen beneficios en la nutrición básica y previenen enfermedades y promueven la buena salud porque contienen un mayor porcentaje de nutrientes (vitaminas, que reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades); fotoquímicos, que sirven como antioxidantes; probióticos, que son

⁷⁵ Xudong, Ye *et al.*, "Engineering the Provitamin A (β -Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm", *Science*, vol. 287, 14 de enero de 2000, pp. 303-305.

⁷⁶ La canola fue creada en Canadá, y la raíz etimológica de esa palabra es la combinación de *Canadian* y *Oil*.

⁷⁷ Herrera-Estrella, Luis y Martínez Trujillo, Miguel, *op. cit.*, nota 29, p. 175.

bacterias que habitan en el estómago y ayudan a la buena digestión y a la síntesis de la vitamina K.⁷⁸

Otra extraordinaria aplicación de las técnicas de ADN recombinante es la obtención de alimentos que sirvan como vacunas. Esto es, la creación de vegetales transgénicos que porten la cantidad suficiente de antígenos, los cuales sirven para que el cuerpo humano cree por sí solo los anticuerpos para la protección en contra de alguna enfermedad. De esta manera se han creado animales productores de leche, la cual puede ser usada como vacuna en contra de la malaria; asimismo, plátanos que contienen la vacuna en contra de la hepatitis, y papas que contienen la vacuna contra el cólera. Esta aplicación sirve principalmente para países no desarrollados y para lograr campañas mundiales de erradicación total de alguna enfermedad. Adicionalmente, la transportación de vegetales precisa menos cuidado que las vacunas convencionales que deben permanecer a ciertas temperaturas, generalmente bajo refrigeración.⁷⁹

También podemos destacar la utilización de la biotecnología moderna para lograr que los frutos retarden su maduración. Muchos vegetales no llegan al consumidor final porque en el transporte y almacenamiento se marchitan, ocasionando grandes pérdidas y desperdicios irremediables. Sin embargo, se ha creado con ingeniería genética la forma de silenciar el *gene* que se expresa cuando maduran los vegetales. En este caso, no existe la presencia de un gen externo dentro del organismo, solamente se ha atenuado la expresión del material genético que se expresa cuando sobreviene la maduración del vegetal. Con ello se han producido tomates y melones, los cuales pueden estar semanas después de la cosecha sin que sufran el irreversible proceso de maduración, que concluye con la putrefacción.⁸⁰

⁷⁸ Osuna Castro, J. A. y Paredes López, O., “Mejoramiento de características y calidad alimentarias y nutraceuticas de plantas mediante biotecnología molecular; algunos ejemplos”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2004, p. 451.

⁷⁹ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 506.

⁸⁰ Herrera-Estrella, Luis y Martínez Trujillo, Miguel, *op. cit.*, nota 29, p. 177.

B. *Plantas transgénicas resistentes a insectos*

Una enorme variedad de plagas de insectos en los cultivos son combatidas con productos químicos, los cuales son denigrantes al suelo, aire, mantos de agua y al ambiente en general. Esta forma de combatir a los insectos es en principio efectiva, pero destructiva en muchos aspectos. Nociva incluso a los agricultores que tienen que estar en contacto directo con los pesticidas químicos, lo que ha provocado problemas tóxicos. Asimismo, algunos insectos pueden lograr tolerancia a los agroquímicos, quedando éstos obsoletos e inservibles. En China, Estados Unidos, Sudáfrica y México⁸¹ se han disminuido los problemas de salud pública entre los agricultores que utilizan algodón genéticamente modificado resistente a insectos, además se han incrementado las producciones y se han disminuido los costos. No existe la menor duda de que los transgénicos utilizados hasta ahora para combatir plagas son mucho más respetuosos y limpios para el ambiente, para los campesinos, que los pesticidas químicos, los cuales en muchas ocasiones son utilizados cuando son obsoletos, eliminan a insectos que no son perjudiciales a los campos agrícolas, provocan intoxicaciones en campesinos.

Algunos transgénicos tolerantes a plagas son logrados a partir de una bacteria llamada *Bacillus thuringiensis* (Bt), la cual se encuentra en los suelos y en el polvo, y produce una proteína que es tóxica para ciertas especies de insectos. De forma natural, muchas plantas tienen sus propias defensas contra insectos. En este caso, el material genético de la bacteria que se traduce en la toxina para los insectos se inserta en células de plantas. De esta manera, las plantas genéticamente modificadas generan su propia proteína tóxica para insectos que mueren al tiempo de consumirlos, logrando con ello un plaguicida biológico, más saludable para el ambiente porque sólo ataca a determinados insectos y no a otros que no son perjudiciales, además son más seguros para los agricultores y consumidores finales e incrementa la producción. Con estas características hay en la actualidad maíz, arroz, algodón, tabaco, tomate, canola, soya y papas genéticamente modificadas (Bt). Aunado a lo anterior, los productos agrícolas pueden contaminarse después de la cosecha con hongos patógenos pro-

⁸¹ Pray, Carl E. *et al.*, "Five Years of Bt Cotton in China—the Benefits continue", *The Plant Journal*, 2002, 31(4), pp. 423-430.

ductores de toxinas (micotoxinas). De igual manera, pueden contaminarse con microbios perjudiciales; se ha demostrado que el maíz Bt reduce la contaminación poscosecha y por ende la presencia de micotoxinas.⁸²

Los transgénicos Bt no son aplicables para el control de todas las plagas agrícolas; sin embargo, abren la posibilidad de que la investigación encuentre otros insecticidas biológicos y se creen nuevos productos agrícolas transgénicos. El caso de México es especial porque está considerado como un país megadiverso, esto es, que posee una enorme diversidad de especies animales y vegetales, sin embargo, el uso de pesticidas químicos ha causado enfermedad e incluso la muerte de agricultores y ha impactado significativamente al ambiente. No sólo se están amenazando insectos, sino también aves, mamíferos, anfibios, reptiles. Además, la enorme diversidad mexicana también está presente en los insectos, esto es, que también hay megadiversidad en plagas.

C. Plantas resistentes a microorganismos

No sólo los insectos son un obstáculo para la producción agrícola mundial, también los cultivos pueden ser afectados por virus y hongos. En este campo, la biotecnología moderna ofrece una serie de posibilidades consistentes en la creación de organismos genéticamente modificados que resistan a los ataques de estos agentes. Algunas de las enfermedades vegetales han sido exitosamente combatidas con la utilización de técnicas de ADN recombinante. Se han creado plantas resistentes a más de treinta enfermedades virales y se investiga el combate a hongos desde el plano genético.⁸³

Es necesario explicar que los virus son estructuras que sin ser células contienen material genético (ADN o ARN), el cual está cubierto por proteínas. Sus efectos patógenos se llevan a cabo cuando se introducen en los núcleos celulares y alteran el ADN. Esto es que los virus recombinan el ADN y se produce la reproducción celular con otra orden distinta, ahora distorsionada por la modificación genética hecha por los virus. En otras palabras, los virus realizan de forma natural ingeniería genética y lo hacen para reproducirse porque no tienen la capacidad propia para hacer-

⁸² Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 550.

⁸³ Herrera-Estrella, Luis y Martínez Trujillo, Miguel, *op. cit.*, nota 29, p. 177.

lo. Generalmente los sistemas inmunológicos en contra de los virus se activan con un interferón que inhibe la reproducción del virus, sin embargo los vegetales no tienen el sistema inmunológico como otros seres.

En distintos vegetales se han detectado microorganismos que han terminado con cosechas enteras, como el caso de las papayas de Hawai, en la década de los cincuenta, que prácticamente una epidemia del virus de la mancha anular provocó la pérdida de toda la producción.⁸⁴ También los virus del mosaico tanto del tabaco como los del jitomate han provocado grandes pérdidas. El combate a los microorganismos que infectan a las plantas con técnicas genéticas comenzó a principios de la década de los ochenta, cuando, gracias a las investigaciones de Mary-Dell Chilton, se sabía cómo la bacteria denominada *Agrobacterium tumefaciens* se introducía a la célula vegetal e introducía ADN en el núcleo. Sabiendo esto, el doctor Roger Beachy pudo utilizar la *Agrobacterium tumefaciens* como vector, cuya tarea fue introducir material genético de virus de planta a una célula vegetal, lo que provocó la resistencia de la planta derivada del mismo agente patógeno. La célula vegetal, al registrar en su interior los genes virales introducidos, se defiende evitando la expresión de dicho material genético. De esta manera, la planta desarrollada tiene resistencia al virus en cuestión.⁸⁵

Esta efectiva metodología ha dado como resultado vegetales genéticamente modificados con resistencia a algunos agentes virales; además, no altera la calidad del producto y tampoco son perjudiciales si son consumidos. A la fecha se ha modificado tabaco, papaya, calabacitas amarillas, tomates, papas, pepinos y sandías.

D. Plantas resistentes en diversos suelos y ambientes

Tanto las condiciones climáticas, la calidad del suelo, como el suficiente abastecimiento de agua, influyen en la obtención de alimentos de origen vegetal. En esta área, también la biotecnología moderna ha ayudado y promete mucho más con la creación de organismos genéticamente modificados que, por ejemplo, resistan suelos con altas concentraciones

⁸⁴ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 413.

⁸⁵ Fedoroff, Nina, *Mendel in the Kitchen: a Scientist's view of Genetically Modified Foods*, Washington, Joseph Henry Press, 2004, pp. 129-132.

de aluminio o con exacerbada salinidad; asimismo, a la resistencia de las inclemencias climáticas (sequías o heladas) que en ocasiones acaban con cosechas enteras. Parte de la solución a estos problemas es la creación de cultivos con osmoprotección. Esto consiste en que el vegetal por sí mismo genere —en mayor proporción— la suficiente cantidad de azúcares, alcoholes y/o aminoácidos, mismos que sirvan como escudo ante sequías, frío y salinidad. Muchas plantas de forma natural producen osmolitos que las hacen resistentes a ambientes fríos, secos y salinos. Diversos estudios se han encaminado a la solución de esta problemática a través de la biotecnología moderna y se han obtenido resultados favorables insertando material genético de bacteria en los núcleos celulares de las plantas para que produzcan una mayor cantidad de osmolitos y tengan mayor resistencia al estrés ambiental.⁸⁶

Por otro lado, la presencia de aluminio en tierra cultivable es una barrera en la producción agrícola actual, provoca que los suelos se tornen ácidos. En la actualidad, el 40% de la tierra de cultivo padece de este mal, el cual induce toxicidad en algunas plantas que lo absorben por las raíces. Este fenómeno se da principalmente en bosques tropicales lluviosos y de coníferas, generalmente en tierras de países no desarrollados. Bajo este escenario, se han desarrollado organismos genéticamente modificados que tienen mayor tolerancia al aluminio y que pueden crecer sin dificultades en suelos que para otras plantas no modificadas sería imposible.⁸⁷ Los transgénicos de este tipo se desarrollan con la inserción de un *gene* de bacteria que da la tolerancia. A la fecha se han desarrollado maíz, tabaco, papaya y arroz con estas características.⁸⁸

En la obtención de vegetales genéticamente modificados diseñados para que requieran menos agua, además con biotecnología moderna se ha desarrollado una serie de beneficios que creemos prudente anotar. Cabe señalar, en primer término, que sólo 40% de la tierra cultivable funciona con riego artificial, el cual representa 70% del consumo total de agua en el mundo,⁸⁹ evidentemente su uso tiene consecuencias onerosas y negativas al ambiente. El agua de riego tiene costos elevados por su distribución, entre otros gastos, la utilización de combustible contaminante para

⁸⁶ Herrera-Estrella, Luis y Martínez Trujillo, Miguel, *op. cit.*, nota 29, p. 180.

⁸⁷ *Ibidem*, p. 181.

⁸⁸ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 412.

⁸⁹ Miller, Henry I. y Conko, Gregory, *op. cit.*, nota 12, p. 198.

su traslado, además se agota el recurso que se encuentra en el subsuelo y provoca la erosión e incrementa la salinidad del suelo de cultivo. Con la obtención de plantas que requieran menos agua se podrían reducir todos estos factores negativos en costos y ambiente, además se obtendría mayor sustentabilidad en la utilización de los recursos hídricos.

E. Uso de fertilizantes y fijación de nitrógeno en suelos de cultivo

El uso de fertilizantes en la elaboración de cultivos agrícolas es fundamental en la producción final. Los vegetales necesitan de los nutrientes adecuados. Los fertilizantes han colaborado inmensamente en las producciones agrícolas mundiales. El nitrógeno es la fuente primaria que proporciona nutrientes a los vegetales, a pesar de que es el gas más abundante en la atmósfera (80%); para que se encuentre en el suelo y tenga efectos positivos en la agricultura debe pasar por un ciclo que de forma natural fija el gas en el suelo. Sin embargo, no todos los suelos tienen fijado nitrógeno, por ello se han optimizado fertilizantes que fijen el nitrógeno en las tierras cultivables para obtener mejores producciones vegetales.

Los fertilizantes de origen químico contaminan los recursos hídricos que se encuentran en el suelo y subsuelo; afectan el ciclo natural del nitrógeno; existen riesgos en su elaboración como fugas de químicos; incrementa la posibilidad de que se de en la atmósfera el efecto invernadero; además, el consumo que se realiza de energéticos no renovables (petróleo, gas) para la elaboración de los fertilizantes químicos es muy alto.⁹⁰ Por lo anterior, la alternativa de fijar el nitrógeno con fuentes biológicas está jugando un papel fundamental.

Existe una serie de bacterias en los suelos que promueven la fijación de nitrógeno, algunas de ellas viven libremente y otras en simbiosis con algunas plantas, esto es que su existencia es interdependiente y necesitan estar asociadas con otras especies para poder vivir. Cabe destacar que las leguminosas viven en simbiosis con bacterias que fijan nitrógeno en el suelo y la agricultura tradicional conoce esta relación desde tiempos in-

⁹⁰ Montañez, Adriana, "Overview and Case Studies on Biological Nitrogen Fixation: Perspectives and Limitations", *Documentos de la FAO*, consultable en <http://www.fao.org/ag/agl/agll/soilbiod/cases.stm>.

memoriales, lo cual explica la rotación en las cosechas: una temporada siembran no leguminosas y posteriormente leguminosas para que convivan con bacterias que fijan el nitrógeno y así recuperar los nutrientes en la tierra de cultivo.

Una de las soluciones que ofrece la biotecnología moderna —que disminuiría la utilización de fertilizantes en la tierra y reduciría contaminación y gastos de producción— es la obtención de organismos transgénicos que sean capaces de vivir en simbiosis con las bacterias que fijan el nitrógeno. Aún no se ha logrado por la complejidad, desde el punto de vista del material genético que se requiere, al menos veinte genes de las plantas que viven en simbiosis con los microbios están involucrados con la fijación de nitrógeno. Sin embargo, existe la posibilidad de que se produzca este tipo de cultivos transgénicos que finalmente tendrían la capacidad de autonutrirse.⁹¹

F. Análisis de riesgo en este sector

Hemos anotado los beneficios más relevantes de utilizar la biotecnología en el sector agrícola. En general se minimiza el uso de pesticidas químicos, los cuales suelen contaminar el aire y los cuerpos de agua; de igual manera, el ahorro de energía; el combate a plagas y enfermedades en los vegetales; el incremento de las propiedades nutricionales de los vegetales y la disminución de su potencial alergénico; así como la obtención de nuevas variedades resistentes al estrés ambiental. Todo ello contrastado con las desventajas que se supone tienen los transgénicos: el flujo génico en centros de origen, la eliminación de insectos que no son perjudiciales al cultivo, el desequilibrio ambiental por la generación maleza, son algunos de los temas que se utilizan como contraargumentos a la utilización de transgénicos en el sector agrícola. Es importante destacar que nada de eso ha ocurrido, no se ha materializado ninguna de las anteriores hipótesis. A la fecha sólo se trata de posibles riesgos, sin que se compruebe que se hayan dado esos escenarios.

Distintas instituciones se han dado a la tarea de analizar los riesgos en la utilización de la biotecnología en el sector alimentario y han tenido lugares comunes en sus conclusiones:

⁹¹ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 602.

- La biotecnología moderna amplía las posibilidades para la realización de cambios genéticos hechos a organismos para consumo alimenticio, además amplía el potencial en fuentes alimenticias. Sin embargo, ello no significa que los alimentos sean menos seguros que los alimentos desarrollados con técnicas convencionales. Consecuentemente, la evaluación de los alimentos, así como componentes obtenidos de organismos desarrollados por la aplicación de técnicas nuevas no precisa necesariamente cambio en los principios establecidos, ni requiere diferentes estándares de seguridad.⁹²
- Todos los métodos de cruzamiento de plantas pueden inducir efectos inesperados o cambios involuntarios en vegetales, incluyendo efectos pleotrópicos (efecto múltiple en las características de un individuo que produce un gen). No es posible hacer un examen para identificar esos efectos. Alternativamente, la Agencia Administradora de Fármacos y Alimentos de los Estados Unidos de América (FDA) ha solicitado a los productores que examinen si sus productos tienen los nutrientes, tóxicos y otros componentes en las nuevas variedades de plantas, así como los niveles dentro de los rangos para su comercialización.⁹³
- Los métodos de fitomejoramiento tradicional de plantas significan tener que realizar cruces con parientes cercanos y silvestres, y pueden ser muy largos los procesos de cruzamiento hasta que se eliminen las características no deseadas. La particularidad de la tecnología de modificación genética es la inserción de uno o varios genes bien definidos y no la introducción de todo el genoma o partes de los cromosomas como en los métodos tradicionales. Lo anterior provoca que los análisis de toxicidad sean más seguros en plantas transgénicas que en las convencionales, porque están más definidas las nuevas características en las plantas modificadas. Por otro lado, la utilización de la tecnología de modificación genética puede conllevar a la utilización de genes de diversos organismos,

⁹² Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), *Safety Evaluation of Foods Derived through Modern Biotechnology: Concepts and Principles*, París, OCDE, 1993, p. 3.

⁹³ Kessler, D. A. *et al.*, "The Safety of Foods Developed by Biotechnology", *Science*, 26, junio de 1992, pp. 1747-1749.

- algunos de los cuales tienen antecedentes como suplementos alimenticios.⁹⁴
- Las técnicas de ADN recombinante pueden producir organismos que expresen rasgos que no hay en la naturaleza, los cambios genéticos realizados con estas técnicas tendrán frecuentemente más predicibilidad comparadas con las técnicas tradicionales por la gran precisión que las técnicas de ADN recombinante ofrecen. Se espera que cualquier riesgo asociado con las técnicas de ADN recombinante pueda ser asociado en general de la misma forma como aquéllas que estén relacionadas con la modificación del material genético.⁹⁵
 - La metodología de ADN recombinante hace posible introducir una pieza de ADN consistente en uno o varios genes, con una función definida, dentro de una secuencia en el núcleo celular. Con las técnicas clásicas de transferencia genética, un número considerable de genes puede ser transportado. Pero predecir el número preciso de rasgos que han sido transferidos es difícil y no siempre podemos anticipar las características fenotípicas que resultarán. Con organismos modificados por métodos moleculares estamos en una mejor, y tal vez perfecta, posición de predecir la expresión fenotípica.⁹⁶

En referencia a que el consumo de productos agrícolas transgénicos son perjudiciales a la salud y, como conclusión de lo anotado con anterioridad, hay que destacar que todos los vegetales que son para consumo —transgénicos o no— deben pasar por controles sanitarios; en principio, la modificación genética realizada hasta la fecha en los productos agrícolas no incrementa alergenicidad ni toxicidad.

⁹⁴ National Academy of Sciences, *Transgenic Plants and World Agriculture*, Estados Unidos, Academia Nacional de Ciencias, 2000, consultable en <http://www.nap.edu/catalog/9889.html#toc>.

⁹⁵ OCDE (autor corporativo), *Recombinant DNA Considerations. Safety Considerations for Industrial, Agricultural and Environmental Applications of Organisms Derived by DNA Techniques (The Blue Book)*, París, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 1986.

⁹⁶ National Research Council, *Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decisions*, Washington, National Academy Press, 1989.

Sobre el flujo génico debemos anotar en primer lugar que se trata de un proceso que existe en la naturaleza y se puede dar por la polinización de las plantas o en otro tipo de mecanismos. Sin embargo, para que ocurra la polinización, y en consecuencia el flujo génico, en muchos casos, deben reunirse muchos factores tales como la proximidad entre las plantas, la longevidad del polen (puede ser de minutos u horas), sincronización de fertilidad entre el emisor del polen y el receptor y el vehículo que poliniza, viento, insectos o ambos.⁹⁷

En este caso, para que se establezca que existe riesgo debemos entender varios elementos: un primer factor se refiere a la exposición de la planta transgénica con sus familiares silvestres o con otros no transgénico —la mera convivencia de variedades no constituye riesgo—, es decir, la liberación; será posible riesgo si además puede darse la polinización, y aunque se dé, no va a constituir un riesgo si no se comprueban efectos negativos del flujo génico. Por ello, la aseveración de que el flujo génico es “contaminación” sería como decir que un proceso natural es contaminante. Suponiendo sin conceder, ¿qué pasa si el transgén del organismo genéticamente modificado se traslada a un pariente silvestre y no ocurre un impacto significativo en el entorno, es decir no hay efectos contraproducentes? Ahora, hay que destacar que la agricultura tiene muchos efectos negativos al ambiente, como tala de árboles, bosques enteros, selvas, para hacer parcelas, además el uso de pesticidas químicos y costos en traslado de agua. Los transgénicos reducirían significativamente el impacto ambiental que la agricultura por sí misma crea. A cambio de la posibilidad de que fluya material genético, que insistimos no se ha demostrado que suceda y si llegara suceder, sin efectos menos adversos que lo que produce un pesticida químico, pues la balanza se inclina hacia la biotecnología moderna agrícola.

Imaginemos un escenario en el que un campesino de cualquier parte del mundo desea sembrar algún maíz que no hay en su región y decide traer semillas no transgénicas de otra latitud. Él va a incorporar en su producción una especie exótica, que también tiene el posible riesgo de polinizarse y de que se de el flujo génico, la pregunta es ¿cuál es la diferencia entre sembrar un producto exótico y un transgénico? Pues a la luz de estas referencias es lo mismo. Probablemente el campesino que im-

⁹⁷ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 613.

portó esas semillas obtenga buenos cultivos de ese nuevo producto en la región. Pues la agricultura así se generó en buena medida. Los cultivos salieron de sus centros de origen y ahora se producen en todo el mundo.

Otro posible riesgo que los transgénicos agrícolas suponen es la eliminación de insectos que no son nocivos a los cultivos. Sin embargo, algunos pesticidas químicos son perjudiciales a insectos, aves, mamíferos no nocivos para los cultivos y que no estaban previstos. En términos generales, en este sector, la biotecnología es más limpia y respetuosa que otras tecnologías.

4. Sector pecuario

Principalmente se han creado animales transgénicos con la intención de generar biorreactores, es decir, que produzcan proteínas heterólogas para la obtención de biofármacos —como lo analizamos en apartados anteriores— o también con el objeto de obtener tejidos humanos transplantables, asimismo, para la experimentación en ciencias básicas. En teoría, siguiendo el dogma central de la biología molecular, la modificación genética en animales tiene el mismo mecanismo que en los vegetales: recoger material genético que exprese determinada característica e insertarlo en una célula madre para que modifique su material genético. No obstante, en la práctica se han enfrentado distintos escenarios en la modificación del material genético animal que en la vegetal, además la fusión del material genético en el núcleo receptor tiene distintas metodologías y el mayor reto es lograr que el *gene* insertado se exprese en la proteína deseada.

Sin embargo, la incursión de la biotecnología moderna en el sector pecuario también abre muchas posibilidades en la generación de productos que redimensionen la obtención de alimentos de origen animal. La biotecnología moderna aplicada a la elaboración de productos de origen animal abre una serie de posibilidades que van desde la creación de mejores alimentos de consumo animal, la optimización de la medicina veterinaria, con una rama genómica que combata enfermedades, previniéndolas o curándolas; el mejoramiento de especies, con la intención de obtener animales de sacrificio y consumo humano de mejor calidad, más saludables, así como productos derivados de dichos animales con mejoras nutricionales.

La biotecnología moderna también aporta una infinidad de aplicaciones en la obtención de productos de origen animal, tales como los productos cárnicos, de res, cerdo, cordero, pollo, guajolote y todas sus variables; así como sus derivados más usuales, los productos lácteos, leches, yogures, quesos, de igual manera, el huevo.

Como primera aplicación tenemos el caso de la alimentación en animales, el cual es un factor determinante en la obtención de mejores ejemplares. Los animales también precisan de todos los elementos de nutrición para obtener mejor calidad en los productos que ofrecen, así como sus derivados. En este sentido, la biotecnología moderna ofrece la elaboración de alimentos transgénicos para consumo animal con mayor potencial nutrimental, incrementando su elaboración tanto en cantidad como en calidad. La correcta alimentación animal es un asunto de salud pública, debe ser minuciosamente inspeccionada y procurar que sea satisfactoria para el consumidor final.

Otra aplicación que promete dar buenos resultados, la encontramos en el área de la sanidad animal. Las enfermedades animales también han sido un obstáculo en la producción y han representado enormes pérdidas en el sector pecuario. El caso del brote de la gripe aviar ha afectado a muchos productores de aves de corral en parte de Asia, provocando el sacrificio de muchos animales y las pérdidas millonarias en la producción de carne blanca.⁹⁸ La medicina veterinaria también puede utilizar las herramientas de la genómica y de la ingeniería genética para el diagnóstico y prevención de enfermedades hereditarias animales, así como degeneraciones; de igual manera ofrece la posibilidad de obtener biofármacos: medicinas o vacunas para el control y erradicación de epidemias animales.

Por otro lado, el mejoramiento de especies puede lograrse con la aplicación de la biotecnología moderna. Su uso promete la obtención de alimentos de mejor calidad, así como el incremento en la producción. La selección de los individuos que posean mejores características para la producción de alimentos de origen animal y su posterior clonación también es de mucha utilidad en el sector pecuario. Permite obtener copias de animales idénticos con características del más alto valor productivo.

⁹⁸ Información recabada en la página oficial de la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO) http://www.fao.org/ag/againfo/subjects/es/health/diseases-cards/avian_bg.html.

Un ejemplo de lo anterior consta en la elaboración con biotecnología de hormonas de crecimiento animal utilizadas en bovinos. Con ello se ha logrado la obtención de mayores rendimientos en el crecimiento de especies y mayor producción de leche. En el caso de las vacas lecheras, con la inyección mensual de esta hormona se incrementa la producción de leche de 15% a 25%, sin que tenga afectación en el producto final. En lo que se refiere a la carne se estima lograr hasta un incremento del 40% de producción y con un producto final menor en grasa, en colesterol y con más proteína.⁹⁹ Todo ello contendría a la necesidad de tener una mayor producción de insumos de origen animal y de buena calidad.

Otro ejemplo que creemos prudente destacar es la utilización de la ingeniería genética para silenciar al gene que codifica para la miostatina, proteína responsable del crecimiento de la masa muscular. Con la inhibición de este *gene* se han obtenido resultados asombrosos en el crecimiento de bovinos. La vaca “azul belga” tiene el potencial de crecimiento al doble de su tamaño normal, su crecimiento es muscular y los resultados se reflejan en animales con más músculo y con menos grasa.¹⁰⁰ La inhibición de este gen también se está experimentando en porcinos, en aves de corral¹⁰¹ y en peces.

Análisis de riesgo en este sector

El uso de la biotecnología en el sector pecuario frente a las tecnologías convencionales ofrece, asimismo, grandes ventajas. Los posibles riesgos identificados en este sector no son mayores a los riesgos que presentan las producciones convencionales que tienen más relación con el proceso de elaboración del producto que con el producto mismo. Esto es, que las me-

⁹⁹ Barrera Saldaña, Hugo, “La biotecnología en el sector pecuario”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica, 2002, pp. 223-241.

¹⁰⁰ McPherron, Alexandra C. y Lee, Se-Jin, “Double Muscling in Cattle Due to Mutations in the Myostatin Gene”, *Proceeding of the National Academy of Sciences*, vol. 94, noviembre de 1997, pp. 12457-12461.

¹⁰¹ Fuminori, Sato *et al.*, “Gene Silencing of Myostatin in Differentiation of Chicken Embryonic Myoblasts by Small Interfering RNA”, *Am J Physiol Cell Physiol*, 291: C538-C545, 2006.

didadas sanitarias en el sector pecuario deben tener el mismo rigor en animales transgénicos que en no transgénicos. La enfermedad llamada de las “vacas locas” (encefalopatía espongiiforme bovina) tiene su origen en la mala alimentación del ganado —compuesta por tejidos bovinos de cerebro y espina dorsal contaminadas— y afecta directamente el sistema nervioso central de los animales que han consumido esos alimentos.¹⁰²

La propia naturaleza de los productos animales elaborados con biotecnología moderna no presenta riesgos por su consumo a la salud humana. Sin embargo, es necesaria la instrumentación de evaluaciones y controles sanitarios.

5. Sector de la acuicultura

Ha pasado una gran cantidad de años desde que fue rebasada la concepción *Mare Liberum*, misma que, a grandes rasgos, tenía la idea de que la grandeza y los recursos del mar eran, *per saturam*, inagotables. Por otro lado, Selden¹⁰³ lo entendió como *Mare Clausum*, que comprende al mar como algo finito, y así es. Anualmente está disminuyendo la producción pesquera debido a la alta explotación que realizan los buques-fábrica y todas las enormes flotas de pesca mundiales, además la sobreexplotación de ciertas especies es perjudicial para todas, porque se van fracturando las cadenas alimenticias.¹⁰⁴ Por otro lado, el sector de la acuicultura ha tenido avances enormes representados en el crecimiento anual de aproximadamente 8% al año desde la década de los cincuenta hasta ahora.¹⁰⁵

La acuicultura es la obtención, mediante la crianza y el mejoramiento, de distintas especies de peces, crustáceos, plantas acuáticas, anfibios y reptiles, moluscos y otros invertebrados para su consumo. En la acuicul-

¹⁰² Información recabada en la página oficial de la Organización Mundial de la Salud (OMS) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs113/en/>.

¹⁰³ Gómez Robledo, Antonio, *op. cit.*, nota 39, p. 120.

¹⁰⁴ Gracia Gasca, Adolfo, “Biotecnología marina y acuicultura”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.) *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica, 2002, pp. 211-222.

¹⁰⁵ FAO, *State of World aquaculture: 2006*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2006, p. 1. Consultable en ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/t500_advanced/advanced_t500e.pdf.

tura, como las otras actividades productivas, la biotecnología moderna también encuentra un enorme elenco de aplicaciones, siguiendo el mismo trazo de mayor producción, menores costos. En este sector pueden aplicarse también procedimientos biotecnológicos tendientes a obtener:

1) mejoramiento de las tasas de crecimiento; 2) incremento de las tasas de supervivencia transfiriendo mecanismos y desarrollando nuevas drogas para contender e incrementar la resistencia a enfermedades y organismos patógenos; 3) control de la reproducción, maduración, diferenciación sexual y esterilidad; 4) adaptación a diferentes condiciones ambientales, tales como resistencia a bajas temperaturas o diferentes salinidades; 5) incremento de la calidad nutricional de los peces; 6) mejoramiento de la eficiencia de conversión de alimento.¹⁰⁶

Una gran variedad de líneas de investigación se lleva a cabo para lograr los propósitos arriba descritos. Por ejemplo, se están identificando genes de la miostatina en trucha arco iris¹⁰⁷ para obtener peces muscularmente más grandes; también en salmón se está analizando la posibilidad de que tengan resistencia a la congelación; la trucha café, el abulón, el ostión, la carpa, el bagre de canal, para que tengan mayor tasa de crecimiento; la lobina rayada, para que aumente su resistencia a enfermedades. Pero resalta el supersalmón como uno de los casos exitosos de la biotecnología moderna en este sector que es un pez transgénico que se obtuvo para aumentar la producción y fue logrado con la inserción de un *gene* que promueve la producción de hormonas del crecimiento. De esta manera, el supersalmón —al lado de sus parientes silvestres— crece entre dos y seis veces más rápido, y es hasta trece veces mayor.¹⁰⁸

¹⁰⁶ Gracia Gasca, Adolfo, “Peces transgénicos en acuicultura; el caso del supersalmón”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2004, p. 659.

¹⁰⁷ Dilip K. Garikipati *et al.*, “Identification, Characterization, and Quantitative Expression Analysis of Rainbow Trout Myostatin-1a and Myostatin-1b Genes”, *Journal of Endocrinology*, 190, 2006, pp. 879-888.

¹⁰⁸ Gracia Gasca, Adolfo, *op. cit.*, nota 104, p. 667.

Análisis de riesgo en este sector

En lo que respecta a la utilización de organismos genéticamente modificados para alimento humano, las normas de control sanitarias aplican de igual manera, sin distinción, ni trato diferente. Sin embargo, la mayor preocupación es que las especies nuevas escapen de sus lugares confinados, provocando que se alteren las cadenas tróficas en cuerpos de agua, asimismo, que sus parientes silvestres desaparezcan por dominio de los transgénicos. No obstante, todo ello es hipotético y las nuevas variedades creadas en las granjas de acuicultura tienen los mismos riesgos de filtrarse a un ambiente natural. En este sentido, los riesgos en este sector no se incrementan significativamente con el uso de biotecnología moderna. Éste es el punto de los análisis de riesgo en estos apartados: no se genera mayor riesgo que el que existe actualmente y sin embargo ha habido más beneficios.

En todo caso hay que realizar en cada situación una evaluación de riesgos. Sin embargo, se debe trabajar en un principio en ambientes confinados, experimentales y controlados para que ninguna de las posibilidades negativas se produzca, tales como el escape de algún espécimen en ambientes naturales y su reproducción provoque la eliminación de otros individuos.

6. Energía y biorremediación

Uno de los grandes retos de la humanidad es disminuir la contaminación del aire, del agua, del suelo, por la emisión de sustancias que han provocado desde la eliminación de cualquier forma de vida hasta el calentamiento global. Otro reto es la sustitución de fuentes no renovables para generar energía; la utilización de minerales fósiles para la generación de energía eléctrica es una industria que en un mediano plazo va a sucumbir, las reservas mundiales de gas natural y petróleo necesitan ser desplazadas por fuentes de energía alternativas. Asimismo, la emisión de gases tóxicos debe encontrar soluciones para que se disminuya su potencial destructivo. Los suelos también están en declive ambiental por las descargas de metales que provocan que la tierra no tenga utilidad alguna. Por su parte, también es de suma importancia el tratamiento adecuado a las aguas residuales. Todos estos problemas pueden ser combatidos con

técnicas basadas en la biotecnología moderna, con la creación de microorganismos (biorremediación) o plantas (fitorremediación) genéticamente modificadas capaces aumentar su potencial para degradar contaminantes específicos. La generación de energía a través de la biomasa es una alternativa renovable que está cobrando auge y con métodos biotecnológicos se pueden obtener muy buenos resultados. También, es posible la obtención de biofiltros que reduzcan las emisiones de gases nocivos que existen; consistente en la utilización de microorganismos para remover de los suelos agentes contaminantes que lo han denigrado, y, de igual manera, se puede lograr un mayor control y tratamiento de aguas residuales y contaminadas.

Existen muchas alternativas renovables para generar energía, se estudia la posibilidad de obtener energía con fuentes eólicas, solares o biomasa utilizada como una forma para crear biocombustibles. Esta última opción, que consiste en la generación de energía a través de materia orgánica, puede ser impulsada ampliamente con la utilización de biotecnología. Existen muchos ejemplos de estos biocombustibles alternos que prometen ser una solución a la inminente reducción de reservas internacionales de petróleo: el bioetanol, el biogas, el biodiesel. Estas opciones, además de ser menos onerosas, reducen considerablemente las emisiones de gases nocivos a la atmósfera, 57% menos de monóxido de carbono, por ejemplo. El bioetanol se puede lograr con maíz, caña, soya, extrayendo sus nutrientes que se convierten en azúcares y luego se transforma en el biocombustible.¹⁰⁹

Por otro lado, las emisiones de gases que han provocado lluvias ácidas, efectos de invernadero y calentamiento global, también pueden reducirse con técnicas biotecnológicas, las cuales ya están en uso a través de biofiltros en fuentes fijas de contaminación del aire. La utilización de microorganismos que transforman algunos contaminantes aéreos en agua o dióxido de carbono están sustentados en procesos biotecnológicos que complementan a otros procesos. Se han señalado muchas ventajas del uso de biofiltros en virtud de ser tecnologías más limpias, de bajo consumo energético, no se trabaja con sustancias peligrosas y son de bajo costo.¹¹⁰

¹⁰⁹ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 644.

De igual forma, con la aplicación de procesos biotecnológicos se puede enfrentar el tratamiento de aguas contaminadas. Es muy importante generar conocimiento en microbiología para el diseño de microorganismos que procesen los contaminantes y que, consecuentemente, se reutilice el agua que se contaminó o por lo menos no se hagan cuerpos de agua inútiles que generan contaminación, que implican potenciales riesgos a la salud y al ambiente. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales o contaminadas, consisten en utilizar:

Microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante y con ello, la eliminan del agua en forma de nuevas células o de gases, que pueden separarse más fácilmente del agua en tratamiento. Se puede considerar que las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en estos procesos son las mismas que se realizan en el medio natural (río, lago, suelo, etcétera), sólo que en forma controlada dentro de tanques o reactores y a velocidades de reacciones mayores.¹¹¹

Tanto en los biofiltros de aire como en las plantas de tratamiento de aguas contaminadas el papel de los microorganismos es fundamental. Diversas investigaciones han aislado y caracterizado los genes que provocan la biocatálisis, es decir, la transformación química a través de vehículos biológicos, de diversas sustancias contaminantes, tales como hidrocarburos y otros agentes químicos y biológicos contaminantes. Con ellos se pueden obtener microbios, productos de la ingeniería genética, que incrementen su potencial transformador y reduzcan la contaminación.¹¹²

En el área de la biorremediación de suelos también la biotecnología moderna puede ser utilizada tanto en microorganismos o en plantas que extraigan metales o cualquier contaminante y se restaure su composición. Muchas bacterias viven en lugares en que no puede haber otra forma de vida, por ejemplo en lugares de altas temperaturas, con grandes cantidades de sulfuros o de hidrocarburos, su resistencia a estos ambientes adversos se debe a las enzimas que producen. Por ejemplo, los mi-

¹¹¹ Noyola Robles, A., “Una experiencia en el desarrollo de tecnología biológica para el tratamiento de aguas residuales”, en Bolívar Zapata, Francisco (coord.), *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2004, p. 600.

¹¹² Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 647.

croorganismos que viven en lugares ricos en minerales fósiles tienen la capacidad de vivir en ese ambiente y utilizan al mineral como alimento, gracias a sus enzimas.¹¹³ Con ese conocimiento, la biotecnología puesta en marcha puede generar grandes beneficios en suelos contaminados con hidrocarburos. Las plantas procesadoras de petróleo, gaseras y muchas industrias que dejan en su entorno suelo y subsuelo destruidos.

Otro proceso que actúa con los mismos patrones, pero utilizando plantas, es el llamado de fitoextracción. Se obtienen plantas genéticamente modificadas que tengan la capacidad de procesar, como los microbios, los contaminantes que están propagados en el suelo, no sólo hidrocarburos, metales y muchos más desechos que son generados por la industria y que han impactado fuertemente al ambiente.

Con estos métodos de limpieza biológica —biorremediación, fitoextracción y biofiltros— que resultan más económicos y menos contaminantes, se están rebasando las prácticas como la incineración o la utilización de solventes químicos para realizar limpiezas. Ésta es otra de las ventajas de tener como soporte de la industria a la biología y sus procesos naturales, los cuales prometen un futuro de reciclaje total de desperdicios y, consecuentemente, un ambiente más sano.

Análisis de riesgo en estos sectores

En estos sectores la ponderación entre riesgo y beneficio se inclina más a la utilización de técnicas de biotecnología moderna. Ofrece su uso responsable grandes ventajas con respecto a las tecnologías actuales. Sin embargo, en el caso de la biorremediación existe, igual que en otros sectores, que la exposición de organismos genéticamente modificados tenga resultados adversos, igual que los tendría cualquier planta que no tuviera modificado su material genético. Ahora bien, la biorremediación se aplica para lugares que están contaminados por distintos tipos de fuente, metales, desechos, y la extracción de esos contaminantes es benéfica para los suelos, esto significa reparar lo destruido. En términos generales resulta la aplicación de estas técnicas mucho más óptima que los riesgos

¹¹³ Toda una industria basada en enzimas se está generando con productos como detergentes, textiles, bebidas, comida, todos absolutamente biodegradables y usando biotecnología.

que representan. Empero, y como en todos los demás sectores, la evaluación debe ser realizada rigurosamente caso por caso.

7. *Riesgo y seguridad*

Como ha quedado apuntado en este trabajo, toda tecnología tiene riesgos. Asimismo, los riesgos siempre están presentes en mayor o menor medida dependiendo de diversos factores que provocan que se incrementen o que disminuyan. El riesgo es la proximidad de daño y ninguna tecnología tiene riesgo cero. La existencia del riesgo depende básicamente de dos elementos: peligro y exposición. En primer término, el peligro de sufrir algún daño: la peligrosidad de algo depende del grado de perjuicio que pueda provocar; el otro elemento que debemos contemplar es la exposición al peligro: qué nivel de contacto se tiene con el peligro. Así, peligro y exposición son elementos intrínsecos al riesgo, y la falta de uno de ellos significa la inexistencia de dicho riesgo, entendiendo que si no hay algún elemento definido estamos en presencia de posibles riesgos. Por ejemplo, viajar en avión tiene riesgos, hay peligro de que fallen los motores, de que caiga una tormenta. Sin embargo, si uno no se sube a un avión, es decir, no existe exposición, entonces no existe ningún riesgo. En estos términos, el riesgo puede ser medido dependiendo la peligrosidad de algo, así como la cantidad de exposición.¹¹⁴

Otro elemento que debemos tomar en cuenta para hacer la ponderación del riesgo es la seguridad. Este factor puede reducir la peligrosidad de algo, sin que bajen los niveles de exposición. En otras palabras, la seguridad divide la posibilidad de peligro y de exposición. Volviendo al ejemplo del avión, si uno se sube a un avión están presentes ambos elementos —peligro y exposición—, es decir, hay riesgo. Sin embargo, éste es reducido por las medidas de seguridad, motores infalibles, rutas seguras, pronósticos del tiempo, cinturón de seguridad y una serie de datos y de medidas que reducen los riesgos significativamente hasta su mínima proximidad. De esta manera la posibilidad de sufrir un accidente en avión es muy baja.

¹¹⁴ Kreuzer, Helen *et al.*, *op. cit.*, nota 7, p. 449.

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Peligrosidad} \times \text{Exposición}}{\text{Seguridad}}$$

En la fórmula anterior podemos esquematizar el manejo del riesgo, dando un valor al peligro, multiplicado por otro valor dado a la exposición y dividido por un tercer valor dado a la seguridad, lo cual nos da como resultado el nivel de riesgo. Si tomamos en cuenta que los valores son 1, 2 y 3, en los cuales 1 es el valor menor y 3 el valor mayor, suponiendo que la peligrosidad es alta (3) y la exposición es alta también (3), y no hay seguridad, el 9 será el valor más alto que pueda tener el riesgo. Si, por otro lado, a esa misma operación le añadimos un valor de seguridad 3, entonces el riesgo se reduce a 3. Lo que significa que a niveles altos de peligrosidad y exposición corresponde un nivel alto de seguridad, lo que disminuye el riesgo. Si un transgénico tiene la peligrosidad a la salud humana representada en 1, y su consumo es alto 3 (exposición) y tenemos medidas de bioseguridad 2, entonces el riesgo es considerado con un valor de 1.5.

En términos generales, dentro de los distintos sectores que analizamos, la biotecnología moderna tiene más peso en los beneficios que en los riesgos. Con el ejercicio anterior se pueden manejar los posibles riesgos que pueden tener los organismos genéticamente modificados en las áreas de la bioseguridad. Como ejemplo, el riesgo que tiene consumir un vegetal producto biotecnológico, aquí se está en presencia de la exposición y del peligro. Si se ha comprobado que el vegetal en cuestión no tiene propiedades tóxicas o alergénicas derivadas de la modificación genética, esto es, existe un nivel alto de seguridad y un nivel bajo de peligro, en consecuencia se puede exponer a él consumiendo. De la misma forma sucede en el área de la salud animal y de la salud vegetal, si es posible la exposición, sin que haya un nivel de peligro alto, el riesgo está disminuido.

En el ambiente se puede también realizar esta metodología de manejo de riesgo. La posibilidad de que un organismo genéticamente modificado tenga efectos adversos y constituya un riesgo se puede medir en función de su peligrosidad ¿Cuál es el verdadero peligro de liberar al ambiente un transgénico?, ¿cómo se puede medir su peligrosidad si se expone al ambiente o si realmente existe esa peligrosidad? Los efectos que pueda tener un vegetal transgénico al ambiente son equiparables a liberar un ve-

getal exótico, que en muchos casos no es tan perjudicial como se supone. Más aún, como no existe identificada la peligrosidad latente de liberar al ambiente un organismo genéticamente modificado, entonces la falta de un elemento (peligro) reduce la categoría del riesgo a un posible riesgo.

Sin embargo, como por regla general no existe el riesgo cero y no podemos descartar la existencia de posibles riesgos que toda tecnología tiene, por ello es necesaria la existencia de mecanismos que minimicen los riesgos en la salud humana, animal, vegetal y al ambiente. Estos mecanismos, que tienden a conciliar la utilización de la biotecnología con la producción, armonizados con la protección a las áreas señaladas son la materia denominada bioseguridad. La bioseguridad de organismos genéticamente modificados son los preceptos, normas e instituciones creadas para fijar los lineamientos necesarios para evaluar —en lo particular, caso por caso—, en cada sector, la posibilidad que tiene un producto biotecnológico para incorporarse en el mercado.

8. Políticas de precaución en materia de bioseguridad

Dado que la bioseguridad tiene un amplio campo de protección, cada producto biotecnológico, dependiendo su naturaleza, debe pasar por distintas evaluaciones de riesgo, si es que se pretenden realizar producciones a gran escala. Los bienes jurídicos tutelados —salud humana, animal, vegetal y el ambiente— deben estar contemplados por separado en las distintas evaluaciones. La idea es incrementar los niveles de seguridad para reducir los posibles riesgos, sin que se censure la biotecnología moderna. Se pueden llevar a cabo políticas públicas permisivas o restrictivas, sin embargo la fundamentación en la toma de decisiones debe sustentarse en hechos científicos y no políticos o emocionales. La autoridad administrativa —sanitaria o ambiental— puede decidir no otorgar algún permiso o autorización por influencia social, de organizaciones, y ello iría en perjuicio del avance en este rubro.

Bajo el principio precautorio se han diseñado distintas estrategias de políticas públicas en todo el mundo. Como todo principio tiene la plasticidad interpretativa, y ello explica cómo existen modelos distintos de bioseguridad. Desde los permisivos hasta los más restrictivos, la bioseguridad o seguridad en la biotecnología ha acumulado sendos debates en torno a sus áreas de protección. El principio precautorio establecido en el numeral 15 de la Declaración de Río de Janeiro de 1992 establece que:

Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente.

Para los opositores a la biotecnología este principio significa la cancelación de toda actividad relacionada, argumentando “mejor seguridad que lamentarse”, si no hay exposición, no hay riesgos. La falta de soporte científico o la ausencia en la identificación de algún peligro no es argumento válido para continuar con alguna tecnología, esto es, que si no existe certeza científica sobre algún riesgo, la tecnología no es viable. Sin embargo, si se tiene una óptica radical de ello no habría ninguna tecnología existiendo, y evidentemente ningún beneficio. Las políticas públicas totalmente restrictivas pueden llegar a ser contraproducentes para el desarrollo de un país. Además, hay que tomar en cuenta que el principio habla de la existencia de riesgo, “haya peligro”, y a la fecha no está identificado ningún peligro, elemento esencial. Por lo mismo nos hemos referido a la posibilidad de riesgos en materia de organismos genéticamente modificados.

Al menos podemos identificar cuatro estadios en las políticas públicas actuales que regulan a los productos biotecnológicos. Una primera categoría son las políticas promocionales, que son las más permisivas, ya que aceptan la utilización de productos biotecnológicos que, comparativamente, son permitidos en otros países; una segunda visión la tenemos con las políticas permisivas, que caso por caso no han detectado ningún riesgo; un tercer enfoque corresponde a las políticas públicas precautorias, las cuales son restrictivas ante la falta de certeza científica o ante riesgos demostrados, debido a la novedad de los productos biotecnológicos; una última categoría son las políticas públicas preventivas, en las cuales no hay riesgos, porque simplemente no hay exposición alguna a los productos biotecnológicos, no hay evaluación ni siquiera caso por caso, se asume riesgo por los procesos de obtención (ADN recombinante).¹¹⁵

Otra forma de ver el principio precautorio con una lógica más permisiva, en la cual exista una posición más moderada y se obtengan beneficios, sin olvidar la seguridad, es la creación de mecanismos que concilien

¹¹⁵ Paarlberg, Robert L., *The Politics of Precaution: Genetically Modified Crops in Developing Countries*, Estados Unidos, The International Food Policy Research Institute, 2001, p. 25.

estos elementos (peligro, exposición y bioseguridad). Por ello se han desarrollado otros principios que imperen para que se reduzcan los riesgos o los posibles riesgos. Estos subprincipios son el de caso por caso, paso por paso y monitoreo.

Sin embargo, consideramos que las políticas públicas al respecto deben ceñirse a casos concretos, en lo individual y bajo fundamentos científicos. En primer lugar, considerando qué clase de organismo genéticamente modificado es el que se pretende incorporar al mercado o liberar al ambiente, y en qué sector se encuentra; cuáles fueron las modificaciones genéticas realizadas; asimismo, si se trata de un microorganismo, una planta, un animal; qué posibles riesgos o riesgos tiene a la salud humana, animal, vegetal o el ambiente. Todo ello obedece a la instrumentación del principio llamado “caso por caso”, el cual se entiende como la evaluación individual que se tiene que hacer en cada situación. Cada organismo genéticamente modificado tiene características propias, particulares, sus efectos son distintos en todos los casos.

El principio de paso a paso repercute en otra serie de medidas que se deben tomar en cuenta antes de colocar un producto biotecnológico en el mercado. En primer término, se debe constatar su inocuidad alimentaria y posteriormente la liberación progresiva al ambiente del organismo genéticamente modificado, hasta que se observe que su comportamiento no constituye efectos adversos en las áreas de la bioseguridad. En una primera etapa experimental, los transgénicos deben estar confinados en laboratorios, estanques, invernaderos, bajo ambientes controlados, dependiendo, en concordancia con el principio de caso por caso, de la naturaleza propia del organismo genéticamente modificado. Otra importante medida que se debe adoptar es el monitoreo, que consiste en la vigilancia constante de los organismos genéticamente modificados, aunque esté permitida su liberación intencional en el ambiente y demostrada su inocuidad alimentaria.