

## La Revolución de la Ingeniería Genética

JAIME GÓMEZ-MÁRQUEZ

*Departamento de Bioquímica y Biología Molecular,  
Facultad de Biología-CIBUS, Campus Sur  
Universidad de Santiago de Compostela  
jaime.gomez.marquez@usc.es*

*(Recibido: 11/10/2013; Aceptado: 15/10/2013)*

### Resumen

La Ingeniería Genética o Tecnología del DNA Recombinante es un conjunto de técnicas y metodologías que nos permiten manipular el DNA e introducirlo en células y organismos pluricelulares. El empleo de esta tecnología ha revolucionado la Biología, la Biomedicina y la Biotecnología. Su impacto no sólo ha afectado al desarrollo de prácticamente todo lo “bio” sino también se ha convertido en una herramienta fundamental en otros ámbitos de las Ciencias, la industria y la Justicia. Aunque la Ingeniería Genética ha sido y es muy beneficiosa para el progreso del conocimiento y para nuestro bienestar, sus aplicaciones no están exentas de riesgos. En este sentido, los investigadores deberían autorregular sus investigaciones y los parlamentos legislar para evitar y perseguir usos indebidos de esta tecnología. Con la Ingeniería Genética ya podemos fabricar nuevos seres, crear nuevas especies, pero no deberíamos jugar a ser dioses, es muy peligroso.

### INTRODUCCIÓN

El 11 de Septiembre del año 2001 tuvo lugar el gravísimo atentado contra las Torres Gemelas de New York donde murieron miles de personas. El Instituto Nacional de Justicia de los EE.UU. impulsó la creación de un panel de expertos para diseñar el procedimiento de identificación de las víctimas de esa masacre. Y en ese procedimiento lo fundamental para identificar a las víctimas era analizar su *DNI biológico* y el de sus familiares. Ese DNI es nuestro genoma que está compuesto por la macromolécula más famosa: el ADN o DNA en nomenclatura internacional.

En el sótano del museo egipcio de El Cairo, hay una momia que los expertos atribuyen a la reina de Egipto, conocida con el nombre de Hatshepsut, que vivió en el siglo XV a.c. Para intentar verificar si esa momia se corresponde con la faraona, los científicos extrajeron su DNA para poder compararlo con el de otros miembros de su familia. Este DNA, a diferencia del de las víctimas del 11S, es un DNA antiguo, con miles de años de antigüedad, y aunque esté parcialmente deteriorado puede

estar lo suficientemente conservado como para poder emplearlo en la identificación de los restos arqueológicos.

Cuando vamos al supermercado y llenamos el carrito de la compra, es probable que entre lo que hemos comprado haya productos envasados que contengan componentes obtenidos a partir de Organismos Modificados Genéticamente (OMG). Son los alimentos transgénicos objeto de gran polémica por sus implicaciones ecológicas, económicas y su peligro potencial para la salud.

El 11-S, Hatshepsut y los alimentos transgénicos son tres ejemplos que ilustran cómo la Ingeniería Genética ya está introducida en la sociedad y en la Historia. Todos los días, tanto en los medios de comunicación como en las revistas de divulgación y especializadas, aparecen noticias relacionadas, directa o indirectamente, con la Ingeniería Genética. Es tan grande y trascendental su impacto que organizaciones ecológicas como Greenpeace o instituciones religiosas se pronuncian sobre determinadas aplicaciones de esta tecnología. Sus avances son tema de debate y controversia en los parlamentos, en las universidades, en la televisión o

en la calle. Alimentos transgénicos, terapia génica, industrias biotecnológicas, hormonas producidas por bacterias, estudios evolutivos y de la biodiversidad, sistemas de diagnóstico, identificación de criminales, análisis de paternidad, vacunas recombinantes, son ejemplos de cómo la Ingeniería Genética está introducida en nuestra vida diaria.

Y todo ello gracias a que podemos aislar y manipular el DNA procedente de cualquier organismo, incluso el DNA de algunos con miles de años de antigüedad como puede ser el de las momias, los mamuts u otros organismos que se hayan conservado en ambientes muy fríos o muy secos. Y no solo podemos trabajar con la molécula de DNA, también podemos manipular el RNA mensajero convirtiéndolo en DNA mediante la reversotranscriptasa.

## ¿QUÉ ES LA INGENIERÍA GENÉTICA?

Desde que somos conscientes de su existencia, hemos querido entender cómo es el material genético, el genoma, cuál es su naturaleza química, dónde está localizado, cómo expresa su información para el funcionamiento de las células, como se transmite a la descendencia, y cómo cambia haciendo posible la evolución de las especies. Las investigaciones en muchas áreas de la Biología nos han permitido responder a muchas de esas preguntas, y avanzar en nuestro conocimiento del material genético. Sin embargo, hasta el nacimiento de la Ingeniería Genética no pudimos empezar a conocer los genomas en su totalidad ni a manipular el material genético de forma precisa.

Podemos definir a la Ingeniería Genética como el conjunto de técnicas y metodologías que nos permiten aislar y manipular el DNA para introducirlo en células u organismos pluricelulares. Mediante esta tecnología podemos modificar el contenido genético de células y organismos y crear nuevos seres vivos, nuevas especies, no fruto de la evolución—de la selección natural o el azar—sino de la intervención del ser humano.

La Ingeniería Genética también se llama tecnología del DNA recombinante e implica dos pasos fundamentales: la creación de moléculas de DNA recombinante (rDNA) y su propagación o multiplicación a través de la clonación o de la técnica de la

PCR. En este contexto, una molécula de rDNA es cualquier molécula de DNA creada artificialmente uniendo dos moléculas de DNA que no se encuentran juntas en la naturaleza. Por ejemplo, cuando combinamos un fragmento de DNA humano con otro procedente de una bacteria, estamos creando una nueva molécula de DNA resultado de recombinar (en el sentido de mezclar) dos moléculas de DNA de diferente procedencia. Una vez creada la molécula de rDNA, para multiplicarla y obtener millones de copias idénticas, necesarias para poder manipularla, éste nuevo DNA se introduce en un hospedador determinado (usualmente una bacteria o levadura) y la maquinaria celular se encarga de fabricar las copias del rDNA. Este proceso *in vivo* de transformar una célula con el rDNA para propagarlo y almacenarlo es lo que se denomina clonación de DNA. Otra forma de obtener millones de copias del rDNA *in vitro* es empleando la técnica de la PCR (Polymerase Chain Reaction) que consiste en replicar el DNA en el tubo de ensayo, sin necesidad de la participación de células. La PCR permite, teóricamente, obtener millones de copias de un fragmento de DNA a partir de una única copia en un tiempo muy breve. Es una técnica muy poderosa, sobre todo para estudiar el DNA antiguo y para las investigaciones forenses/policiales, pero su principal peligro, derivado de su altísima sensibilidad, es la contaminación de la muestra que puede dar falsos positivos. Mediante la PCR podemos analizar el DNA de un pelo, una gotita de sangre, restos de semen o la saliva que hay en un sello.

En el caso de la clonación, para propagar en una bacteria o una levadura un fragmento de DNA es necesario unir ese fragmento a otro DNA con capacidad de replicarse en la célula huésped. A ese DNA con capacidad de replicación autónoma se le llama vector de clonación y suele ser una molécula tipo plásmido. Los plásmidos son moléculas de DNA circulares, de doble cadena, que se encuentran de forma natural en bacterias y levaduras donde se replican autónomamente empleando la maquinaria celular de replicación presente en esos organismos unicelulares. Los plásmidos que se emplean en la investigación no son los plásmidos que se encuentran en la naturaleza, sino derivados de ellos con muchas modificaciones introducidas en el laboratorio. La bacteria más empleada en

Ingeniería Genética como célula hospedadora es la conocida *Escherichia coli* y la levadura es *Saccharomyces cerevisiae*. También los productos obtenidos en la PCR pueden también ser clonados en un vector y propagados en bacterias.

## **BREVE HISTORIA Y FUENTES DE LA INGENIERÍA GENÉTICA**

La Ingeniería Genética tiene sus antecedentes en los grandes avances en la Biología que se produjeron en la segunda mitad del siglo XX. A veces no es fácil establecer en qué momento tiene su origen tal rama de la Ciencia o la Tecnología porque, a menudo, todo avance proviene de otro anterior y así sucesivamente. En este caso, hay bastante consenso en que la Ingeniería Genética nace en el año 1973 con la publicación de las investigaciones de Stanley Cohen y Herbert Boyer, de la Universidad de Stanford (USA), quienes demostraron que la información genética procedente de orígenes diversos podía combinarse para crear una nueva molécula de DNA con nueva información genética y con capacidad de replicarse en bacterias. Estos investigadores realizaron el primer experimento de clonación de un DNA humano en bacterias. Demostraron que podemos unir DNA de un plásmido, un tipo de DNA presente en bacterias y levaduras, y de una célula humana, y propagar indefinidamente el nuevo rDNA en una bacteria. Este descubrimiento abrió la puerta a un nuevo mundo para las Ciencias de la Vida y la Biotecnología. En la tabla 1 se resumen algunos de los principales hitos en la historia de la Ingeniería Genética.

Tanto desde el punto de vista de los fundamentos teóricos como metodológicos, la Ingeniería Genética es el fruto de las investigaciones durante muchas décadas en diferentes áreas de la Biología, sobre todo la Genética, la Biología Celular, la Bioquímica, la Biología Molecular y la Microbiología. La Bioinformática se ha convertido en una herramienta imprescindible para el tratamiento de la información, sobre todo para poder analizar rápidamente los miles de millones de nucleótidos que hay en los genomas.

Es interesante destacar que a su vez el desarrollo de la Ingeniería Genética ha redundado enormemente en el avance de las disciplinas biológicas

de las cuáles se originó y no solo eso, también se ha convertido en una herramienta imprescindible para muchas otras investigaciones como son las relacionadas con el análisis molecular de la Biodiversidad, la Biotecnología (uso de OMG en agricultura y ganadería, producción industrial de algunas sustancias, biorremediación, etc), las Ciencias Forenses y la Biomedicina en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. En la Figura 1 se resume la interrelación entre diversas disciplinas y la Ingeniería Genética.

Ahora, cuando lo que predomina es valorar aquellos descubrimientos con una aplicación práctica inmediata, hay que reivindicar la importancia de la investigación básica que solo busca incrementar nuestro conocimiento de la naturaleza. La Ingeniería Genética es el resultado de investigaciones básicas en Biología. Stanley Cohen, Premio Nobel y uno de los cofundadores de la Ingeniería Genética, dijo que “Boyer (el otro científico con el que compartió el Premio Nobel) y él nunca pretendieron inventar la Ingeniería Genética. Nuestro invento llegó de los esfuerzos por comprender fenómenos biológicos básicos y de darse cuenta de que nuestros descubrimientos tenían aplicaciones prácticas importantes”. Los dirigentes políticos del mundo deberían apoyar aquello que dijo en 1941 el que fue director de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científicos de EE.UU., Vannevar Bush, un ingeniero y principal impulsor de la investigación básica en el MIT. Dijo que “El progreso científico es el resultado de la actuación libre de inteligencias libres que trabajan en materias de su propia elección y del modo que les dicta su propia curiosidad por la exploración de lo desconocido”.

## **BENEFICIOS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA**

La Ingeniería Genética tiene un enorme impacto sobre las investigaciones en prácticamente todas las áreas propias y relacionadas con la Biología. Su objetivo ha de ser incrementar nuestro bienestar pero respetando la naturaleza y las leyes y principios éticos de nuestra sociedad.

En el campo de la Biología, las técnicas de manipulación del DNA son cada vez más empleadas y

Tabla 1: Hitos en la historia de la Ingeniería Genética

| <b>Fecha</b> | <b>Evento</b>   | <b>Autores</b>                               |
|--------------|---|--|
| 1866         | Se descubren las leyes básicas de la herencia   | G. Mendel                                    |
| 1869         | Aislamiento de la nucleína, componente de los cromosomas  | F. Miescher                                  |
| 1944         | Demostración de que el material genético es ADN empleando bacterias tipo neumococo                                | O. Avery , C. MacLeod & M. McCarty           |
| 1952         | Confirmación de que el ADN es la molécula portadora de la información genética empleando el virus bacteriófago T2 | A. Hershey & M. Chase                        |
| 1953         | Establecimiento de la estructura del ADN: la doble hélice   | J. Watson & F. Crick                         |
| 1966         | Desciframiento del código genético  | M. Nirenberg, S. Ochoa & G. Khorana          |
| 1970         | Descubrimiento y aislamiento de las enzimas de restricción  | W. Arber, D. Nathans & H. Smith              |
| 1972         | Síntesis de la primera molécula de ADN recombinante   | P. Berg                                      |
| 1973         | Introducción de ADN recombinante en bacterias   | S. Cohen & H. Boyer                          |
| 1975         | Conferencia de Asilomar sobre los riesgos de la Ingeniería Genética   | P. Berg, D. Baltimore, M. Singer, S. Brenner |
| 1976         | Primeras directrices del NIH (National Institutes of Health) sobre la investigación en Ingeniería Genética        | Gobierno EE.UU.                              |
| 1977         | Desarrollo de la técnica de secuenciación de ADN  | F. Sanger                                    |
| 1977         | Primer genoma secuenciado (virus X174)  | F. Sanger et al.                             |
| 1977         | La empresa Genentech produce la primera proteína humana, la somatostatina, en una bacteria ( <i>E. coli</i> )     | Investigadores de Genentech                  |
| 1977         | Descubrimiento del mecanismo de transferencia de ADN entre la bacteria <i>Agrobacterium</i> y las plantas         | Marc Van Montagu et al.                      |
| 1978         | Genentech produce insulina humana en <i>E. coli</i>   | Investigadores de Genentech                  |
| 1980         | EL Tribunal Supremo de EE.UU. dictamina que se pueden patentar microorganismos manipulados genéticamente          | Corte Suprema de EE.UU.                      |
| 1982         | Creación del primer animal (ratón) transgénico en el laboratorio  | R. Palmiter & R. Brinster                    |
| 1983         | Invencción de la técnica de la PCR  | K. Mullis                                    |
| 1984         | Desarrollo de la “huella genética” como técnica fundamental de la Biología Forense                                | A. Jeffreys                                  |
| 1986         | Autorización de la primera vacuna, contra la hepatitis B, para uso en humanos producida por ingeniería genética   | FDA – Gobierno de EE.UU.                     |
| 1990         | Primer ensayo de terapia génica con una niña “burbuja”  | W.F. Anderson, M. Blaese & K. Culver         |
| 1994         | Primer vegetal transgénico (tomate FlavSavr) aprobado para consumo humano   | FDA – Gobierno de EE.UU.                     |
| 1995         | Primer genoma de una célula ( <i>Hemophilus influenzae</i> ) secuenciado  | R. Fleischmann et al.                        |
| 1997         | Clonación del primer mamífero (la oveja Dolly) a partir de células diferenciadas adultas                          | I. Willmut et al.                            |
| 2001         | Publicación en Nature y Science del primer borrador completo de la secuencia del genoma humano                    | F. Collins, C. Venter, et al.                |

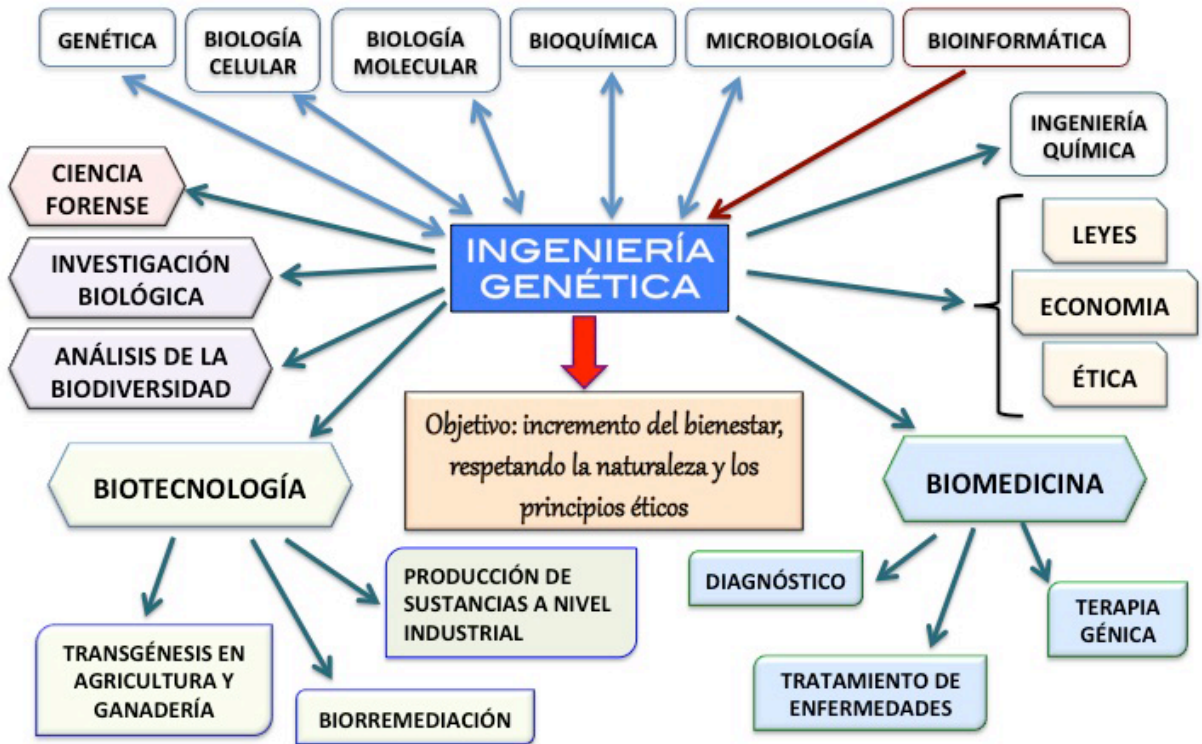


Figura 1. Interrelaciones de la Ingeniería Genética

gracias a ellas nuestros avances en el conocimiento de la vida son impresionantes. La Ingeniería Genética no solo ha revolucionado la investigación en Biología Molecular, Genética y Celular, produciendo muchísimos avances espectaculares, sino que también está contribuyendo al desarrollo de la Zoología y la Botánica a través del conocimiento del genoma de cualquier especie animal o vegetal, gracias a los avances científicos y tecnológicos relacionados con las técnicas de clonación y secuenciación de DNA. Ese conocimiento nos permite comprender mucho mejor la biodiversidad del planeta, porque conocer el genoma hace posible definir las especies al nivel biológico más íntimo posible y permite establecer la base genética de las diferencias inter e intra-específicas. Además, comparar los genomas nos va a permitir reconstruir la historia evolutiva de nuestro planeta mucho mejor. Con el análisis de los genomas podremos responder a preguntas tan importantes como: ¿Qué genes y/o secuencias intergénicas están implicadas en la separación evolutiva entre nuestra especie

y el chimpancé? o ¿Cómo afecta la variabilidad genética a la resistencia a enfermedades? ¿Cuál es la diferencia genómica mínima para considerar a dos organismos como especies diferentes?

Desde hace siglos los productos biotecnológicos han estado presentes en nuestra sociedad. Los quesos, los yogures, el vino o la cerveza son productos biotecnológicos clásicos, de uso habitual en nuestra sociedad, que han impulsado el desarrollo de una potente industria alrededor de su fabricación y comercialización. La moderna Biotecnología tiene su principal soporte tecnológico en la Ingeniería Genética. La primera empresa de Ingeniería Genética, Genentech (acrónimo de Genetic Engineering Technology), fue creada en 1976 y en poco tiempo consiguió bacterias capaces de producir, por técnicas de manipulación genética, hormona del crecimiento e insulina idénticas a las respectivas hormonas humanas. El éxito fue inmenso y en el año 1980 el precio de la compañía subió en Bolsa más del 100% en pocos minutos. Hoy en día la industria biotecnológica genera miles de

millones de euros, emplea a miles de personas en todo el mundo y ofrece soluciones a muchos de los problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad.

Los OMG u organismos transgénicos son seres vivos a los que, mediante técnicas de Ingeniería Genética, se les ha introducido material genético procedente de otra especie. Se han creado organismos transgénicos a partir de microorganismos, plantas y animales. Los transgénicos se emplean para investigaciones biológicas en campos muy diferentes, incluidos los relacionados con la investigación biomédica, y para la industria alimentaria mediante el cultivo y elaboración de alimentos procedentes de OMG.

Los organismos transgénicos, especialmente los vegetales, han sido objeto de especial atención social, no exenta de polémica, por sus repercusiones en los ámbitos de la salud, la alimentación y la generación de patentes. Aunque hay personas que sostienen lo contrario, no se ha demostrado que el consumo humano de alimentos transgénicos sea perjudicial para la salud. El empleo masivo de plantas transgénicas en agricultura, está produciendo una nueva “revolución verde” con el “diseño genético” y producción de vegetales con mayor valor nutritivo, con resistencia a ambientes extremos, inmunes a los patógenos, o útiles para la biorremediación, proceso mediante el cual se eliminan desechos o contaminantes con la ayuda de seres vivos. Pero no sólo los vegetales son objeto de manipulación genética y producción industrial. Se han creado animales de granja transgénicos que producen sustancias de interés terapéutico en la leche, o animales que sobreexpresan la hormona del crecimiento y alcanzan un tamaño muy superior al normal, o microorganismos que producen sustancias de enorme interés para el tratamiento de enfermedades o que ayudan a eliminar contaminantes debido a la acción industrial o accidentes como el del petrolero *Prestige* en las costas gallegas.

Otra gran aplicación de esta tecnología está dirigida a la Biomedicina, es decir, las aplicaciones relacionadas con la investigación, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, a través de la producción de sustancias de interés terapéutico (hormonas, factores de la coagulación de la sangre, etc.) y nuevas vacunas recombinantes, el diagnóstico de enfermedades o la terapia génica que pretende reparar, anular o sustituir genes causantes de graves

enfermedades hereditarias. La Ingeniería Genética ha abierto nuevos y esperanzadores horizontes y seguramente la Medicina del siglo XXI, además del componente clásico siempre imprescindible, estará en gran medida basada en las técnicas de diagnóstico preventivo y tratamiento especializado de enfermedades. Gracias al conocimiento de los genes responsables de graves enfermedades podemos hacer diagnóstico prenatal de las mismas. Este diagnóstico es muy importante para el consejo genético que deben recibir las familias que se enfrentan a la posibilidad o certeza de tener un hijo con una enfermedad muy grave e incurable. La terapia génica, la reprogramación de células adultas y células madre, permitirá curar las enfermedades de origen genético, reparar o sustituir órganos enfermos, tratar mejor o curar el cáncer. La Farmacogenómica hará posible un tratamiento personalizado a partir del conocimiento de nuestro genoma. En resumen, la Medicina del futuro se hará, en una parte muy importante, empleando técnicas de manipulación del DNA y productos obtenidos mediante esta tecnología.

¿Cómo podrá afectar la Ingeniería Genética a nuestra vida a través del conocimiento de nuestro genoma? Conocemos como es el genoma humano, cual es la secuencia nucleotídica de todos los cromosomas, aunque todavía no lo comprendamos en su totalidad. El conocimiento del genoma humano permite ya, y permitirá aún mucho más, conocer *a priori* muchas de las enfermedades que padecerá o podría padecer una persona a lo largo de su vida. Esto a su vez tiene implicaciones importantes a varios niveles. Así, se podrá diseñar un tratamiento personalizado de determinadas enfermedades y recomendar prácticas específicas por lo que atañe a la alimentación, el ejercicio, etc. Por otra parte, las compañías de seguros podrían variar la prima que aplican a sus clientes dependiendo del análisis genético; evidentemente esta sería una práctica éticamente reprobable y que llegado el momento debería ser regulada por parte de los gobiernos. Y qué decir del derecho a la privacidad de nuestro genoma, ¿Quién debería conocerlo y para qué? Conocer que genes “malos” o “defectuosos” tenemos en nuestro genoma, servirá para evitar que nuestra descendencia pueda padecer esas enfermedades o, como mínimo, para dar esa información a los padres y que ellos asuman su responsabilidad.

En un plano diferente pero también de enorme importancia, la Ingeniería Genética es ya una de las herramientas más potentes que tienen los médicos forenses y la policía. Es probable que todos hayamos visto alguna vez en la televisión un reportaje o una serie de ficción donde se analiza el DNA de un cadáver para identificarlo o una muestra de sangre, un pelo o restos de semen para poder averiguar quién fue el responsable de un asesinato o el autor de una violación. La Medicina Forense y la Policía Científica, no solo emplean los análisis periciales clásicos como los estudios anatómicos, análisis químicos, etc. sino que cada vez más analizan marcadores genéticos como la prueba fundamental en la identificación de personas. En relación con esto, el mundo del Derecho también está involucrado en esta nueva revolución tecnológica, tanto a nivel judicial como legislativo. En los juicios por asesinato, robo o violación, cada vez se emplean más como pruebas concluyentes los análisis de DNA. Estos análisis también son definitivos en las pruebas de paternidad. Es tan importante la prueba de DNA que ha servido para inculpar y exculpar a personas acusadas de graves delitos. En otra vertiente también relacionada con el Derecho, los Parlamentos están legislando para generar un marco legal adecuado sobre las investigaciones en este ámbito y para evitar la inseguridad jurídica. Los EE.UU. han sido pioneros en la legislación sobre diversos temas ligados a la Ingeniería Genética, y su Tribunal Supremo ya se ha pronunciado en varias sentencias, algunas de ellas no exentas de polémica.

## **RIESGOS Y PELIGROS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA**

La Ingeniería Genética nos permite jugar “casi” a ser Dioses porque podemos crear nuevas especies en el laboratorio y alterar el curso natural de la evolución, algo que me parece muy poco recomendable. Un ejemplo de mezcla de genes entre especies muy alejadas evolutivamente, como lo son la planta del tabaco y la luciérnaga, es la planta transgénica del tabaco expresando el gen de la luciferasa en sus hojas, lo que hace que la planta brille en la oscuridad. No parecen existir límites técnicos para producir en el laboratorio todas las

mezclas génicas imaginables entre plantas, animales, microorganismos y virus.

Como se muestra en la Figura 2, la Ingeniería Genética puede proporcionar numerosos beneficios pero no está exenta de riesgos. Cualquier gran avance tecnológico tiene una doble cara y depende de nosotros aplicarlo para incrementar nuestro bienestar o con finalidades espurias o perversas. La energía nuclear sirve como fuente de energía para el funcionamiento de nuestras ciudades e industrias, y también para fabricar bombas atómicas. Los explosivos sirven para abrir caminos y hacer carreteras pero también se pueden usar con finalidades terroristas. Internet ha abierto el mundo al mundo y desde muchos puntos de vista es muy beneficioso, pero también encierra peligros que van desde invadir la intimidad de las personas, a dar cancha a los pederastas o cometer un atraco bancario. La Ingeniería Genética no es una excepción y no todo lo que es posible hacer en laboratorio es éticamente admisible o está exento de graves peligros.

Como ya hemos dicho, el conocimiento del genoma humano es muy beneficioso, pero puede existir la tentación perversa de utilizar esa información para hacer seres humanos a la carta, o que mediante análisis del DNA fetal se impida nacer a determinadas personas porque van a padecer una determinada enfermedad, o que las compañías de seguros o las empresas discriminasen a los ciudadanos basándose en el conocimiento de su genoma. Desde un punto de vista ético, no deberíamos resignarnos a que el progreso proporcionado por esta tecnología solo los disfruten los ciudadanos del primer mundo mientras muchos miles de millones de personas no tienen acceso a casi nada.

El impacto en la agricultura de las plantas transgénicas es muy grande y no está exento de riesgos, principalmente para la biodiversidad. Desde una perspectiva positiva y beneficiosa, las plantas transgénicas destinadas a la alimentación humana o a la generación de productos útiles serán esenciales para el abastecimiento alimentario de la población mundial y para la generación de determinadas materias primas. Las plantas transgénicas se manipulan para incrementar la tolerancia a herbicidas lo que permite fumigar grandes extensiones sin riesgo aparente para la planta transgénica, o para provocar resistencia a determinados insectos evitando

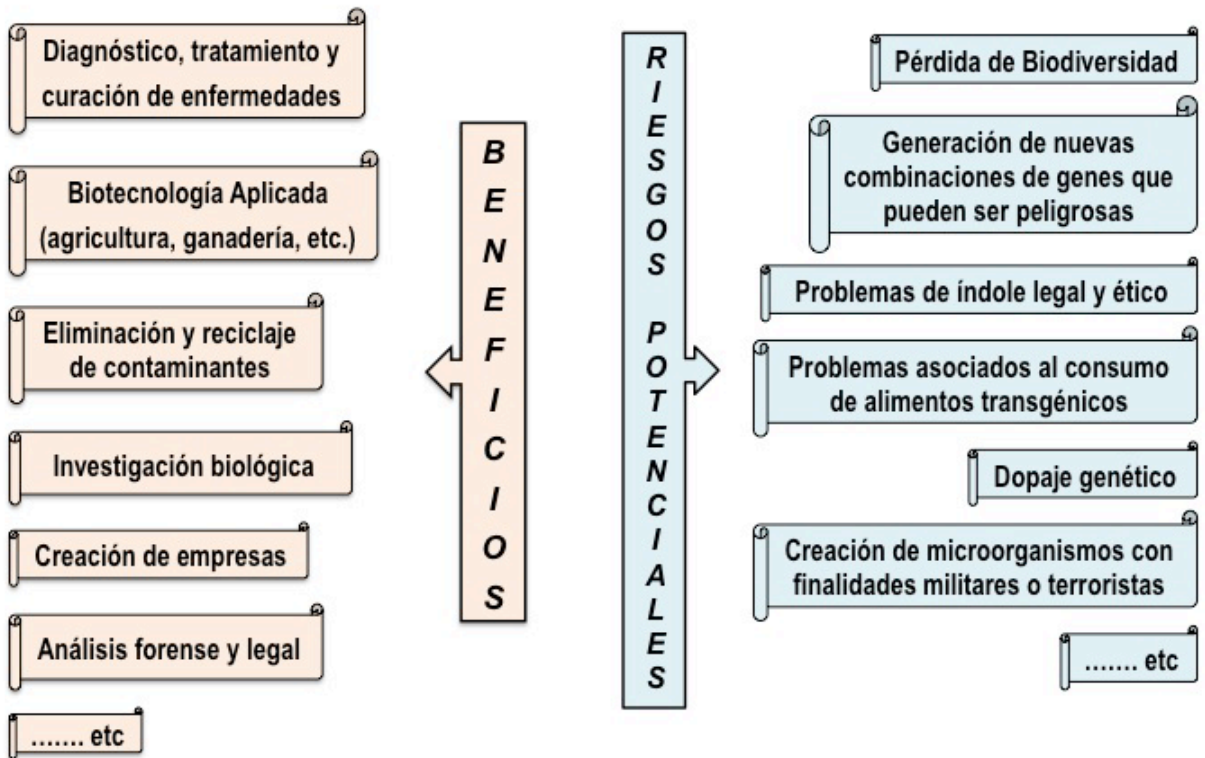


Figura 2. Beneficios y riesgos de la Ingeniería Genética

las plagas que devastan los cultivos. En resumen, que el empleo de organismos transgénicos, en general, puede ser positivo si sirve para mejorar la alimentación, producir sustancias beneficiosas o reciclar sustancias contaminantes. Pero el empleo de organismos transgénicos, sobre todos las plantas, encierra grandes peligros: pérdida de biodiversidad (animal y vegetal) por monocultivo extensivo de estas plantas modificadas genéticamente (algo que ya se venía haciendo antes del desarrollo de estas plantas “nuevas”), contaminación de la flora salvaje con los problemas que puede traer relacionados con la generación de nuevos híbridos y, de nuevo, pérdida de biodiversidad. No debemos olvidar que el destino de nuestra especie está íntimamente ligado al mantenimiento de la biodiversidad del planeta. Pero si esto ya es en sí un enorme riesgo, las sociedades pueden verse sometidas a una *tiranía* económica por parte de las multinacionales implicadas en la producción y comercialización de estas súper-plantas.

La Ingeniería Genética podría emplearse para generar peligrosos virus o bacterias (quizás ya se

hubiese hecho), que podrían eventualmente ser utilizados en un ataque terrorista o en una guerra biológica. Es evidente, al menos para los que tenemos algún conocimiento básico de Biología, que liberar un virus o una bacteria súper-patógena para aniquilar al enemigo, además de ser inmoral, al final podría volverse contra el país agresor porque los seres vivos, también los transgénicos, tienen la capacidad de mutar y “moverse sin fronteras”. La Ingeniería Genética también puede utilizarse para fabricar nuevas drogas que se empleen para aumentar el rendimiento en cualquier actividad humana, como podría ser el denominado dopaje genético para el deporte de alto nivel y muy profesionalizado. El dinero, la fama, el poder son, para muchas personas, estímulos suficientes para llevar adelante prácticas poco recomendables.

La existencia potencial de todos estos riesgos, ¿Deben detener el progreso científico o tecnológico? Creo que no y en cualquier caso el avance de la humanidad es imparable aunque pueda llevarnos a la catástrofe. No hemos aprendido de la Historia y me temo que seguiremos repitiendo



errores. La naturaleza humana es así. La Ingeniería Genética, como otras potentes tecnologías, puede y debe emplearse para el beneficio de la humanidad respetando a la naturaleza. El peligro no es la Ingeniería Genética en si misma sino aquellas personas, instituciones o gobiernos que puedan emplearla con finalidades destructivas.

## A MODO DE CONCLUSIÓN

Como todo avance científico, del que además no conocemos sus límites, las aplicaciones de la Ingeniería Genética deben ser objeto de control por los propios científicos y por las instituciones democráticas nacionales o supranacionales. Pero lo que primero debemos combatir socialmente es la ignorancia que puede llevar a prohibir lo que no se debe, a legislar erróneamente, o a unas altas dosis de demagogia por parte de determinados grupos o ideologías. La Ingeniería Genética puede y debe emplearse para profundizar en el conocimiento de la Naturaleza y aumentar el bienestar de la sociedad, y nunca con una finalidad perversa. La sociedad tiene que estar bien informada y vigilante para impedir que esta tecnología pueda volverse en contra nuestra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVISE, J. (2004). *The Hope, Hype and Reality of Genetic Engineering*. Oxford University Press, New York. 242 pp.
- BROWN, T.A. (2010). *Gene Cloning and DNA Analysis* (6 ed.). Wiley-Blackwell, West Sussex. 320 pp.
- CLARK, D.P. & RUSSELL, L.D. (2000). *Molecular Biology Made Simple and Fun* (2 ed.). Cache River Press, St. Louis. 486 pp.
- GLICK, B.R. & PASTERNAK, J.J. (2003). *Molecular Biotechnology: principles and applications of recombinant DNA* (3 ed.). ASM Press, Washington. 760 pp.
- PRIMROSE, S.B. & TWYMAN, R.M. (2006). *Principles of Gene Manipulation and Genomics* (7 ed.). Blackwell Publishing, Oxford. 644 pp.
- RENNENBERG, R. (2008). *Biotecnología para principiantes*. Editorial Reverté, Barcelona. 300 pp.