



Biotecnología

José María Seguí Simarro

en el menú

Manual de supervivencia
en el debate transgénico



Biotecnología

José María Seguí Simarro

en el menú

Manual de supervivencia
en el debate transgénico

Biotecnología en el menú

Manual de supervivencia en el debate transgénico

José María Seguí Simarro

PREMIO EUROPEO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA ESTUDI GENERAL 2011



Director de la colección: Fernando Sapiña

Coordinación: Soledad Rubio

Esta publicación no puede ser reproducida, ni total ni parcialmente, ni registrada en, o transmitida por, un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, ya sea fotomecánico, fotoquímico, electrónico, por fotocopia o por cualquier otro, sin el permiso previo de la editorial.

© Del texto: José María Seguí Simarro, 2013

© De la presente edición:

Càtedra de Divulgació de la Ciència, 2013

www.valencia.edu/cdciencia

cdciencia@uv.es

Publicacions de la Universitat de València, 2013

www.uv.es/publicacions

publicacions@uv.es

Producción editorial: Maite Simón

Interior

Diseño y maquetación: Inmaculada Mesa

Corrección: Comunico, C.B.

Cubierta

Diseño original: Enric Solbes

Imagen: José M. Seguí, *Biofrankenstein*

Grafismo: Celso Hernández de la Figuera

ISBN: 978-84-370-9230-0

ÍNDICE

PRÓLOGO

Capítulo 1. ¿QUÉ SON LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS?

1. LOS ANTECEDENTES
2. LA TRANSFORMACIÓN GENÉTICA

Capítulo 2. ¿QUÉ NOS APORTAN LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS?

1. TENDENCIAS EN INVESTIGACIÓN APLICADA
 - 1.1 Plantas con mejores características agronómicas
 - 1.2 Plantas con mayor calidad nutritiva
 - 1.3 Plantas ornamentales de diseño
 - 1.4 Plantas biofactoría
2. CULTIVOS AUTORIZADOS Y COMERCIALIZADOS

Capítulo 3. ¿QUÉ OPINA LA SOCIEDAD DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS?

1. EVOLUCIÓN DE LA OPINIÓN SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA
2. OPINIÓN DE LOS EUROPEOS SOBRE LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Capítulo 4. ¿RESPONDE LA OPINIÓN MAYORITARIA A LA REALIDAD?

1. PLANTAS TRANSGÉNICAS Y SALUD
 - 1.1 Toxicidad
 - 1.2 Aparición de alergias
 - 1.3 Resistencia a antibióticos
2. PLANTAS TRANSGÉNICAS Y MEDIO AMBIENTE
 - 2.1 Toxicidad inespecífica
 - 2.2 Transferencia horizontal de genes
 - 2.3 Inestabilidad genética y consecuencias impredecibles
 - 2.4 Aparición de plagas resistentes
 - 2.5 Aumento del uso de pesticidas

- 2.6 Pérdida de biodiversidad y erosión genética
- 3. PLANTAS TRANSGÉNICAS Y SOCIOECONOMÍA
 - 3.1 Dependencia del agricultor
 - 3.2 Pérdidas económicas de los agricultores convencionales
- 4. EN RESUMEN

Capítulo 5. ¿POR QUÉ LA REALIDAD NO LLEGA A LA OPINIÓN PÚBLICA?

- 1. FACTORES INHERENTES A LA PROPIA SOCIEDAD
 - 1.1 Falta de cultura científica y biotecnológica
 - 1.2 Factores sociales, políticos y económicos
 - 1.3 Miedo, riesgo e incertidumbre
- 2. ESTRATEGIAS DE DIFUSIÓN DEL MENSAJE ANTITRANSGÉ-GÉNICO
 - 2.1 Información sesgada
 - 2.2 Reubicación del debate
 - 2.3 Uso de lenguaje tendencioso
 - 2.4 Imágenes impactantes
 - 2.5 Eco mediático
- 3. FACTORES RELATIVOS A LOS GENERADORES Y EXPLOTA-DORES DEL CONOCIMIENTO
 - 3.1 Frivolidad de la comunidad científica
 - 3.2 La mala imagen del sector biotecnológico

Capítulo 6. CONSECUENCIAS DE LA DESINFORMACIÓN

- 1. LA LLUVIA FINA QUE LO MEZCLA TODO
- 2. FOMENTO DEL FANATISMO Y LA IGNORANCIA CIENTÍ-FICO-TECNOLÓGICA
- 3. EL JARDÍN ECOLÓGICO GLOBAL QUE NUNCA EXISTIÓ
- 4. INCONGRUENCIAS VARIAS
- 5. SE IMPIDEN AVANCES REALMENTE IMPORTANTES
- 6. TEMAS ACCESORIOS OCULTAN TEMAS IMPORTANTES

Capítulo 7. SOLUCIONES

- 1. POLÍTICOS Y ECOLOGISTAS PODRÍAN ZANJAR EL DEBATE
- 2. EDUCACIÓN EN CIENCIAS
- 3. BAJAR A LA ARENA MEDIÁTICA
- 4. OBJETIVIDAD, RIGOR Y SENCILLEZ

5. AGRODIVERSIDAD \neq BIODIVERSIDAD
6. LAS EMPRESAS DEBERÍAN MEJORAR SU IMAGEN
7. LA CISGÉNESIS
8. FASTRACK: TRANSGÉNESIS SIN TRANSGÉNICOS
9. LA PROPUESTA DE RENOBLES

EPÍLOGO

ÍNDICE ANALÍTICO

AGRADECIMIENTOS

Este libro ha sido posible gracias también al esfuerzo de mis seres más cercanos. De mi mujer, Marga, que siempre me ha acompañado a donde quiera que vaya, ayudado y apoyado, aceptando irse algunas noches sola a la cama porque yo había quedado con unas plantas transgénicas, o comprendiendo que me quedara un domingo a escribir en casa mientras ella bajaba al parque con los niños. De mis padres, Pepe e Isabel, que me criaron (y siguen haciéndolo), educaron y dieron todo lo que ahora soy. De mis hijos, José Miguel y Alejandro, que sin saberlo me alegran la mañana cuando los veo despertar y me emocionan por la noche cuando vienen corriendo a recibirme a la puerta de casa para que juegue con ellos. También de mi hermano Juanqui, Ali y todos mis amigos. Gracias a todos por hacerme sentir vivo. Os quiero. Y por último, este libro es también posible gracias al trabajo de «mis chicas». Me refiero a Patri, Vero, Alba y Nuria. Gracias a ellas he podido dedicar un poco de mi tiempo a esto sin que nuestros proyectos de investigación se resientan y sin que pare nuestro laboratorio. Muchísimas gracias a todos. De corazón.

PRÓLOGO

A los más veteranos del lugar puede que les resulte familiar una zarzuela que se titulaba *La verbena de la Paloma*, compuesta por Tomás Bretón sobre libreto de Ricardo de la Vega y estrenada allá por 1894. En ella, el autor ponía en boca del boticario, Don Hilarión, una legendaria frase que rápidamente pasó al acervo popular y desde entonces se repite asiduamente con cada avance científico: «Hoy las ciencias adelantan que es una barbaridad».

Con esta sentencia el boticario dejaba patente su asombro ante las novedades terapéuticas que llegaban a su botica, fruto de unos avances científicos que se sucedían a más velocidad de la que la sociedad de la época era capaz de asumir. Esta frase era una gran verdad por aquel entonces, y lo es aún más hoy en día, más de un siglo después del estreno de dicha zarzuela. Con cada avance científico, por espectacular que sea, se abren las puertas para el siguiente avance, aún más espectacular. Cada vez llegan a la sociedad más avances, de más calado, y más rápidamente. Este frenético ritmo en muchos casos está provocando un aluvión de datos que pueden no ser bien digeridos por la sociedad. Surgen voces que apoyan los avances y otras que no los ven como tales avances, sino como amenazas. Ante todo esto, la opinión pública, por pura precaución, suele posicionarse siempre del lado más cauto y precavido.

¿Y eso será bueno?

¿Se sabe lo suficiente como para usarlo sin riesgos?

Yo, por si acaso, voy a lo seguro, a lo de siempre...

Esto precisamente es lo que sucede con las plantas transgénicas y los diferentes productos que de ellas se derivan. Las plantas transgénicas son unas herramientas muy útiles para solucionar muchos de los problemas (no todos, por supuesto) que hoy en día presentan las sociedades de los distintos países. Sin embargo, estas mismas sociedades, supuestamente beneficiarias, muestran en general un claro rechazo a este tipo de aplicaciones biotecnológicas, pues creen que presentan una serie de riesgos potenciales y peligros reales que hacen que sus beneficios no compensen su utilización. Es, sin duda, una de las paradojas más interesantes de nuestros días. Y a su vez, uno de los debates más apasionantes.

A muy distintos niveles, se ha abierto desde hace ya años un intenso debate entre quienes producen, comercializan, cultivan o estudian este tipo de plantas, y quienes se oponen a su cultivo, comercio y consumo. Es la batalla (dialéctica) de los transgénicos. En esta batalla se enfrentan dos bandos muy desiguales, tanto en su número como en sus estrategias, razones, argumentos y resultados. Nadie en las sociedades desarrolladas es ajeno a la realidad de este debate, presente en los medios de comunicación, las tertulias radiofónicas, las columnas de opinión de los diarios o las charlas de barra de bar entre amigos.

-¿Os habéis enterado de lo que ha pasado en Alemania con la gente que está muriendo por comer brotes de soja contaminados?

-podría decir uno de estos amigos.

-Ya... Igual que pasó con lo de las vacas locas, o el aceite de colza...

-podría decir otro amigo.

-Si es que hoy en día, con esto de los transgénicos, nadie está a salvo...

-podría decir un tercero.

-¿No decían que eran buenos? -añadiría el camarero, siempre atento tras la barra.

Y ya tenemos montada una tertulia sobre los transgénicos. La chispa que enciende la mecha es un tema que en realidad no tiene nada en absoluto que ver con los transgénicos, pero como *huele mal*, como los transgénicos, ambos temas se acaban asociando aunque no se sepa muy bien *de qué van*. Muy probablemente ni estos amigos, ni el camarero, ni gran parte de la sociedad sepan muy bien qué son los transgénicos, qué beneficios conlleva su uso y hasta qué punto son o no peligrosos. La idea generalizada es que los cultivos transgénicos son peligrosos para la sociedad, para la salud y para el medio ambiente. En cualquier momento nos pueden *atacar*. Por eso la sociedad los rechaza, los ve como una nueva versión del monstruo de Frankenstein, los *Biofrankensteins*.



Los biofrankensteins son la versión transgénica del viejo monstruo del Dr. Frankenstein. Imagen del autor.

De este modo, cuando alguien sale en un medio de comunicación y argumenta algo a favor del uso de los transgénicos, la primera reacción casi instintiva de mucha gente es sospechar de él y pensar algo como: «Algo oculta, seguro, cuando defiende algo que como todo el mundo sabe, es malo por naturaleza». Reflexiones muy parecidas, si no idénticas, se harán cada vez que lean noticias sobre políticos, instituciones o gobiernos, como el español o la Comisión Europea, que autorizan el cultivo de algún transgénico, aunque sean pocos.

«¿Pero cómo pueden atreverse a autorizar eso, con lo malos que son?». Acto seguido, algunos colectivos comienzan campañas de propaganda y de concienciación social para reforzar la idea de que los transgénicos son malos y de que los gobiernos se están equivocando. A mucha mayor escala, vuelve a reproducirse el debate de la barra del bar. Y en medio de este debate estás tú, que ves y oyes que hay que erradicar los transgénicos si queremos salvar el planeta mientras observas que hay políticos que los autorizan, hay agricultores que los siembran, hay distribuidores que los comercializan, y... ¿hay consumidores que los consumen?

En este libro se pretende analizar el fondo de este debate, en el que se entremezclan ámbitos de la sociedad tan complejos y distintos como el científico, el político, el sociológico, el psicológico y el comunicativo. La idea es mostrar los argumentos de unos y otros, y discutir las causas y las consecuencias que para la sociedad tiene este debate, y sobre todo los cauces que el debate en sí está tomando. Una especie de *manual de supervivencia*, en definitiva, para que tú, como lector, parte de la sociedad y testigo de este permanente fuego cruzado, te formes tu propia opinión. Para ello, se expondrá primero qué son realmente las plantas transgénicas y también qué no son. Para qué sirven y para qué no sirven. Una vez expuesto esto, nos centraremos en analizar la opinión negativa que

sobre ellas tiene la sociedad, en general, y la europea y española, en particular. Exploraremos cuáles son las causas del rechazo y los motivos que las avalan. Se expondrán los argumentos científicos, veraces y contrastables, que hay actualmente para defender las posturas a favor y en contra de la modificación genética de las plantas, y reflexionaremos acerca de si son suficientemente sólidos para sustentar la opinión generalizada, o si hay otras causas que distorsionan la percepción de este fenómeno. Una vez expuestas las causas y su justificación científica y sociológica, se analizarán las consecuencias que el desencuentro entre ciencia y sociedad tiene para ambos partícipes a corto y largo plazo. Finalmente, se plantean posibles soluciones para tratar de paliar el desencuentro y reconciliar a dos contrincantes condenados necesariamente a entenderse y que ya llevan demasiado tiempo distanciados.

En este libro se ha hecho un especial esfuerzo por documentar todas las afirmaciones y los datos, y en especial los más polémicos, con profusión de referencias bibliográficas, de modo que el lector tenga acceso a las fuentes originales. En ese sentido, en la medida de lo posible se ha tratado de incluir referencias accesibles a través de Internet, para que todo aquel lector interesado en contrastar la información que aquí se proporciona, o en ampliarla, pueda de forma fácil y rápida hacerlo. En último término, el objetivo de este libro es proporcionar una visión objetiva de la realidad de las plantas transgénicas sobre la base de lo que la ciencia puede decirnos de ellas sin sesgos ni distorsiones interesadas. Desde una perspectiva divulgativa, pero sin faltar bajo ningún concepto al rigor que un tema como este merece. En algún momento a lo largo de este libro puede que pienses que esto no es así. Que este libro no es objetivo y que tiene un claro sesgo, pues contradice muchas de las ideas instaladas en nuestra sociedad. Soy consciente de ello y asumo el reto de ir

contra corriente, de tratar de explicar una realidad distinta a la que nos llega desde muchos frentes. Si piensas de ese modo, te pediría que hicieses un esfuerzo extra en llegar al final del libro y en comprobar por tu cuenta si los datos que en él se exponen son o no fiables. Precisamente para eso he incluido un buen número de referencias bibliográficas y documentales. Al mismo tiempo, comprueba en qué fuentes beben quienes afirman lo contrario. Tras estos ejercicios, confío en que me creerás si digo que los datos que aquí se exponen son fiables. Con la visión real que se pretende plasmar aquí, y sabiendo cómo y por qué nos llega distorsionada a la sociedad, cada uno de nosotros tendremos más y mejor criterio propio para decidir qué hacer sobre este tema. Porque en definitiva, somos cada uno de nosotros quienes al final decidimos con nuestra opinión qué hacer con este tema, al igual que con muchos otros.

Sea cual sea tu decisión, espero firmemente que al final del libro te sientas mucho más y mejor informado para tomarla. Como autor de lo que viene a continuación, esa sería mi mejor recompensa.

Capítulo 1

¿QUÉ SON LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS?

1. LOS ANTECEDENTES

Una de las ramas del saber que más ha evolucionado en el último siglo ha sido la biología. Hasta los comienzos del siglo XX, la biología tenía como principal finalidad conocer y explicar todos aquellos fenómenos relacionados con la vida, con la existencia de los seres vivos. Lo que se conocía hasta entonces de los seres vivos no permitía, en muchos casos, su utilización más allá de la agricultura o la ganadería. En la mayoría de los casos, los seres vivos eran explotados como alimento, como fuerza motora o como fuente de materias primas muy básicas (madera, textiles, pieles, etc.). Solo en contadas excepciones se utilizaban algunas propiedades de los seres vivos para la elaboración de productos procesados. Valgan como ejemplos las fermentaciones que se utilizaban para transformar leche, harina, cebada o uva en queso o yogur, pan, cerveza o vino, por ejemplo. Esto ha sido así prácticamente desde el Neolítico, época en la que nuestros antepasados dejaron de ser cazadores y recolectores nómadas y descubrieron la agricultura, entendida como el cultivo dirigido de determinadas especies vegetales para consumo humano. De hecho, los primeros experimentos agrícolas se han datado hace cerca de 10.000 años. La domesticación de plantas y animales generó los mayores cambios sociales experimentados por estos seres humanos primitivos. A partir de ahí, poco a poco se fueron dando

cuenta de que las plantas podían ser útiles no solo como alimento. Vieron que con los distintos materiales que las plantas proporcionan se podía elaborar papel, telas, vestidos o cestos. En concreto, con la principal materia prima vegetal, la madera, se comenzaron a elaborar toda suerte de artefactos, desde pequeños, como recipientes (vasos, cubos, platos, barriles), instrumentos musicales o armas, hasta grandes, como muebles, viviendas o incluso barcos veleros capaces de cruzar un océano. Y por supuesto, las plantas siguieron alimentando a nuestros antepasados.

Este ritmo constante pero relativamente lento de avances en el conocimiento y la utilización práctica de los seres vivos se vio exponencialmente acelerado al entrar en el siglo XX. A partir de este siglo la cantidad de descubrimientos relevantes y de datos que comenzaron a revelarse (y siguen revelándose) no tiene parangón con ninguna otra época de la historia de la Tierra. Durante todo el siglo pasado y lo que llevamos de este se han sucedido una serie de avances biológicos a un ritmo endiablado. En la tabla adjunta se puede ver la cronología de algunos de los avances más relevantes. En ella se puede comprobar cómo el tiempo que los separa se ha ido acortando conforme nos acercábamos al final del siglo. También que los avances son cada vez de mayor calado y que hay menos individualismo y más grupos y consorcios.

Esta especie de revolución científico-tecnológica que arrancó hace ya algo más de cien años fue tan abrumadora que algunos científicos comenzaron a plantearse que los seres vivos, y por supuesto las plantas, además podían servir al ser humano para otros muchos y muy diversos propósitos. Y, principalmente, se plantearon que con lo que se iba sabiendo, se podrían manipular los seres vivos para que siguieran proporcionando lo mismo que ya nos proporcionaban, pero de mayor calidad, en mayor cantidad o de forma más rápida. Eso, básicamente, es la biotecnología. No es ninguna casualidad que esta palabra, *biotecnología*,

fuera inventada y utilizada por primera vez en un texto científico a principios del siglo XX.¹

Principales hitos científico-biotecnológicos de los últimos 100 años (Premio Nobel)*

Año	Hito	Descubridor
1902	Primer cultivo <i>in vitro</i> de células vegetales	G. Haberlandt
1907	Primer cultivo <i>in vitro</i> de células animales	R. G. Harrison
1917	Se descubren los bacteriófagos (virus bacterianos)	F. d'Herelle
1919	Se acuña el término <i>biotecnología</i>	Karoly Ereky
1927	Se descubre que los rayos X provocan mutaciones	H.J.Muller*
1928	Se descubre la penicilina, el primer antibiótico	R. Fleming*
1938	Se acuña el término <i>biología molecular</i>	W. Astbury
1941	Se usa por primera vez el término <i>ingeniería genética</i>	A. Jost
1944	El ADN es el material genético	O. Avery
1953	Se caracteriza la doble hélice del ADN	Watson* y Crick*
1959	El ARN mensajero copia la información del ADN	Jacob* y Monod*
1961	Primera letra del código genético	M. Nirenberg*
1962	Se formula el medio MS para el cultivo <i>in vitro</i> de tejidos vegetales	T. Murashige y F. Skoog
1965	Descifrado total del código genético	Nirenberg, Ochoa* y Khorana*
	Primera planta regenerada de una única célula	YVasilyA. C. Hildebrandt
1962-1967	Mecanismo de la síntesis de proteínas	Lipmann* y varios laboratorios
1963-1972	Descubrimiento de los enzimas de restricción	Arber* y Smith,* Nathans*
1973	Plásmidos recombinantes	Berg,* Cohen, H. Boyer
1977	Métodos de secuenciación del ADN	Gilbert,* Sanger*
1981	Se crean los primeros ratones transgénicos	Palmiter, Brinster, Gordon y Ruddle
1983	Se crea la primera planta transgénica	J. Schell <i>et al.</i>

1985	PCR-amplificación del ADN	K. Mullis,* Cetus Corporation
1986	Primer secuenciador automaático	Applied Biosystems
1987	Cromosomas artificiales de levadura (YAC)	David Burke <i>et al.</i>
1988	Técnica del knock-out	M. Capecchi
	Mutación de genes específicos	
1989	Se inicia el proyecto genoma humano	NIH, DOE, HUGO
1993	Primera secuencia de cascada de transducción de señales	Weinberg, Arbuchy, varios
1994	Se aprueba la comercialización del primer alimento transgénico: el tomate FlavrSavr	Calgene
1995	Secuenciación del primer genoma bacteriano: <i>Haemophilus influenzae</i>	tigr-empresa
1996	Secuenciación del genoma de levadura	Unión Europea - Consorcio de laboratorios
1997	Secuenciación del genoma de <i>Escherichia coli</i>	Blattner <i>et al.</i>
	Clon de mamífero-oveja Dolly	Wilmut <i>et al.</i> , Roslin Institute
1998	Secuenciación del genoma de <i>Caenorhabditis elegans</i>	Consorcio de laboratorios
	Descubrimiento de células troncales humanas	Thomson <i>et al.</i>
	Secuenciación del genoma de <i>Drosophila melanogaster</i>	Consorcio de laboratorios y empresas-Celera
2000	Se secuencia la primera planta: <i>Arabidopsis thaliana</i>	The Arabidopsis Genome Initiative
	Mapa general del genoma humano	
2001	Primer borrador del genoma humano	Human Genome Project (consorcio internacional)-Celera Genomics
2003	Se completa la secuenciación del genoma humano	
2005	Se clona una vaca con células de riñón de un cadáver	Steve Stice <i>et al.</i>
2010	Se crea la primera bacteria con genes sintetizados artificialmente	The J. Craig Venter Institute

La biotecnología se entiende hoy en día como «La aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de estos con el fin de alterar materiales vivos o inertes para proveer conocimientos, bienes y servicios».² Y si estos organismos son vegetales,

estaríamos hablando de biotecnología vegetal, también denominada *biotecnología verde*. Los constantes y revolucionarios avances que se han sucedido en el terreno de la biotecnología vegetal a lo largo del siglo XX han hecho que se pueda considerar este siglo como el *siglo de oro de la biotecnología vegetal*.³

2. LA TRANSFORMACIÓN GENÉTICA

De entre todos estos avances, ha habido uno que ha sobresalido muy por encima del resto. Nos estamos refiriendo a la transformación genética estable, también conocida como ingeniería genética o transgénesis. Con estos términos se denomina al conjunto de metodologías que permitieron introducir y mantener permanentemente en las células de una planta genes ajenos a la especie a la que pertenece la propia planta. De este modo, el gen foráneo introducido (*transgen*) pasa a formar parte del conjunto de genes (genoma) del individuo, y es por tanto transmitido a las generaciones siguientes. Este hallazgo ha revolucionado las posibilidades biotecnológicas que nos ofrecen las plantas, como veremos más adelante.

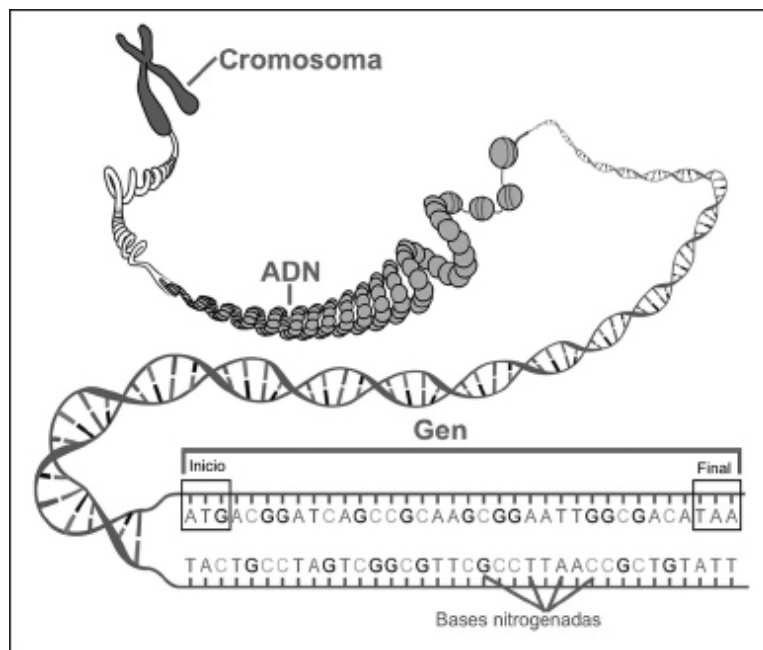
Sin entrar en complejos detalles técnicos y moleculares que no son el objeto de este libro, hay que mencionar que un transgen no es más que un gen cualquiera que se introduce y se pone a funcionar en un organismo distinto al que lo contiene de forma natural. Es decir, que el gen que permite la fabricación de insulina para regular los niveles de glucosa en sangre es exactamente el mismo en nuestro páncreas o en una bacteria transgénica.⁴ Lo que cambia es el «envase» que alberga al gen. Por tanto, químicamente, un transgen está hecho de lo mismo que un gen: una doble cadena de grupos fosfato unidos a moléculas de azúcar (*desoxirribosa*) que llevan a su vez una de cuatro posibles bases nitrogenadas. A esta gran molécula de doble cadena es a lo que se conoce como *ácido desoxirribonucleico* (ADN). El ADN

sirve para guardar instrucciones. Es una especie de método de escritura donde se almacena la información necesaria para las distintas funciones de las células y de los organismos vivos. No se conoce ningún ser vivo, ni tan siquiera los virus, que están en el límite de la vida, que no utilice ácidos nucleicos para almacenar información genética. La distinta información genética se almacena mediante un código que resulta de combinar las cuatro bases de forma distinta. Las cuatro bases son:

- Adenina, simbolizada con la letra A.
- Timina, simbolizada con la letra T.
- Guanina, simbolizada con la letra G.
- Citosina, simbolizada con la letra C.

Una combinación concreta de estas bases en el ADN es lo que se conoce como *gen*, y da lugar a una instrucción concreta. Y al conjunto de todos los genes de un organismo es a lo que se denomina *genoma*. El genoma completo se divide en partes denominadas *cromosomas*. Por ejemplo, los humanos tenemos 46 cromosomas en cada una de nuestras células, y los tomates, las berenjenas y los pimientos, 24. Cada cromosoma alberga miles de genes, estrechamente empaquetados para que quepan todos en un espacio tan pequeño como el del núcleo de una célula. Cada gen da lugar a la fabricación de una proteína concreta. En realidad son las proteínas las encargadas de desempeñar las funciones biológicas. Son intermediarias entre los genes, que albergan las instrucciones, y las funciones y demás caracteres biológicos. Así, según como combinemos las A, las T, las G y las C, obtendremos un gen distinto, que dará lugar a una proteína distinta, y por tanto a una función o a un carácter distinto. De este modo, los genes son los responsables en último término de características como el color de nuestros ojos, el color de nuestra piel, nuestro sexo, nuestra propensión a ciertas enfermedades, nuestros rasgos

faciales o nuestra capacidad para metabolizar determinado compuesto. En definitiva, son los responsables de todas nuestras características. Y de las de las plantas, por supuesto, también. Así, un gen ficticio con una combinación ficticia de bases, como por ejemplo ATCCGAACCT, podría dar lugar a tomates rojos. En cambio, si en ese gen hubiera la combinación TCAGGTTCCG, los tomates serían algo más amarillentos. Y si fuera GAATCGTTCC, serían blancos del todo. Este ejemplo totalmente inventado trata de ilustrar la relación que se da en todos los seres vivos entre la secuencia de bases nitrogenadas que hay en todos sus genes y sus características como organismo. Podríamos por tanto concluir que:



Estructura y ordenación de los cromosomas, genes y bases nitrogenadas.
Adaptación de imagen del National Human Genome Research Institute de EE. UU.

- Todos los seres vivos tenemos genes.
- Todos los genes son químicamente iguales.
- Todos los genes tienen la misma estructura.
- Todos los genes funcionan igual.

- La única diferencia entre genes es la combinación de A, T, G y C que lleven dentro: cada uno tenemos una combinación distinta, única en la naturaleza. En el fondo, lo que nos diferencia en términos genéticos a unos de otros, a los humanos de las bacterias, a los elefantes de las hormigas, y a las lechugas de las palmeras, son las combinaciones de las bases A, T, G y C.

Todo esto es igualmente válido para un gen y para un transgen, cuya única diferencia es su origen. Un transgen procede de un organismo distinto al que lo contiene y expresa. Así pues, una planta transgénica es una planta que contiene un transgen en su genoma y que lo expresa. Es decir, una planta que contiene genes de otros organismos y, por tanto, presenta características nuevas, distintas a las no transgénicas de su misma especie.



En el fondo, todos somos A, T, C y G. Ilustración del National Human Genome Research Institute de EE. UU.

Aunque esto pueda parecer muy novedoso, lo cierto es que introducir genes de unas especies en otras no es algo tan nuevo ni tan raro. De hecho, lleva haciéndose desde hace mucho tiempo, aunque de otra manera y con más limitaciones. Nos referimos a la mejora genética clásica.

Desde que el ser humano descubrió la agricultura, comenzó a manipular el genoma de las plantas. Llegó un momento en el que no le bastó con que los tomates se pudieran comer. Se hartó de esa acidez que algunos tienen, y deseó que no la tuvieran. Y antes o después de eso, deseó que además fueran más grandes. Y más dulces. Y con la comercialización, deseó que las matas de tomate fueran capaces de crecer más, en menos tiempo y en menos espacio. Y que resistieran a más inclemencias meteorológicas, y a más enfermedades. Y que los tomates no se pudrieran tan pronto. Y que... La curiosidad humana no tiene límites, y si por algo nos caracterizamos como especie es por tratar de ir siempre más allá de nuestros propios límites y de los límites de lo que nos rodea. Este es el motor que ha impulsado la mejora vegetal desde que el ser humano se dedica a la agricultura. La mejora genética vegetal⁵ se basa en utilizar los principios de la genética clásica para producir, mediante cruces dirigidos, variedades mejoradas con características más deseables tales como una mayor resistencia frente a plagas o enfermedades, mayores rendimientos, mayores o mejores propiedades nutricionales, texturas, aromas, colores o sabores más agradables o intensos, etc. En pocas palabras, se dedica a mejorar lo que ya hay previamente, cruzándolo entre sí. Vemos pues que un requisito ineludible para la mejora es que los individuos que se vayan a cruzar sean sexualmente compatibles. Si no, no se pueden cruzar ni mejorar..., a no ser que metamos un poco de biotecnología. Por ejemplo, con la transformación genética, que nos permite sortear todas las barreras reproductivas que aíslan a las especies entre sí. En definitiva, la transgénesis sería una herramienta biotecnológica para mejorar plantas, igual que la mejora genética clásica, incorporando en unas lo que nos interesa de otras. Pero con una gran diferencia: no es necesaria la compatibilidad sexual.

El conjunto de técnicas de transformación genética supuso una autentica revolución no solo en plantas, sino