

## **LOS RETOS DE LA NUEVA BIOTECNOLOGIA**

VICTORIA EUGENIA NAVARRETE C.

Universidad de Guanajuato, Guanajuato (México)

### *RESUMEN*

La biotecnología, en el más amplio sentido, es el uso de organismos vivos, sean plantas, animales o microorganismos, para fabricar o modificar productos. A pesar de que podemos encontrar diversos conceptos para definir el término, la mayoría de las definiciones son lo bastante amplias para cubrir una extensa gama de procesos que incluyen tanto los más tradicionales como la fermentación y la selección artificial de plantas, como los más modernos procedimientos de ingeniería genética.

El mundo de la biotecnología tendrá como destino a los organismos vivos, desde la manipulación de los virus, bacterias y hongos, hasta las células humanas, ya sea en el terreno de la medicina o en la reproducción. El siguiente artículo examinará el impacto científico social y moral la biotecnología

Palabras clave: Biotecnología, moral, Bioética.

### **INTRODUCCIÓN**

Los avances científicos logrados a lo largo del siglo XX, especialmente durante la segunda mitad, hicieron posible que la tecnología se desarrollara de manera extraordinaria durante las tres últimas décadas de ese siglo. A partir de la década de los 70, las máquinas, ya fueran agrícolas, electrónicas o mecánicas, tuvieron perfeccionamientos tan considerables, que favorecían a nuevos desarrollos de la industria. Día a día, estos logros en el terreno de la tecnología, conducían a diversos avances en otros terrenos. El uso de máquinas para sustituir la mano de obra humana, ha sido un fenómeno social que ha causado problemas en el ámbito social y político, sobre todo en la época más reciente, por el uso de computadoras que ha automatizado procesos que otrora eran controlados por el hombre.

El avance tecnológico, descubierto y desarrollado por el hombre, debe ser un instrumento que facilite las tareas humanas a favor de los menos favorecidos. Más tecnología aplicada, debería representar ventajas para tener, también más y mejores alimentos; progreso para los países en vías de desarrollo y oportunidades de trabajo para sus

habitantes que por ahora tienen que emigrar a otros países para conseguirlo. Los argumentos que encontramos a favor del uso de las máquinas y en las ventajas de la disminución de la mano de obra, no nos dejan una conclusión favorable en medio del asombro que nos producen los avances de la tecnología. Más aún, dudamos que nuevos avances puedan allanar las diferencias en vez de aumentarlas.

Uno de los campos en que se ha avanzado asombrosamente, es en el de la Biotecnología, que tiene aplicaciones prácticas en la vida cotidiana.

### **ANTECEDENTES**

El vocablo Biotecnología fue acuñado por el Húngaro Karl Ereky en 1919 y él mismo determinaba, como pertenecientes al campo de la biotecnología, a "...todos los procesos en los cuales, partiendo de las materias primas correspondientes, se producen bienes de consumo utilizando organismos vivos". El mismo autor predijo la "era biotecnológica" comparándola con la edad de piedra o la edad de hierro, por el impacto que tendría en la civilización y en la vida humana.

La biotecnología, en el más amplio sentido, es el uso de organismos vivos, sean plantas, animales o microorganismos, para fabricar o modificar productos. A pesar de que podemos encontrar diversos conceptos para definir el término, la mayoría de las definiciones son lo bastante amplias para cubrir una extensa gama de procesos que incluyen tanto los más tradicionales como la fermentación y la selección artificial de plantas, como los más modernos procedimientos de ingeniería genética.

La biotecnología no es nueva, ya que se practica desde la antigüedad; la fermentación de jugos se conoce desde hace 10000 años, y desde hace más de 7000 años se han estado utilizando organismos vivos, aún sin conocerlos, para producir procesos de fermentación en la producción de vinos, pan, queso y cerveza. Otros procesos empíricos de la biotecnología, usados también desde la antigüedad, han sido la selección artificial de plantas y animales destinados a la alimentación y sobrevivencia humana.

Algunos insectos como las termitas y las hormigas, desde hace unos 300 millones de años, han utilizado cultivos de hongos y levaduras sobre hojas maceradas para su alimentación.

Aún cuando pasaron muchos siglos para conocer la existencia de hongos, levaduras y bacterias, y para entender los procesos bioquímicos de su intervención en la síntesis de algunos productos, su uso y domesticación de esos organismos jugaron un papel muy importante en la civilización y en la vida del hombre.

Descubrimientos aislados en los últimos tres siglos fueron la base de la biotecnología actual. Veamos algunos de ellos:

- a) En 1674 Van Leewenhoek descubre protozoarios en el agua, bacterias en la saliva humana y levaduras en la cerveza.
- b) La abolición de la generación espontánea por Luis Pasteur y John Tyndall.
- c) El descubrimiento de las enzimas por el alemán Edward Buckner.
- d) El descubrimiento de la penicilina en 1928 por Alexander Flemming. Algo muy importante en el experimento de Flemming fue la comprobación de la existencia de un principio activo en el caldo de cultivo: la penicilina.

### **LA BIOTECNOLOGÍA ACTUAL**

La biotecnología utiliza organismos vivos para fabricar o modificar un producto o para manipular un proceso con objeto de mejorar la existencia y bienestar humanos, su salud, alimentación y el medio ambiente. Esta capacidad incluye la modificación de seres vivos por medio de ingeniería genética a través de la manipulación del ADN. Involucra una amplia gama de procesos, técnicas, metodologías, equipos y personal debidamente entrenado. El desarrollo de la biología molecular ha sido la base de la biotecnología actual, especialmente de los logros que se dieron a mediados de los años 70 cuando los científicos descubrieron que los fragmentos de ADN de diferentes organismos (virus, bacterias, plantas o animales) podían ser fragmentados y volver a unirse en diferentes combinaciones usando enzimas bacterianas llamadas "enzimas de restricción". El "ADN recombinante" (rADN) o recombinado, permanecía perfectamente funcional al ser insertado en una célula bacteriana. Los primeros experimentos de rADN se realizaron con genes que se codifican para proteínas tumorales del virus SV40 introducidos en plásmidos bacterianos y expresados en E.coli. Es histórico el hecho de que a unos cuantos años de iniciarse las técnicas de rADN, los científicos manifestaron su preocupación por el uso y los alcances que podrían darse a través de la manipulación de genes, por lo que los biólogos moleculares acordaron una moratoria cuando se

reunieron en Asilomar, California en 1975, a fin de reflexionar sobre los posibles peligros de la nueva tecnología.

Actualmente la biotecnología se aplica en áreas muy variadas como la agricultura, el procesamiento de alimentos, la producción de energía, la producción de sustancias biológicas, medicamentos y en la biorremediación. En todas ellas la intervención ha llegado hasta el nivel más íntimo de la esencia de la vida, es decir, hasta la manipulación del ADN, constituyendo así la forma más moderna de la utilización de organismos a través de ingeniería genética, incluidas la clonación y la transformación y expresión de genes heterólogos.

### **ORGANISMOS TRANSGÈNICOS**

Los organismos transgénicos (GM) son aquellos que han sido modificados en su material genético, por la introducción de genes de otros organismos. En estos procesos se utilizan plantas, animales y microorganismos, con diversos objetivos. Muchos de los organismos obtenidos ya son productos patentados.

En los Estados Unidos, aproximadamente el 25% del maíz que se cultiva es producido a partir de semillas genéticamente modificadas con un gen bacteriano que produce un insecticida, haciendo a las plantas venenosas para las orugas. Este maíz no ha sido aprobado para consumo humano, solamente para consumo animal. El gen añadido en el genoma del maíz es el gen Bt (*Bacillus turingensis*). El Bt fue producido en aerosol después de la Segunda Guerra mundial, y en 1961 se consideró como posible alternativa ante el uso del DDT, por ser un producto natural que no deja residuos químicos. Su principal desventaja es que se descompone en presencia de la luz.

El Bt se adhiere a las células del revestimiento estomacal y produce hemorragia interna en los insectos que lo ingieren, en cualquier etapa de su ciclo vital. El medio en que ejerce su acción es alcalino. En un medio ácido, como por ejemplo en el estómago de los mamíferos, resulta no tener acción alguna.

En 1985, los primeros genes Bt fueron transferidos a células de plantas y en 1989 las plantas modificadas fueron probadas en terrenos experimentales para hacerlas crecer como plantas normales y repeler a los insectos.

La primera planta exitosa de Bt fue un tipo de algodón producido en 1990. Posteriormente se produjeron plantas modificadas de maíz, papas y tomate. La reacción de la FDA fue mantenerse un poco al

margen, y sus escasas opiniones se redujeron a determinar que los alimentos genéticamente modificados eran... "esencialmente equivalentes a los originales en términos de nutrición y seguridad", y por lo tanto, no se exigía que llevaran una etiqueta especial que lo advirtiera. Hasta hoy día, la FDA no obliga a anunciar en las etiquetas los alimentos GM, sino que es un factor opcional.

En los Estados Unidos hay más de 28 millones de hectáreas dedicadas a cultivos GM, y de ellas 8 millones son sembrados con maíz Bt.

Los cultivos de plantas GM presentan evidentemente las mayores ventajas en productividad, sin que sea necesario añadir ningún tipo de pesticida. Por ley, deben guardar un espacio entre los cultivos de transgénicos y otros cultivos para evitar una contaminación y a la vez permitir que los insectos se reproduzcan y vivan a partir de plantas no transgénicas. Sin embargo, en los últimos cuatro años (a partir de 1998), los agricultores en forma práctica han ido observando algunas poblaciones resistentes del gusano barrenador. Esto da claras muestras de que ante un factor de presión, como ha sido el gen Bt introducido en las plantas, las poblaciones de insectos han reaccionado como cualquier población de organismos vivos a través de la evolución: seleccionando a los más adaptados y éstos a su vez dejando descendientes que heredan en un buen porcentaje el factor de adaptación. Cada generación incrementará los individuos adaptados y hará desaparecer a los vulnerables; en un futuro cercano las poblaciones serán resistentes y los biotecnólogos tendrán que buscar nuevos genes que introducir, a fin de matar a las plagas de esos cultivos.

Con relación a los precios que los agricultores deben pagar por las semillas GM, actualmente el precio de la semilla "normal" es de 100.00 USD por bolsa, contra 170.00 UDS de la semilla GM. De los 70.00 dólares de incremento, se hace hincapié que entre 5.00 y 20.00 dólares son el costo de la tecnología y están destinados a pagar la investigación que fue necesaria para obtener las semillas modificadas. Es claro que las patentes de organismos GM, concedidas por tiempo limitado a las compañías biotecnológicas, deben producir las mayores ganancias posibles para que se recupere la inversión de las investigaciones antes de que pasen a ser del dominio público.

Los agricultores se congratulan de no tener que aplicar pesticidas en los cultivos GM, pero ante la aparición de poblaciones resistentes, de las cuales se dan varias durante el tiempo de una sola cosecha, variando su tiempo de desarrollo entre 20 y 30 días, expresan una preocupación que va en aumento. Ante el hecho de la aparición de resistencia al Bt en las plagas, la recomendación de no aplicar

pesticidas aún persiste, pero es necesario que las investigaciones serias dilucidan el problema y propongan las acciones a seguir.

Los estados de Michigan, Wisconsin, Nebraska y Iowa están haciendo actualmente un seguimiento de las especies de maleza y de insectos que teóricamente han sido afectados por variedades de maíz GM.

Un ejemplo, ya clásico, es el retiro del mercado del maíz "star link", debido a reclamos por hipersensibilidad en personas que lo consumieron en alimentos procesados; aunque los 40 casos de reacciones alérgicas reportados como producidos por este maíz GM son difíciles de confirmar, mientras no se dilucidan, el "Star link" estará fuera del mercado y no se plantará.

Otros genes añadidos en especies de plantas las hacen resistentes a la sequía, a las plagas, y más hábiles para absorber nutrientes del suelo.

El reto de las plantas transgénicas consiste en que quienes deben tomar decisiones sean absolutamente imparciales en sus juicios. Es manifiesto que las compañías productoras hagan alarde de las ventajas y minimicen los problemas ambientales. Los sitios que en internet mantienen las agrupaciones de las compañías biotecnológicas, expresan datos y hechos que van siempre a favor de continuar el uso de semillas GM. Otro diferente punto de vista es el de las agrupaciones de agricultores, que son realmente los que están en contacto con los resultados de su uso ya que tienen la experiencia en sus cultivos y corren el riesgo de producir materiales que en ocasiones no son aceptados ni por las compañías para las que los producen.

Al parecer, el sistema de variar los cultivos sigue siendo para ellos el método más eficaz para evitar que ciertas plagas se instalen en determinados terrenos alternando la siembra de los GM con otras semillas no GM.

El control por parte de las compañías productoras de semillas GM hacia los agricultores, asegura a las primeras, que las cosechas recogidas no serán utilizadas como semilla para producción pirata, y tendrán un cliente cautivo para la siguiente siembra. Esto ha llegado al extremo de incluir en algunas variedades de maíz GM, un gen que hace a las semillas incapaces de germinar.

## **PRODUCCIÓN DE BIOLÓGICOS EN PLANTAS Y ANIMALES**

A corto plazo, se producirán medicamentos, vacunas y fármacos en plantas. El uso de plantas transgénicas para producir sustancias que prevengan o traten enfermedades, disminuye el costo con relación a los métodos usados actualmente. El proceso de producción es totalmente sustentable, ya que las plantas usadas como materia prima son fuentes renovables. El reto en el procedimiento consiste en mantener un control, confinando los plantíos y controlando las cosechas para evitar el contacto con especies no involucradas, así como la exposición de seres humanos y otros animales. Las plantas más aptas para modificarse con este fin son: cártamo, maíz, alfalfa, canola, papas, arroz, tabaco, jitomate y frijol de soya, y algunas de las enfermedades que podrán ser tratadas con estas plantas modificadas son: enfermedades cardíacas, alergias, cáncer, diabetes, Alzheimer y otras.

En animales también se han incluido genes, lo que les confiere resistencia a condiciones climáticas y a enfermedades, además de hacerlos más productivos en carne, leche y huevos.

Algunas hormonas producidas en una especie animal, pueden utilizarse en otra para mejorar su productividad, como es el caso de la somatotropina bovina (bovine somatotrophin o bst) conocida también como BGH (bovine growth hormone), que puede ser administrada al ganado lechero, incrementando la producción de leche sin necesidad de aumentar la cantidad de alimento.

## **PRODUCCIÓN DE MEDICAMENTOS**

En la industria biotecnológica, el área de mayor crecimiento ha sido la de producción de fármacos para uso humano. La introducción de genes humanos en bacterias, mediante técnicas que "aislan" el gen y posteriormente lo "empalman", (clonan), uniéndolo químicamente en el material genético de las bacterias, tal como se ha hecho con las secuencias genéticas para la insulina, el interferón, y otros productos, han facilitado la producción de medicamentos en forma masiva, a un costo mucho más bajo, simplemente cultivando las bacterias modificadas y recogiendo el producto.

Los genes humanos del factor IX antihemofílico se han introducido en embriones de ovejas, con objeto de que tal sustancia pueda ser secretada en la leche. La ingeniería genética contempla estos procesos como la transformación de animales en "biorreactores". Algunos otros productos como la hormona del crecimiento o somatotropina, los activadores del plasminógeno como la uroquinasa, utilizados para disolver los coágulos de la sangre, y las citocinas como

la tipo 2, administradas a pacientes con inmunodeficiencias y tumores se producen actualmente a partir de microorganismos genéticamente modificados con la información que codifica para tales sustancias. Hasta hace muy poco tiempo, se procesaban órganos y tejidos animales, con objeto de obtener unos pocos miligramos de la sustancia activa, a un costo muy alto; además, los productos obtenidos se contaminaban fácilmente por la manipulación. Ahora la ingeniería genética es una herramienta imprescindible en el campo de la medicina y en cualquier área de la investigación biológica.

Las posibilidades de producir diversos medicamentos en vegetales, frutos y leche de animales, modificados genéticamente, son cada vez más cercanas tal como hemos mencionado anteriormente.

### **TERAPIA GENÉTICA**

La terapia genética es la introducción en organismos o en células humanas de un gen, es decir de una porción de ADN que tiene por objeto prevenir y/o curar una condición patológica, introduciendo un gen para "reparar" el original que es defectuoso. Los procedimientos van dirigidos a células somáticas y aunque es posible hacerlo también en células germinales, esto sobrepasa el objetivo terapéutico y se modifica la constitución genética, lo que resulta ilícito porque alteraría para siempre el patrimonio genético de un individuo.

Las enfermedades genéticas son responsables del 20% de la mortalidad infantil; del 50% de los casos de los abortos espontáneos; del 80% de los casos de retraso mental; del 40% del total de ingresos pediátricos en los hospitales y del 50% del total de ingresos de adultos a los hospitales.

Uno de cada 100 niños nace con un defecto genético serio que es causa durante su niñez o como adulto joven, de anormalidades físicas o mentales, que se traducen en sufrimiento y muerte temprana. La causa puede radicar en la ausencia de una proteína celular (generalmente una enzima), o en la acumulación de un producto intermedio del metabolismo. A escala molecular, se trata de la diferencia alélica en un par de bases en el ADN. En cualquier caso, la terapia genética pretende corregir o compensar los efectos de la disfunción.

Tratándose de enfermedades causadas por alelos múltiples o por alteraciones cromosómicas, sean estas adiciones, supresiones o aneuploidías, la terapia genética no tiene aún acción importante.

De las más de 4000 enfermedades genéticas descritas, la mayor parte no puede ser tratada de manera convencional; los avances en la tecnología de ADN recombinante han hecho posible aislar un gen sano y clonarlo, para que mediante un vector (generalmente un virus), se introduzca el gen correcto en el sitio adecuado.

Los investigadores han desarrollado varias técnicas para la terapia de células somáticas; una de ellas es la llamada terapia *ex vivo* (afuera del cuerpo vivo). Consiste en obtener células del paciente con el gen defectuoso y modificarlas mediante la introducción de copias normales del gen, para devolverlas al paciente. Este método utiliza generalmente células sanguíneas (glóbulos blancos), pero dado que éstas tienen un periodo limitado de vida, las células tratadas van disminuyendo, lo que obliga a repetir el procedimiento en un plazo dado.

El primer caso tratado con esta técnica fue el de una niña con inmunodeficiencia severa combinada (SCID) en septiembre de 1990, y hasta la fecha, siendo ahora joven, Ashanti DeSilva tiene una vida muy cercana a la de cualquier persona de su edad y sus tratamientos siguen siendo periódicos. Este caso constituye el único ejemplo vivo de éxito en lo referente a terapia genética. A partir del tratamiento de Ashi, se han iniciado más de 450 estudios de terapia genética en los Estados Unidos, utilizando 4000 pacientes en un nivel experimental, sin que los resultados fueran alentadores en el sentido de controlar o curar una enfermedad genética.

Un segundo método de terapia genética en células somáticas se denomina tratamiento *in situ* (en el sitio). En este procedimiento se introducen los genes correctos directamente en el tejido en que se requieren. Hasta ahora se ha aplicado en casos de fibrosis quística, mandando copias sanas del gen dañado, al recubrimiento del árbol bronquial. Por desgracia, en esta enfermedad los resultados no han sido los esperados, en buena parte debido a que una de las características es que en las vías respiratorias de estos pacientes, se acumula mucosidad, misma que impide que los vectores penetren a las células del tracto respiratorio y los genes que logran ingresar, son neutralizados por una reacción inmunológica.

La idea sigue apasionando a los investigadores. Intentos importantes se han realizado para el tratamiento de la distrofia muscular, inyectando el gen en músculos de animales para modificar las células a fin de que sean capaces de formar las proteínas normales; y para el tratamiento de tumores cancerosos, insertando genes "suicidas" que reaccionan en presencia de drogas que se administran en quimioterapia y destruyen el tumor. Otros intentos son el uso de

liposomas como vectores, útiles en melanomas, y el uso de vectores no virales, formados de proteína y ADN.

La búsqueda de vectores no agresivos y sin consecuencias seguirá siendo un reto para el futuro; y una vez que se alcance el éxito en la terapia *in vivo* será posible hacer que el gen sano migre hasta el sitio donde es necesaria su función, se introduzca en las células y repare el defecto.

La investigación en el campo de la terapia genética presenta una problemática particular debido a que las enfermedades más fáciles de ceder ante esta tecnología, son las enfermedades genéticas más raras. En este caso, las compañías farmacéuticas y biotecnológicas no pueden invertir en algo que no será recuperable; en cambio, las enfermedades más comunes como el SIDA, el cáncer, y las enfermedades cardíacas son más atractivas en términos de inversión.

### **TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO**

Los anticuerpos monoclonales, de gran valor diagnóstico en medicina, se fabrican usando el ratón mutante "nude" como fábrica viviente. Se trata de verdaderos proyectiles químicos diseñados y programados para dar caza a todo tipo de sustancias peligrosas y microorganismos que atenten contra la salud y estabilidad del organismo. Se utilizan de manera sistemática en el diagnóstico de enfermedades como el SIDA, el herpes, la hepatitis y la tuberculosis, así como en las pruebas rápidas de embarazo. En el futuro cercano, serán imprescindibles en la casi totalidad de pruebas diagnósticas y en la búsqueda de toxinas en alimentos contaminados por *Salmonella*.

En la ganadería podrán ser detectadas enfermedades como la peste porcina africana o la enfermedad de las vacas locas, y en la agricultura podrán ser identificados los cultivos contaminados por virus.

La detección de tumores humanos será posible hacerla en una sola gota de sangre, pudiendo diagnosticarse una amplia gama de ellos, para después utilizar anticuerpos unidos a misiles químicos para destruirlos.

Por su gran especificidad, los anticuerpos monoclonales se han ido imponiendo a otras pruebas similares, tanto en el terreno de la medicina y la industria, como en los laboratorios de investigación. Existen en el mundo más de 500 compañías biotecnológicas dedicadas

a la fabricación de anticuerpos monoclonales que obtienen millones de dólares en su comercialización.

Otros tipos de ratones, a los que se han introducido genes de otras especies, se usan cada vez mas en toxicología y evaluación de drogas.

En el área de la perinatología, el diagnóstico de enfermedades hereditarias se puede realizar antes del nacimiento o en bebés recién nacidos.

Las pruebas prenatales para análisis de cromosomas o detección de enfermedades metabólicas, pueden hacerse tanto en líquido amniótico (amniocentesis) como en sangre placentaria o en muestras de sangre umbilical. En cualquiera de los casos, se obtienen células que habrán de hacerse crecer en un medio de cultivo y posteriormente realizar las pruebas.

En los recién nacidos se practican pruebas rutinarias para detectar enfermedades hereditarias. En cada país o región se aplica una batería de exámenes de acuerdo con la incidencia y la carga económica que representan. Mientras que en los países en vías de desarrollo se realizan algunas de las citadas pruebas, aunque no en forma sistemática, sí en casos especiales en que se sospeche trastornos hereditarios.

### **MEDICINA FORENSE**

Se han desarrollado técnicas de ADN para la identificación de individuos a partir de pequeñas muestras de tejido, pelo, piel, sangre, semen, etc. Mediante técnicas que emplean la Polymerase Chain Reaction (PCR) (reacción en cadena de la polimerasa), se realizan pruebas para comprobar la verdad acerca del reo de un delito, evitando condenar a inocentes. Los registros criminológicos deberán estar protegidos por el secreto de datos que no deben hacerse públicos, en razón del derecho a la privacidad que toda persona debe tener.

### **BIORREMEDIACIÓN**

La presencia del hombre sobre el planeta, la civilización humana, el crecimiento poblacional y la utilización de materiales renovables o no, a partir del ambiente, han producido un daño que hasta hace solo unas pocas décadas fue apreciado en toda su magnitud. El sentido antropocentrista del comportamiento humano en relación con la naturaleza, parece que se retrae, para dar lugar a que el ser humano

se responsabilice con el ambiente, efectuando acciones que puedan restaurar lo destruido y mejorar lo deteriorado. El ambiente se ha modificado por la actividad humana, principalmente por la industrialización: el agua, la atmósfera y la tierra se encuentran contaminadas por falta de conocimientos o por negligencia. Por cientos de años se han enviado multitud de sustancias químicas a los ecosistemas, modificando sus características y poniendo en peligro a muchas especies y haciendo desaparecer a otras.

Entre múltiples opciones de restauración, podemos mencionar los tratamientos físicos y químicos que reducen o eliminan la fuente de contaminación, y los tratamientos biológicos denominados bioprocesos o biorremediación.

La biorremediación utiliza organismos vivos, principalmente bacterias y hongos para transformar los contaminantes en sustancias inocuas. El éxito de su actividad remediadora depende de que sean suficientemente resistentes a los propios contaminantes. Estos procesos se utilizan para tratamiento de aguas negras, derrames de petróleo y contaminación por hidrocarburos. Las más modernas aplicaciones de la biorremediación se aplican en el tratamiento de los mares contaminados con pesticidas, hidrocarburos, metales pesados, aguas negras y sedimentos. También se han diseñado microorganismos para funcionar como biosensores para la detección de pesticidas y otras sustancias tóxicas.

### **TRASPLANTE DE ÓRGANOS**

Los trasplantes de órganos son ahora una intervención común para salvar la vida de quienes padecen enfermedades que afectan las funciones de riñones, corazón, hígado, etc. Las técnicas de cirugía han logrado que los trasplantes resulten exitosos en cuanto a la parte física y mecánica de la instalación de un órgano, pero los principales obstáculos radican en el rechazo de los pacientes, a los órganos trasplantados. Los inmunólogos han comenzado a fabricar anticuerpos que evitan el rechazo en el trasplante de órganos.

### **RETOS DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Las diversas ramas de la biotecnología asombran por sus alcances y a la vez hacen temer por las posibles aplicaciones en manos de quienes con pocos escrúpulos, pudieran hacer mal uso de ellas.

Al parecer, el beneficio más importante es para la misma industria biotecnológica, que constituye una nueva elite que tiene el monopolio sobre los recursos genéticos en el mundo. Un proceso que mantiene un control sobre la manipulación genética con solamente fines económicos y comerciales, no puede ser adecuado para la humanidad y seguramente causará daño social; esto sólo puede cambiar si se involucra al público para que se exprese, previa información, sus preocupaciones, buscando la diversidad de puntos de vista. Las diferentes tecnologías deben ser analizadas como retos, viendo su proyección hacia el futuro y a la vez tratando de encontrar en las posibles aplicaciones, mediante un análisis bioético, las mejores propuestas y reglamentos de aplicación.

La evaluación de riesgos, analizando frente a frente éstos contra el beneficio que proporcionará una tecnología dada, es indispensable antes de iniciar una investigación o poner en práctica un proyecto.

La poca disponibilidad de los avances biotecnológicos por parte de países menos industrializados está abriendo una brecha cada vez más grande entre quienes ejercen el poder con sus conocimientos y tecnología aplicadas y los que con poco o nulo acceso a tales beneficios pueden verse en franca desventaja.

### **BIOTERRORISMO: PREVENIR O RESPONDER ATAQUES**

A partir de los lamentables sucesos del 11 de septiembre de 2001, la humanidad ha quedado estupefacta y el terrorismo parece asomar por todos lados.

Las armas convencionales han quedado atrás en la historia, y el desarrollo de armas químicas y biológicas es cada vez más tangible y se conoce su existencia en países del medio oriente, Estados Unidos, Rusia y otros. La producción de cultivos de bacterias como el ántrax, cólera, viruela y otras, no requiere ninguna complejidad, por lo que se sospecha que muchos países podrán tenerlas con facilidad.

Se sabe que con fines bélicos se están produciendo la aflatoxina, la toxina de ricino, la toxina botulínica y las esporas del ántrax.

El temor se puede manipular en el sentido de desatar la investigación de defensa, justificable si ahí queda, en la neutralización de las bioarmas y su control. Sin embargo existe la posibilidad de terminar en investigación de ofensiva, es decir, crear nuevas armas biológicas, lo cual sería irónico y terrible.

Es indispensable el consenso en la defensa de la paz y la unión de los gobiernos en un imperativo moral para condenar la producción y utilización de armas químico-biológicas, aún con fines de defensa.

### **UTILIZACIÓN DE CÉLULAS TALLO**

La tecnología aplicada en el cultivo y desarrollo de células tallo, es una de las ramas más prometedoras de la medicina aplicada. Las células tallo son células indiferenciadas, totipotenciales, que pueden convertirse en células especializadas o en un tipo específico de tejido. Su aplicación para trasplantes celulares, en forma experimental, ha dado resultados alentadores y promete ser una de las ramas de la medicina que se ampliará en un futuro. Pueden ser obtenidas a partir de células del cordón umbilical o bien a partir de embriones producidos por la clonación terapéutica y no reproductiva; este último procedimiento constituye un avance con alto cuestionamiento bioético.

En noviembre de 2001 Cibelli y cols. lograron la producción de embriones de varias células, por transferencia nuclear con células cumulares o por partenogénesis, a partir de ovocitos solamente, con el objeto a futuro, de extraer las células tallo para producir células específicas útiles para reparar tejidos. Aunque las aplicaciones como el tratamiento de leucemias tienen un alto contenido de altruismo, la investigación en este terreno puede abrir otra caja de Pandora, ya que el hombre ahora sí está en la posibilidad de modificar la forma de reproducción humana, quedando en entredicho la dignidad de la vida.

### **PATENTES DE GENES**

Uno de los problemas que más preocupan en la biotecnología actual es que al igual que todas las tecnologías, el conocimiento aplicado constituye una parte muy importante de la economía. En lo que toca al conocimiento generado por el Proyecto Genoma Humano, las compañías biotecnológicas han permanecido en una lucha constante por patentar los genes descifrados y a partir de la patente de 20 años, obtener las mayores ganancias. Cientos de solicitudes están pendientes y las compañías biotecnológicas en muchas ocasiones duplican las investigaciones en el afán de ser las primeras en lograr la patente.

Mucho más preocupante que la cuestión económica, resulta el aspecto bioético. La propiedad de la información por parte de las compañías parece un absurdo, ya que constituye un patrimonio del género humano y no de una persona, o grupo de investigadores. Nadie es

dueño de la naturaleza y su contenido, pero por desgracia los intereses prevalecen sobre la dignidad de la vida.

### **¿QUÉ HAY DESPUÉS DEL PROYECTO GENOMA HUMANO?**

En mayo de 1998, Creig Venter, uno de los dos personajes que han jugado un importante papel en la carrera por conquistar el total desciframiento del genoma humano, anunció a Francis Collins, el director del Proyecto Genoma Humano, que fundaría una nueva empresa que obtendría la secuencia completa del genoma, varios años antes de la fecha prevista (2005).

Los planes de Venter en su nueva empresa Celera Genomics, incluían una técnica de secuenciación que había perfeccionado con el genoma de una bacteria, el uso de cientos de máquinas modernas y sofisticadas para secuenciar el ADN y uno de los superordenadores más potentes del mundo. Ante el anuncio hecho por los medios de comunicación, los fondos de los principales centros de investigación para la secuenciación del genoma humano fueron aumentados, y a partir de esto se inició una carrera por ganar la gloria de terminar el proyecto en menor tiempo del previsto. Venter y su empresa hacían planes adicionales a fin de patentar el mayor número posible de genes, mientras que Collins intentaba dar un impulso final al proyecto federal para conseguir la secuencia completa al mismo ritmo y evitar que el genoma humano pudiera patentarse.

Durante dos años se entabló un intercambio de injurias y acusaciones en la prensa, perdiendo de vista la magnitud y dignidad del logro científico.

En junio de 2000, Collins y Venter llegaron a un acuerdo en el que ambos harían el anuncio conjunto de haber alcanzado la meta. En estas conversaciones para poner fin a sus diferencias, fue necesaria la intervención de los NIH (National Institutes of Health). En una ceremonia celebrada el 26 de junio en la Casa Blanca, Collins y Venter estuvieron presentes cuando el presidente Clinton proclamó: "Hoy estamos aprendiendo el lenguaje con el que Dios creó la vida".

Sin duda, el PGH ha sido uno de los logros científicos más significativos en la historia de la humanidad, pero parece que aquí no termina, sino que se abren nuevas expectativas y proyectos a partir de la información obtenida.

Aún falta por ubicar en los cromosomas (mapear) la mayor parte de los genes. La identificación de las acciones de cada gen, podría compararse con una segunda etapa del mismo proyecto, tan compleja o más que la primera.

En los próximos años, los científicos habrán de identificar todos los genes secuenciados; aún es objeto de polémica el número de ellos. Se sigue especulando entre cifras que van de 40000 a 100000, aunque la tendencia actual es considerar que existen menos de 50000 genes en el genoma humano. El reto más importante es saber qué hacen esos genes y dilucidar las variaciones entre genomas. Los estudios de vulnerabilidad serán indispensables para entender por qué algunas personas contraen ciertas enfermedades con más facilidad que otras. Uno de los proyectos que se han propuesto es sobre la variación genética, denominado *The Human Genome Diversity Project*. Este proyecto se propuso en 1991 y ha sido responsable de más polémica que investigación. El punto de apoyo es que no hay un genoma sino uno por cada habitante humano, cada uno de los cuales es ligeramente diferente, aún en los gemelos monocigóticos con diferencias causadas por mutaciones durante su desarrollo. El HGDP pretende estudiar esta diversidad, recolectando unas 500 muestras genéticas de diversas poblaciones en el mundo, haciendo el análisis genético y poniendo los datos a disposición de los investigadores interesados. El proyecto no ha sido muy aceptado porque de antemano se vislumbran una lista de problemas éticos que darán lugar a encontrar entre individuos o entre razas y países, semejanzas y diferencias que no serán socialmente importantes, pero podrían ser utilizadas por individuos racistas y mal intencionados con fines difíciles de controlar.

### **CONSIDERACIONES BIOÉTICAS Y CONCLUSIONES**

La reflexión de los avances científicos y sus aplicaciones nos llena de interés y temor. Grandes han sido los conocimientos que se generaron en el siglo pasado y más grande el campo de la ciencia que se prevee para el siglo presente; pero ante todo la reflexión a la luz de los valores abrirá un camino más cercano a la licitud de las aplicaciones y el respeto por la vida. La confidencialidad y la privacidad genéticas son indispensables de observar en las innumerables investigaciones y proyectos derivados del PGH. El genoma habrá de considerarse como patrimonio de la humanidad.

El mundo de la biotecnología tendrá como destino a los organismos vivos, desde la manipulación de los virus, bacterias y hongos, hasta las células humanas, ya sea en el terreno de la medicina o en la reproducción. Cualquier manipulación tiene un impacto social y moral.

En cualquier caso, la aplicación de la biotecnología nos conduce a la necesidad de actualizar las leyes particulares de cada país en la atención de la salud, y como imperativo universal, en lograr acuerdos

en relación con temas que atañen a la propia humanidad y a la salvaguarda de la propia vida en el planeta. Los temas que exigen ser reglamentados son entre otros: la utilización de los conocimientos generados en el Proyecto Genoma Humano, las diversas biotecnologías aplicadas, la obtención y utilización de células tallo, la bioseguridad, el respeto a la vida humana como premisa para la utilización de los nuevos conocimientos biotecnológicos y el respeto y cuidado de la biodiversidad en relación al uso de transgénicos.

La metodología bioética parece ser el camino más seguro para lograr la reflexión que nos conduzca al buen uso de los asombrosos conocimientos de la biotecnología actual.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Thomas H. Murray y Maxwell J. Mehlman  
ETHICAL, LEGAL AND POLICY ISSUES IN BIOTECHNOLOGY

Entrevista con Carl B. Feldbaum. Presidente de Biotechnology Industry Organization  
[www.geneforum.org](http://www.geneforum.org)

Entrevista con Gregory Allen Whitmore.  
Director de los condados de Polk y Butler, Nebraska para la Asociación de Productores de Maíz de Nebraska.

Dr. Michael W. Fox  
SUPERPIGS AND WONDERCORN  
Lyons and Burford Publishers 1992

Hernández Arriaga Jorge Luis  
BIOETICA GENERAL, Editorial El Manual Moderno, 2002 pp 395-402;  
417-425

Elio Sgreccia  
MANUAL DE BIOETICA, Editorial Diana, México. 1994 pp 211-270

Hernández Arriaga Jorge Luis  
ETICA EN LA INVESTIGACIÓN BIOMEDICA, Editorial El Manual Moderno, México 1999 pp 53-70

DISCOVER EN ESPAÑOL  
Vol. 5 No. 4 Abril 2001 pp 26-32

NATURE  
Vol. 417 2 may 2002 pp 39-43

Stanford Law School  
THE HUMAN GENOME DIVERSITY PROYECT  
Febrero, 2000 [http://papers.ssnr.com/paper.taf?abstract\\_id=231749](http://papers.ssnr.com/paper.taf?abstract_id=231749)

[www.bio.org](http://www.bio.org)  
BIOTECHNOLOGY INDUSTRY ORGANIZATION

[www.biotechcentury.org](http://www.biotechcentury.org)  
THE FOUNDATION ON ECONOMIC TRENDS

[www.gene.ucl.ac.uk/hugo](http://www.gene.ucl.ac.uk/hugo)  
HUMAN GENOME ORGANIZATION

[www.phrma.org](http://www.phrma.org)  
PHARMACEUTICAL RESEARCH AND MANUFACTURERS OF AMERICA

[www.ta.doc.gov](http://www.ta.doc.gov)  
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, TECHNOLOGY ADMINISTRATION

[www.whitehouse.gov](http://www.whitehouse.gov)  
WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY

[www.biotechnav.com](http://www.biotechnav.com)  
BIOTECH SAGE REPORT

[www.nature.com](http://www.nature.com)  
REVISTA NATURE ON LINE

[www.ncga.com](http://www.ncga.com)  
NATIONAL CORN GROWERS ASSOCIATION

[www.agweb.com](http://www.agweb.com)  
REVISTA "PRO FARMER TODAY"

### **BIOETHICS AND BIOTECHNOLOGY**

VICTORIA EUGENIA NAVARRETE C.  
Guanajuato´s University, Guanajuato (Mexico)

#### **ABSTRACT**

Biotechnology in its amplest sense, is the use of living organisms, be they plants, animals or microorganisms, in order to manufacture or