

Biotecnología: generalidades, riesgos y beneficios

Gloria M^a Romero Vázquez

2008

ÍNDICE

- 1. QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA**
- 2. INGENIERÍA GENÉTICA: CONCEPTO Y APLICACIONES GENERALES**
 - 2.1 PARA QUÉ SE UTILIZA LA INGENIERÍA GENÉTICA**
- 3. LOS MICROORGANISMOS Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS**
 - 3.1 MICROBIOS COMO ALIMENTOS**
 - 3.2 BIOMOLÉCULAS**
 - 3.3 EDULCORANTES**
- 4. DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS MEDIANTE LA BIOTECNOLOGÍA**
- 5. RIESGOS DE LA BIOTECNOLOGÍA**
 - 5.1 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA**
 - 5.2 RIESGOS AMBIENTALES**
- 6. BENEFICIOS DE LA BIOTECNOLOGÍA**
- 7. BIOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA**
- 8. CONTROL DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA**
 - 8.1 DETECCIÓN DE AGENTES NOCIVOS EN LO ALIMENTOS**
 - 8.2 TRAZABILIDAD DE LOS ORGANISMOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE**
 - 8.3 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES**
- 9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**
- 10. BIBLIOGRAFÍA**

1. ¿QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA?

Podemos entender por biotecnología la serie de procesos industriales que implican el uso de organismos vivos, bien sean plantas, animales o microorganismos. La biotecnología es la nueva revolución industrial. La idea que subyace en ella es sencilla: por qué molestarse en fabricar un producto cuando un microbio, un animal o una planta (los verdaderos protagonistas de la biotecnología) pueden hacerlo por nosotros. Así, se pueden lograr desde combustibles a medicinas, pasando por plásticos, alimentos, vacunas, recursos minerales, etc. Millones de años de evolución les capacitan para ello. Existen microorganismos para todo: los hay que son capaces de vivir en agua hirviendo, y los que habitan hielo, pasando por los que existen en el interior de la corteza terrestre. Son capaces de comer petróleo, madera, plástico, e incluso rocas sólidas.

Pero pese a todo, no siempre es fácil encontrar el organismo o célula adecuados para producir un determinado producto. No hay problema: se crean. Para ello la biotecnología cuenta con una poderosísima herramienta, la ingeniería genética. En muchas ocasiones, la propia biotecnología se confunde con ella.

Productos biotecnológicos inundan nuestra vida ya. No hay que esperar al futuro. Es verdad que los más célebres y comercializados son los que atañen a la salud: insulina, linfocinas, interferón, hormona del crecimiento, eritropoyetina, factores de coagulación sanguínea, múltiples vacunas, antibióticos, vitaminas, etc. Pero también hay insecticidas, combustibles renovables, cultivos resistentes, plantas y animales mejorados en su producción, sistemas de control de la contaminación, colorantes, alimentos para ganado, etc. Y muchos más que pronto se comercializarán. La prueba del brillante futuro que aguarda a la biotecnología es el que empresas como Shell, Exxon, Glaxo, Standard Oil, Unilever, y muchas otras, cuentan con su propia división biotecnológica en la que invierten grandes sumas.

¿Qué relación tiene la biotecnología y los alimentos?

Todos los alimentos que consumimos en nuestra dieta tienen un origen animal o vegetal. Una pata de pollo o la lechuga de nuestra ensalada son alimentos que consumimos directamente, sin ningún otro proceso que no sea la elaboración culinaria, y su origen es animal o vegetal. Pero, hay otros alimentos que, partiendo de una primera materia de origen vegetal o animal, necesitan una transformación microbiana para generar el producto final. En este caso se encuentran los *alimentos fermentados* como el yogurt o el pan. En el primer

caso, a partir de la leche, un producto de origen animal, unas bacterias producen el derivado lácteo. En el segundo, una levadura transforma la harina de trigo, un derivado vegetal, en la producción del alimento. Podemos llegar a la conclusión que la producción de alimentos, ya sean de consumo directo o fermentados, es un proceso biotecnológico, ya que intervienen organismos vivos.

Después de hacer estas consideraciones, podemos definir la biotecnología de los alimentos como la parcela de la biotecnología que se ocupa, específicamente, de los procesos agroalimentarios. Si nos atenemos a ésta definición, el hombre ha practicado la biotecnología de los alimentos desde los inicios de la civilización.

2. INGENIERÍA GENÉTICA: CONCEPTO Y APLICACIONES GENERALES

En julio de 1980, diecisiete voluntarios recibieron inyecciones de insulina en el Hospital Guy de Londres: se trataba de las primeras personas a las que se administraba una sustancia elaborada mediante técnicas de ingeniería genética. Dos años más tarde, la insulina procedente de cultivos bacterianos recibía autorización para administrarlo regularmente a humanos; fue el primer compuesto logrado mediante organismos modificados genéticamente. Finalmente se demostró que los microorganismos pueden producir proteínas extrañas a ellos, y que éstas son de uso tan seguro para el hombre como las originales.

La ingeniería genética no es otra cosa que introducir información genética nueva en un organismo para dotarlo de capacidades que antes no tenía. Para ello hay diversos procedimientos, no sólo uno. Pero podemos afirmar que toda aplicación biotecnológica de la ingeniería genética consta de cuatro operaciones principales: obtención del gen en cuestión; introducción del mismo en el organismo elegido; su inducción para que elabore su proteína; y, al acabar, la recogida del producto.

Una molécula de ADN contiene cientos, miles de genes. No poseemos técnica alguna que nos permita distinguir entre uno y otro. Por tanto, el aislar al gen debe partir de su producto. El más inmediato es el ARNm. Se seleccionan aquellas células en las que el gen se exprese en mayor cuantía, y de ellas se aísla el correspondiente ARNm. Existen diferentes métodos que permiten efectuarlo. Ahora hay que convertir la información almacenada en el ARNm en un fragmento de ADN. Hasta hace pocos años, no se sabía cómo lograrlo; pero las transcriptasas inversas de los virus han sido la herramienta definitiva. Una

vez efectuado, se emplean ADN polimerasas para convertir el filamento sencillo de ADN en un segmento de doble hélice. A éste se le denomina ADN copia o complementario (ADNc) y es el objetivo final de la primera etapa.

Una vez conseguido el ADNc correspondiente, se introduce en un plásmido. Normalmente se usa uno que confiera resistencia a algún o algunos antibióticos. Las enzimas que catalizan tal proceso son las enzimas de reducción, de las que se conocen unos trescientos tipos distintos, cada una con capacidad para reconocer una secuencia específica de bases en el ADN. Una de sus propiedades es no cortar los dos filamentos del plásmido en el mismo punto, sino que lo hacen con un desfase de cuatro bases. Así quedan extremos “pegajosos”, en los que se puede unir el ADNc. La actuación posterior de una ligasa asegura dicha conexión y hace que la molécula recombinante sea estable.

Ahora se puede introducir el plásmido recombinante en la bacteria, y una vez dentro, el plásmido se reproduce, y con él el ADNc. Cuando la bacteria se divide, puede legar copias a las dos bacterias hijas, aunque también es posible que sólo una se quede con todas. De entre todas las bacterias, hay que identificar cuáles portan plásmido recombinante. Se suele hacer adicionando aquellos antibióticos ante los que el plásmido confiere resistencia. De entre las bacterias con plásmidos recombinantes, algunas portarán un ADNc que no sea el del gen buscado. Mediante anticuerpos marcados radiactivamente se identifica qué cepas sí producen la proteína deseada.

No basta con esto, hay que lograr que el gen se exprese en el microorganismo. En este sentido nos enfrentamos a una dificultad: el control génico en procariotas es muy diferente del de eucariotas: un gen eucariota incluye tanto intrones (secuencias no codificantes, presumiblemente reguladoras) como exones (segmentos codificantes) en su ARNm; así, las secuencias reguladoras no serían entendidas como tales por la bacteria, que las transcribiría tal y como, resultando una proteína inadecuada. Por ello, el ARNm que se debe usar es ARNm maduro. También se suelen insertar, con él, secuencias de control bacteriano que indiquen que el microorganismo ha de expresar la proteína que sigue a dicha secuencia, de manera ininterrumpida.

Finalmente, algunas bacterias tienen modos de exportar sustancias al exterior a través de sus cubiertas, y así se puede inducir a que lo hagan con los productos recombinantes. Pero a veces hay que lisar la bacteria y extraer la proteína adecuada.

La ingeniería genética resultó profundamente modificada con el descubrimiento de la estructura de los genes eucariotas, a base de intrones y exones. Así,

fragmentando el ADNc en varios trozos y reempalmándolo al azar, es posible construir proteínas completamente inéditas.

2.1 ¿Para qué se utiliza la Ingeniería Genética?

Una utilidad de la ingeniería genética es el empleo de enzimas en lugares, y para propósitos, muy diferentes. Así, un producto biológico puede aparecer en un detergente, en un proceso industrial metalúrgico, etc. Pero muchos de los enzimas tienen el inconveniente de desnaturalizarse en condiciones relativamente duras. La ingeniería genética permitirá modificarlos para lograr versiones más resistentes, más adecuadas a las condiciones químicas, térmicas, de pH, etc, en las que va a actuar en la industria. Para conseguirlo, una de las técnicas más útiles va a ser la mutagénesis puntual dirigida, que consiste en mutar un gen en un punto específico, de modo que la proteína difiera ligeramente de su versión natural.

La ingeniería genética también es útil en la identificación inequívoca de un individuo a partir de su patrón genético. Cuando se toma el ADN de una célula y se somete a la acción de enzimas de restricción, se obtiene una colección de fragmentos de todos los tamaños posibles. Una sonda (una secuencia de ADN marcada radiactivamente) específica se unirá a determinados fragmentos en determinadas posiciones. Si el procedimiento se lleva a cabo en zonas del ADN que sean polimórficas, esto constituye una especie de “huella” identificativa, que es distinta de la de otro individuo, pues otro ADN, sometido a la acción del mismo conjunto de enzimas de restricción, rendirá una serie de fragmentos diferente de la anterior, uniéndose la sonda entonces a otros, en otras posiciones. Esta huella genética es de amplio uso en criminología, pruebas de paternidad, etc., y su fiabilidad es altísima; se denomina análisis del polimorfismo de los fragmentos de restricción, o PLFR.

Pero al PLFR tiene también aplicación médica, ya que determinadas huellas genéticas está asociadas a probabilidad de contraer enfermedades como diabetes, Alzheimer, cáncer, etc. De ahí su utilidad para el diagnóstico genético. Actualmente hay una verdadera carrera entre laboratorios para elaborar sondas con valor clínico.

Y, finalmente, la PLFR puede contribuir a elaborar el mapa genético de una especie dada. De hecho, es la técnica que más está haciendo avanzar al Proyecto Genoma Humano.

3. LOS MICROORGANISMOS Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Múltiples formas de preparación de alimentos requieren el concurso de microorganismos: fabricación de pan, vino, cerveza, queso, yogur, etc. Muchos otros usos son útiles para preservarlos o hacerlos más sabrosos (encurtidos). Todo ello hace evidente la influencia de la biotecnología en el campo de la nutrición.

Un ejemplo es emplear *Saccharomyces* modificados genéticamente para elaborar cervezas “light”, con bajo contenido en dextrinas. Otro es la reducción de los costes del malteado (germinación de la cebada de modo que se liberen enzimas que fragmentan el almidón, que no consumible directamente por las levaduras, a moléculas asimilables para ellas) mediante la introducción de genes que codifican amilasas en las diversas variedades de *Saccharomyces* empleadas. También está la clonación del gen para la proteasa de la bacteria *Serratia marcescens*, la cual, en combinación con la papaína (proteasa de la papaya), elimina las proteínas en suspensión que enturbian la cerveza.

En lo que respecta a la industria láctea, se han insertado genes de resistencia a bacteriófagos en variedades de *Streptococcus* empleadas en la fabricación de quesos. También se ha clonado el gen de la renina, la proteasa empleada también en la elaboración de queso, inicialmente conseguida a partir del estómago de la ternera, en varios hongos.

3.1 Microbios como alimento

Para soslayar el rechazo, injustificado, pero existente, que despierta el hecho de comer microorganismos, se ha acuñado el eufemismo proteína unicelular. Y esto por su alto contenido proteico, que llega a significar el 70% del peso seco. Son adecuadas para alimentación humana o animal. Ya los aztecas o tribus del Chad hacían uso alimenticio de la cianobacteria *Spirulina*. Durante las Primera y Segunda Guerra Mundial, la adición de levaduras de cerveza al alimento fue esencial para cubrir las necesidades nutricionales de la población frente a la escasez de alimentos.

Dada la necesidad mundial de alimento rico en proteínas, se ha intentado, en múltiples ocasiones, obtenerlas comercialmente a partir de microorganismos, como el cultivo de *Fusarium*, un hongo cuyo contenido proteínico se asemeja al cárnico (que casi siempre es de mejor calidad) a partir de toda una variedad de sustratos glucídicos, generalmente procedentes de biomasa vegetal de

desecho. De aquí que haya surgido el concepto de generar comida a partir de desperdicios. Un ejemplo notable es el del moho *Paecilomyces* en Finlandia, que convierte en alimento el muy contaminante residuo de las industrias papeleras. El inconveniente de todos esos sistemas es que requieren grandes inversiones de capital e instalaciones relativamente complicadas, inadecuadas para países pobres, que es precisamente donde se necesita este tipo de alimentos. Sin embargo, *Spirulina*, sin grandes complicaciones técnicas (sólo requiere someros estanques) ni costosas inversiones (es fotosintética), puede ser la solución para ellos.

3.2 Biomoléculas

La producción de vitaminas y aminoácidos también es objetivo biotecnológico. Gran parte de las moléculas que se emplean en medicinas o productos alimenticios tienen hoy su origen en microorganismos. Cepas seleccionadas del moho *Ashbya gossypii* producen 20.000 veces más vitamina B2 que las silvestres. Igual ocurre en *Propionibacterium shermanii* y *Pseudomonas denitrificans* con la B12 (50.000 veces más). El mercado de las vitaminas mueve, sólo en EE.UU., 150 millones de dólares anuales.

Respecto a los aminoácidos, hay que decir que las semillas de cereales, que constituyen la base alimenticia de los piensos que se dan a gran parte del ganado, son deficitarios en lisina y metionina. En consecuencia deben añadirse. Actualmente, la metionina se obtiene por procesos químicos baratos, pero la lisina se elabora preferentemente mediante fermentación por *Corynebacterium glutamicum*, aportando el 80% de los 200 millones de dólares que se mueven alrededor de este aminoácido, del cual se producen todos los años 40.000 Ton. Otro aminoácido relevante es el glutamato, elaborado por otra cepa de *C. glutamicum* y por *brevibacterium flavum*. Su obtención es particularmente barata por un truco que hace que viertan glutamato al medio, de donde se obtiene con facilidad: consiste en no suministrar suficiente biotina, lo cual hace a sus membranas muy porosas a algunas moléculas, entre ellas al glutamato; además, eso estimula la producción para reponer el que van perdiendo continuamente.

3.3 Edulcorantes

El empleo de fructosa como edulcorante alimentario tiene un gran futuro por tres razones: es más dulce que la sacarosa, también es más barata y resulta mucho más adecuada para diabéticos y aquellos que experimentan intolerancia a la glucosa, un importante segmento de la población. Evidentemente, esto ha desatado guerras comerciales entre sectores productivos, estando especialmente implicado el remolachero, que ve peligrar su cuota de mercado. El avance en la producción de fructosa se debe a poder contar con dos

enzimas: la amilasa, que convierte almidón en glucosa, y la glucosa isomerasa, que transforma la glucosa en fructosa.

En este proceso hay una técnica que merece especial consideración: la fijación de enzimas. Una vez transformado todo el material, sería interesante recuperar el enzima, lo que nos permite, de un sólo golpe, reutilizarlo y purificar la molécula objetivo. Hasta ahora se despilfarraban muchos enzimas, pero hoy es posible incluirlos en una superficie sólida, de la cual se retira su producto por simple lavado. Se ha logrado fijar enzimas en toda una variedad de soportes sólidos, que van desde vidrio a plástico, pasando por fibras naturales. La fijación se logra encerrándolos en matrices sólidas, uniéndolos covalentemente a éstas, o haciendo lo propio pero gracias a cargas electrostáticas. Las técnicas han alcanzado tal refinamiento que apenas se estropean moléculas durante la fijación.

Aunque la producción de fructosa es una importante contribución a este campo por parte de la biotecnología, otros edulcorantes están en la lista. Es el caso del aspartamo (formado por aspártico y fenilalanina) y la taumatina (polipéptido extraordinariamente dulce producido por un arbusto africano).

4. DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS MEDIANTE LA BIOTECNOLOGÍA.

Se utilizan los progresos de la biotecnología agrícola para incrementar la productividad de los cultivos, especialmente mediante la reducción de los costos de producción logrados disminuyendo la necesidad de plaguicidas, sobre todo en las zonas templadas. La aplicación de la biotecnología puede mejorar la calidad de vida, creando cepas de mayor rendimiento, o que pueden crecer en ambientes diversos, lograr una rotación mejor para conservar los recursos naturales o plantas más nutritivas, que se conservan mejor cuando están almacenadas o están siendo transportadas. Se consigue así un abastecimiento continuo de alimentos a bajo costo.

Después de dos décadas de investigaciones intensivas y costosas, el cultivo comercial de variedades transgénicas de plantas ha tenido lugar en los últimos años con variedades transgénicas de más de veinte especies vegetales. Las más importantes, desde un punto de vista comercial, son el algodón, el maíz, la soya y la colza. Los países en que se efectuaron los cultivos incluyen algunos de los más importantes productores agrícolas del mundo: Argentina, Australia, Canadá, China, Francia, México, África del Sur, España y los EE.UU. Las características más frecuentes de las nuevas variedades son la resistencia a insectos (algodón, maíz), resistencia a los herbicidas (soya) y maduración lenta

de la fruta (tomate). Las ventajas obtenidas con estos cultivos transgénicos iniciales son: mejor control de insectos y malezas, mayor productividad, y un manejo más flexible de los cultivos. Los beneficiarios son principalmente los granjeros y empresas agrícolas, pero también se benefician los consumidores, con la producción más barata de alimentos. Los beneficios más generales a favor del ambiente y la sociedad, se reflejan en una agricultura más sostenible y mayor seguridad en los alimentos, gracias al uso reducido de pesticidas. Las combinaciones que se están probando en economías emergentes incluyen variedades resistentes a los virus de melones, papayas, zambo, tomate y pimientos; arroz, y tomates resistentes a los insectos; papas resistentes a las enfermedades, y ajíes de maduración lenta. También se está trabajando para utilizar plantas como el maíz, y el plátano como mini-fábricas para producir vacunas y plásticos biodegradables.

Los posteriores avances de la biotecnología tendrán, probablemente, como resultado, cultivos con una amplia gama de características, de entre las cuales serán de especial interés para los consumidores las relacionadas con una calidad nutritiva superior. Estos cultivos podrían ofrecer beneficios nutricionales a millones de personas que sufren de malnutrición y desórdenes deficitarios. Se han identificado genes que pueden mejorar la composición de los aceites, las proteínas, los carbohidratos y los almidones de granos y tubérculos.

Se ha incorporado al arroz un gen que produce beta caroteno y vitamina A (arroz dorado). Este gen mejoraría la dieta de 180 millones de niños que sufren deficiencia de vitamina A, causante de dos millones de muertes anuales. De modo similar, la introducción de genes que tripliquen la cantidad de hierro del arroz es un remedio posible para la deficiencia de hierro que afecta a más de dos mil millones de personas y ocasiona anemia en la mitad.

Los progresos en tecnología genética pueden ayudar a resolver problemas médicos, agrícolas y ambientales de los países pobres. Hasta aquí, los mayores esfuerzos privados han sido dirigidos a la introducción de características útiles para los productores de países industrializados, porque en ellos las compañías pueden recuperar sus inversiones. Se necesitan nuevas modalidades que movilicen recursos públicos y privados para que no se deje atrás a la gente pobre en la revolución genética.

Un informe del Consejo Nuffield de Bioética del Reino Unido (1999) concluía diciendo que hay un fuerte imperativo moral de hacer posible que las economías emergentes evalúen el uso de nuevas biotecnologías, como medios para combatir el hambre y la pobreza. La alianza creativa de países en desarrollo, centros internacionales de investigación agrícola y sector privado

podría proveer nuevos medios para compartir y evaluar estas nuevas tecnologías. Algunas economías emergentes están realizando inversiones importantes, tanto humanas como financieras, con el fin de utilizar los progresos científicos para mejorar la provisión de alimentos y reducir la pobreza. Las aplicaciones de la biotecnología en agricultura están en su infancia. A la mayoría de plantas modificadas genéticamente se les ha alterado una sola característica, como, por ejemplo, la tolerancia a los herbicidas o a las plagas. El rápido progreso de la genómica puede mejorar la producción de plantas, conforme se vayan identificando más genes funcionales. Esto puede permitir una exitosa producción de características complejas, como la tolerancia a la sequía o a la salinidad, controlada por muchos genes.

5. RIESGOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

Al evaluar los beneficios y riesgos de la biotecnología moderna, hay varios puntos que dilucidar, antes de tomar decisiones sobre el uso de dicha tecnología en problemas relativos a la alimentación, la agricultura y el manejo de recursos naturales. Entre esos puntos, se incluyen la evaluación y manejo de riesgos, dentro de un sistema efectivo de regulación. También hay que tomar en cuenta el papel de la propiedad intelectual para recompensar la innovación y permitir el acceso a la tecnología desarrollada por otras personas. En cuanto a los riesgos ambientales, hay seis problemas de seguridad que la OECD(Organización para la Cooperación y el Desarrollo) cree que se deben considerar: transferencia de genes, malezas, efectos de las características, variabilidad genética y fenotípica, manifestaciones del material genético tomado de patógenos, y seguridad del personal encargado del trabajo (Cook, 1999)

Al juzgar los riesgos y beneficios, es importante distinguir entre *riesgos inherentes a la biotecnología* y *riesgos que trascienden la biotecnología*. Los primeros incluyen aquellos que tienen que ver con la seguridad en la alimentación y con la conducta del producto en relación con el medio ambiente. En el segundo grupo, los riesgos se derivan del contexto social y político en el cual se utiliza la tecnología, y cómo su uso puede beneficiar o perjudicar los intereses de diferentes grupos sociales. Entre ellos cabe destacar los efectos en la salud humana y los riesgos ambientales.

5.1 Efectos en la Salud Humana

Los efectos en la salud de los alimentos cultivados de variedades de cultivos modificados genéticamente (también conocidos como alimentos GM) dependen

del contenido específico del alimento en sí y puede potencialmente ser beneficioso u ocasionalmente dañino para la salud humana. Por ejemplo, un alimento GM con un alto contenido de hierro digerible puede tener un efecto positivo en la salud si es consumido por una persona con deficiencia de hierro. En cambio, la transferencia de genes de una especie a otra también puede conllevar la transferencia de riesgos de alergias. Estos riesgos deberán ser evaluados e identificados antes de que se comercialice. Algunas personas alérgicas a ciertas nueces, por ejemplo, necesitarán saber si los genes de cierta característica se transfieren a otros alimentos tales como la soya. Se requerirán etiquetas si tales cultivos se llegaran a comercializar. También hay preocupaciones sobre los riesgos potenciales a la salud del uso de señales de resistencia antibiótica de alimentos GM, a pesar de que no existe ninguna evidencia que lo pruebe.

Se podrán requerir etiquetas en algunos países para identificar el contenido nuevo que resulte de la modificación genética por razones culturales o religiosas o simplemente por el hecho de que los consumidores querrán saber cuál es el contenido del alimento y cómo fue producido para tomar decisiones basadas en conocimientos, sin que dependan de los riesgos de salud.

5.2 Riesgos Ambientales

Dentro de los riesgos ecológicos potenciales identificados consta el incremento de la maleza, debido a la polinización cruzada en donde el polen de los cultivos GM se difunde a cultivos no GM en campos cercanos. Esto puede hacer que se dispersen ciertas características como resistencia a los herbicidas de plantas GM a aquellas que no son GM, con el potencial posterior de convertirse en maleza. Este riesgo ecológico puede evaluarse cuando se decida otorgar al GMO una característica específica, si se lo suelta en un ambiente particular, y si es así, bajo cuáles condiciones. Cuando se han aprobado tales liberaciones, el monitoreo del comportamiento de los GMOs luego de que hayan sido soltados, es un campo fructífero de investigación futura como parte de la ecología de cultivos.

Otros riesgos ecológicos potenciales surgen del gran uso de maíz y algodón modificados genéticamente con genes de insecticidas del *Bacillus thuringiensis* (el gene Bt). Esto puede hacer que se desarrolle una resistencia al Bt en poblaciones de insectos expuestas a cultivos GM. Se está intentando manejar este riesgo en plantas iniciales de cultivos GM mediante la plantación de secciones "de refugio" en campos de algodón de Bt con variedades de insectos susceptibles para reducir la oportunidad de que los insectos evolucionen hasta lograr la resistencia a las plantas que tengan el gene Bt (Gould, 1999). También puede haber riesgo para especies que no son el objetivo, como pájaros y mariposas, por plantas con el gene Bt. El monitoreo de estos efectos

de nuevos cultivos transgénicos en el ambiente y el crear enfoques efectivos de manejo de riesgos son componentes esenciales para investigaciones posteriores de manejo de riesgos.

6. BENEFICIOS DE LA BIOTECNOLOGIA

Los actuales beneficios de la biotecnología incluyen:

- Resistencia a las enfermedades
- Reducción del uso de pesticidas
- Alimentos más nutritivos
- Tolerancia a los herbicidas
- Cultivos de crecimiento más rápido
- Mejoras en el sabor y la calidad

Algunos de los productos que han sido mejorados a través de la biotecnología son:

- Maíz, soja y algodón que ahora requieren menores aplicaciones de herbicidas/pesticidas
- Soja con menor contenido de grasas saturadas y mayor contenido de ácido oleico, lo que ofrece una mejor estabilidad cuando se fríe
- Papayas resistentes a los virus que logran que los cultivos sean más confiables y se obtengan mejores rendimientos
- Pimientos mejorados para lograr un mejor sabor (más dulces) y que permanezcan más duros después de la cosecha
- Papas y maíz resistentes a las enfermedades y que ofrecen mayores rendimientos

El volumen de cultivos biotecnológicos en desarrollo continúa creciendo. La biotecnología se ha usado en un número de cultivos por varios años, se espera que en los próximos años haya más productos mejorados genéticamente en el mercado. Algunos de los beneficios que se pueden esperar en el futuro cercano incluyen:

- Reducción de los niveles de toxinas naturales, como los alérgenos, en las plantas
- Aparición de métodos más simples y rápidos para detectar a los patógenos, toxinas y contaminantes (para reducir el riesgo de las enfermedades que se transmiten por los alimentos)
- Prolongación de la frescura

Los siguientes son algunos de los productos que podrían llegar al mercado como consecuencia de estos beneficios en desarrollo:

- Aceites, como por ejemplo, el de soja y canola, desarrollados de manera tal que contengan más estearatos, lo que hará que las margarinas y las grasas vegetales sean más saludables
- Melones más pequeños sin semilla que representen una porción
- Bananas y piñas con cualidades de maduración demoradas
- Maní con un mejor equilibrio proteico
- Bananas resistentes a los hongos
- Tomates con mayor contenido de antioxidantes (licopeno) que las variedades actuales
- Frutas y vegetales que contengan mayores niveles de vitaminas C y E, para mejorar la protección que brindan contra el riesgo de contraer enfermedades crónicas como el cáncer y trastornos cardíacos
- Cabezas de ajo con más alicina, sustancia que posiblemente ayude a reducir los niveles de colesterol
- Arroz más rico en proteínas, que utiliza genes transferidos de las plantas de arvejas
- Fresas que contengan mayores niveles de ácido elágico, un agente natural que combate el cáncer
- Pimientos, fresas, frambuesas, bananas, batatas (patata dulce) y melones mejorados para tener mejor calidad y condiciones nutritivas
- Fresas con mejores rendimientos y mayor duración, mejor sabor y textura

De acuerdo con la Oficina de Censos de los Estados Unidos, la población mundial se espera que llegue a 9,000 millones en el año 2050. Hay pocas tecnologías que podrán igualar el potencial de la biotecnología para ayudar a evitar el hambre en este siglo.

Al aumentar la capacidad de los cultivos para resistir los factores ambientales, los agricultores podrán cultivar en partes del mundo que en la actualidad no son aptas para este tipo de actividades. Además de producir alimentos adicionales, esta realidad también podría proporcionar a las economías de las naciones en desarrollo más fuentes de trabajo y una mayor productividad. La biotecnología también permitirá que los agricultores incorporen mejoras en las variedades vegetales. Esto permitiría aumentar el conjunto de genes agrícolas de que miles de millones de seres humanos dependen para obtener la alimentación básica.

Otro de los beneficios económicos y ambientales que se esperan concretar es en el área de uso de fertilizantes. Aproximadamente la mitad de los 12.000 millones de dólares que los agricultores estadounidenses deben gastar cada

año en fertilizantes se evapora o desaparece con las lluvias. Como consecuencia de esta realidad, gran cantidad de los fertilizantes que se utilizan se desaprovecha y puede terminar contaminando las fuentes de agua y dañando el medio ambiente. Algunas plantas, como por ejemplo, el maíz, también podrían mejorarse para extraer el nitrógeno del suelo y reducir la necesidad de fertilizantes.

Los productos que podemos esperar en el futuro no tan cercano son, por ejemplo:

- Proteínas de mejor calidad en el maíz y la soja (niveles aumentados de lisina y metionina que mejorarán los alimentos para animales)
- Modificación en la producción de ácidos en las papas, lo que permitirá que las plantas puedan soportar las heladas
- Arroz que crezca rápidamente, es más rico en proteínas y tiene mayor tolerancia a la sequía y los suelos ácidos
- Arroz enriquecido con vitamina A que podría llegar a reducir la incidencia de la ceguera en los países en desarrollo

7. BIOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

La capacidad de la biotecnología en el ámbito agroalimentario es prometedora si bien es necesario un uso razonable de sus aplicaciones y mayores controles.

Las aplicaciones biotecnológicas han crecido de forma significativa en los últimos años. Uno de los ámbitos en los que más se ha reflejado este crecimiento ha sido el de la producción primaria y agroalimentaria, cuya importancia es reveladora sobre todo desde el punto medioambiental y de la salud pública. Cría de ganado, aditivos para la alimentación animal, producción de enzimas o plantas modificadas genéticamente son algunas de estas aplicaciones, lo que plantea numerosos retos a autoridades públicas y la necesidad de afianzar controles normativos más prospectivos.

En el ámbito agroalimentario europeo, el 20% del volumen de ventas corresponde a la biotecnología, según datos del estudio Biotecnología para Europa, que presenta una exhaustiva reseña de las posibles aplicaciones, con ejemplos concretos, de la biotecnología, y evalúa su incidencia desde el punto de vista económico, social y medioambiental. A través de la biotecnología se han desarrollado, por ejemplo, productos de diagnóstico y veterinarios, principalmente vacunas, destinados al control y la vigilancia de algunas de las enfermedades animales más importantes, zoonosis y seguridad alimentaria.

En su momento, por ejemplo, el desarrollo de métodos biotecnológicos de vigilancia de la encefalopatía espongiforme bovina (EEB) en la UE permitió realizar análisis a un número considerable de muestras con el fin de hacer cumplir el nivel de vigilancia requerida por la legislación europea para el control del mal de las vacas locas. Otro de los campos que más se ha beneficiado de la biotecnología es el de la detección precoz de la salmonella, uno de los patógenos más comúnmente relacionados con intoxicaciones alimentarias en la UE, ya que cuenta con métodos de diagnóstico eficaces.

Pero si un campo merece ser mencionado en términos biotecnológicos este es el de las plantas modificadas genéticamente. Si bien hasta ahora el objetivo marcado ha sido el de mejorar características de las plantas para hacerlas más resistentes a plagas, por ejemplo, los responsables del estudio confían en que las tecnologías de modificación genética encuentren aún más aplicaciones en el ámbito de los métodos industriales. Pero antes abogan por evaluar las ventajas y los riesgos del uso de los organismos modificados genéticamente en todos los sectores, teniendo en cuenta sus efectos sobre el medio ambiente y la salud, así como su aceptación por parte de los consumidores europeos. Lo más idóneo, aseguran, es hacerlo desde la aplicación de análisis de riesgos individuales y a través de medidas de gestión de los riesgos para prevenir contaminaciones de la cadena alimentaria humana o animal por productos destinados únicamente al uso industrial, como cuando los cultivos se destinan a la producción de sustancias farmacéuticas.

Las aplicaciones biotecnológicas en agroalimentación han mejorado la eficiencia de la producción y la seguridad de los alimentos. Considerar que algunos de los resultados obtenidos hasta ahora son prometedores no debería ser nada nuevo. Lo que sí debería tenerse en cuenta es que, de la misma manera que avanza la investigación, deberían estrecharse algunas medidas de control. Para ello, la labor de los responsables de la elaboración de políticas pasar por mantener un enfoque amplio y flexible capaz de adaptarse a la evolución de la investigación y a nuevos retos. Algunos de estos desafíos vienen marcados, por ejemplo, por el uso potencial, en el sector agroalimentario, de animales clonados o de su descendencia, o el uso de pollos modificados genéticamente para la producción en sus huevos de sustancias farmacéuticas.

La Comisión Europea, que no duda de que las posibilidades de desarrollo de la biotecnología en la producción primaria y agroalimentaria «son enormes», sobre todo por la posibilidad de sustituir algunos de los procesos químicos, admite que algunas de estas tecnologías «deben ser objeto de un control riguroso». A pesar de que el marco jurídico europeo para los organismos genéticamente modificados, uno de los que deben estar más activos, ya tiene

en cuenta los posibles efectos a largo plazo sobre la salud, la seguridad de la cadena alimentaria y el respeto de otros modos de producción agraria, en algunos casos es necesario continuar desarrollando medidas de gestión de los riesgos para productos diseñados para uso industrial, como la producción de biocarburantes.

8. CONTROL DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Las crisis alimentarias acaecidas durante los últimos años, así como los avances experimentados en los métodos de producción y transformación de los alimentos, pusieron de manifiesto la necesidad de actualizar la legislación alimentaria europea, lo que desembocó en la adopción del Reglamento 178/2002 y, posteriormente, en la publicación del denominado Paquete de Higiene.

El nuevo enfoque adoptado para asegurar la inocuidad de los alimentos considera que cada eslabón de la cadena de producción de alimentos, desde la producción primaria y la producción de piensos para animales hasta la venta al consumidor final (lo que se ha denominado con la expresión “de la granja a la mesa”), tiene el potencial de influir en la seguridad alimentaria. En este contexto, aparece el concepto de trazabilidad, es decir, la posibilidad de identificar el origen de un alimento y poder seguir su rastro durante toda su vida útil. La trazabilidad es una herramienta que asegura y/o restablece la seguridad alimentaria y que ayuda a evitar fraudes y a recuperar la confianza del consumidor en la seguridad de los productos alimenticios. La biotecnología puede aportar soluciones tanto para el control de la seguridad alimentaria como para satisfacer la obligatoriedad de garantizar la trazabilidad de los productos alimenticios.

8.1. Detección de agentes nocivos en los alimentos

Las técnicas biotecnológicas para la detección de agentes nocivos (microorganismos patógenos y/o sus toxinas, alérgenos, residuos de tratamientos veterinarios, contaminantes abióticos de origen ambiental, etc.) en los alimentos pueden emplearse individualmente o en combinación con técnicas analíticas tradicionales. Los sistemas biotecnológicos de detección están basados en técnicas inmunoquímicas (ELISA, dispositivos de flujo lateral, ensayos de aglutinación con partículas de látex, etc.), genéticas (hibridación de ADN, PCR y sus variantes, como PCR cuantitativa en tiempo real, etc.), u otras (por ejemplo, detección de la bioluminiscencia del ATP). En muchos casos, estas técnicas se presentan bajo el formato de *kits* comerciales sencillos de utilizar, que producen resultados de forma rápida y que permiten la realización de ensayos de campo gracias a su portabilidad. Así, cada vez se dispone de

una mayor variedad de dispositivos de análisis para la detección de agentes nocivos presentes en los alimentos.

8.2. Trazabilidad de los organismos modificados genéticamente

Con el fin de que los consumidores puedan tomar decisiones razonadas acerca de los productos alimenticios que adquieren, así como de que recuperen la confianza perdida con motivo de las crisis alimentarias, es imprescindible que en el etiquetado de los alimentos aparezca una información lo más veraz y completa posible acerca de su composición y forma de obtención. Se trata, en definitiva, de que todos los eslabones de la cadena de producción de alimentos conozcan y transmitan a sus clientes la información relativa al empleo de organismos modificados genéticamente en sus productos. Los métodos de análisis de la presencia de organismos modificados genéticamente en los alimentos se basan en la detección de proteínas (ELISA, dispositivos de flujo lateral) o de ADN (métodos basados en la técnica de PCR). Es importante destacar que cada uno de los eventos autorizados en la Unión Europea posee un método de detección específicamente desarrollado por la empresa que lo comercializa, lo que es imprescindible para solicitar su autorización. La evaluación científica y la validación de estos métodos se llevan a cabo por el “Laboratorio Comunitario de Referencia para Alimentos y Piensos Modificados Genéticamente” (CRL) en colaboración con la Red Europea de Laboratorios de Organismos Modificados Genéticamente.

8.3. Identificación de especies

La sustitución de especies animales o vegetales por otras similares con menor valor económico es uno de los fraudes alimentarios más frecuentes. Esta práctica supone no sólo consecuencias económicas, sino que, en algunas ocasiones, puede originar problemas de salud en los consumidores (alergias) o conllevar implicaciones éticas o religiosas. La identificación de especies puede llevarse a cabo mediante métodos inmunoquímicos, como ELISA o Western blot, o genéticos, basados en el análisis de los denominados marcadores moleculares genéticos. Éstos consisten en secuencias de ácidos nucleicos capaces de proporcionar información específica sobre un organismo. Su identificación se realiza mediante diferentes métodos, entre los que se incluyen: Southern blot, análisis de los polimorfismos de los fragmentos de restricción (RFLP) y diferentes variantes de la técnica de PCR.

9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La biotecnología ofrece un número importante de recursos a la industria alimentaria, que comprenden desde la producción de materias primas y su transformación, hasta el control de la seguridad alimentaria. En el Eurobarómetro (sondeos de opinión pública de la Comisión Europea) sobre Biotecnología realizado en 2005 los ciudadanos europeos se muestran optimistas en lo que se refiere a la contribución de la tecnología en general a la sociedad. Ahora bien, aunque el empleo de la biotecnología moderna en el ámbito de la salud (terapia génica, nanotecnología, etc.) es valorado positivamente por la mayoría de los encuestados, los consumidores son reacios a aceptar los alimentos modificados genéticamente. En este sentido, existen numerosos grupos detractores de esta tecnología, cuya oposición se basa en la existencia de posibles peligros a largo plazo para la salud de los consumidores y para el medio ambiente. Por otra parte, la mayoría de los científicos defienden el uso controlado y regulado de los organismos modificados genéticamente, basándose, fundamentalmente, en razones medioambientales y económicas. La legislación europea garantiza el derecho de los consumidores a escoger libremente, mediante el correcto etiquetado y la trazabilidad de los productos alimentarios, si desean o no adquirir alimentos modificados genéticamente. No obstante, es también de suma importancia que se realice una labor de divulgación acerca de esta tecnología que asegure que la libre elección de los consumidores se realiza desde el pleno conocimiento de las posibles ventajas e inconvenientes de este tipo de alimentos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Biotecnología. Steve Prentis. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Editores.
- . The ecological risks of engineered crops. Rissler, J. And M. Mellon 1996. MIT Press, Cambridge, MA.
- How biotechnology regulation sets a risk / ethics boundary. Levidow, L. and S. Carr 1997. Agriculture and Human.
- Biotecnología y Alimentación. Gloria Morcillo, Estrella Cortés, Jose Luis García. UNED.

DIRECCIONES DE INTERNET

- Organización para la Alimentación y la Agricultura. FAO.
www.fao.org
- Ministerio de Sanidad y Consumo.
www.consumo-inc.es
- Monsanto.
www.monsanto.com

- www.biotech.com.es