

Desarrollo de nuevos diseños vegetales: Mejora genética vs transformación genética y edición génica

Development of new plant design: plant breeding vs genetic transformation and gene editing

Pedro Martínez Gómez 

Acceso Abierto

Correspondencia:
pmartinez@cebas.csic.es
Departamento de Mejora Vegetal.
CEBAS-CSIC, PO Box 164, E-30100
Espinardo, Murcia, España

Recibido: 24-03-2021
Aceptado para publicación:
28-08-2021
Publicado en línea: 20-09-2021

Palabras clave:

CRISPR;
Edición génica;
Medioambiente;
Mejora genética;
OMG;

Key words:

Breeding
CRISPR;
environment;
gene editing;
GMO;

Citación:

Martínez Gómez P. Desarrollo de nuevos diseños vegetales: Mejora genética vs transformación genética y edición génica. Magna Scientia UCEVA 2021; 1: 90-103. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a13>.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es realizar un estudio comparativo sobre la eficacia, eficiencia técnica y costo de las tecnologías más importantes para el desarrollo de nuevos diseños vegetales, incluyendo la mejora genética, la transformación genética y la edición génica. Si bien, la obtención de organismos modificados mediante transformación genética y edición génica es un proceso con una mayor eficacia y eficiencia y un menor costo, se debe hablar por otro lado, de un rechazo social de estos organismos modificados genéticamente a nivel medioambiental, de salud pública, económico y religioso en un contexto anti tecnológico de rechazo. Por otro lado, existe una ideología tecnológica de apoyo a estas investigaciones. Esta ideología habla de la necesidad de dejar a los científicos las manos libres para escrutar los secretos de la naturaleza. El binomio ciencia-opinión pública, está también más que presente en el debate de esta cuestión; además de la persuasión en ambos bandos a favor y en contra de los cultivos modificados. En este contexto, una mayor cultura técnica en la población y cultura tecnológica y de la innovación entre los agricultores, será lo que potencializará este tipo de cultivos. Finalmente, un análisis funcional de la biotecnología en general y la obtención de plantas modificadas en particular, puede mejorar su percepción social en línea con la mayor entrañabilidad de la tecnología, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología.

Abstract

The aim of this reflection is to carry out a comparative study on the efficacy, technical efficiency and cost of the most important technologies for the development of new plant designs, including plant breeding, genetic transformation and gene editing. Although obtaining this type of organisms is a process with greater effectiveness and efficiency and at a lower cost, on the other hand, we must speak of a social rejection of these genetically modified organisms at an environmental, health level public, economic and religious in an anti-technological context of rejection. On the other hand, there is a technological ideology to support these investigations. This ideology speaks of the need to have allowed to scientists have their hands free to scrutinize the secrets of nature. The science-public opinion binomial is also more than present in the debate on this question; as well as persuasion on both sides for and against modified crops. In this context, a greater technical culture in the population and a technological culture and innovation among farmers, will be what will potentiate this type of crops. Finally, a functional analysis of biotechnology in general and obtaining modified plants in particular, can improve their social perception in line with a greater technology endearing, it would also be of interest in order to neutralize the initial technology rejection.

Introducción

Desde hace más de siete mil años, los seres humanos se han dado cuenta de que es posible seleccionar especies de plantas con el fin de facilitar su cultivo para la producción de alimentos, lo que se denominó, *el arte de la agricultura*. Este proceso de adaptación y selección, se denomina domesticación e implica una serie de prácticas, el mejoramiento genético vegetal. La mejora genética vegetal se constituye una ciencia aplicada. Dentro de esta ciencia aplicada en los primeros milenios, surge la biotecnología con métodos muy rudimentarios [1].

En el Siglo I a.C. el escritor hispano-latino Columela, escribía en su obra *De Rústica* “*si la cosecha es excepcional, las semillas de grano deben moverse en un recipiente y las que van al fondo deben utilizarse para la reproducción*” [2]. Posteriormente, esta biotecnología dedicada a la obtención de nuevas variedades de plantas, va desarrollando e incorporando nuevas metodologías cada vez más sofisticadas hasta llegar a la aplicación de las tecnologías del ADN recombinante y la transformación genética para la obtención de organismos modificados genéticamente [3]. Más recientemente, surge la edición de genes, mediante la cual, se brinda la posibilidad de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas. Esta edición génica (también denominada edición genética), se basa en el uso de unas secuencias de ADN específicas presentes en las bacterias, denominadas repeticiones palindrómicas, cortas, agrupadas y regularmente espaciadas; conocidas por sus siglas en inglés como CRISPR (*clustered regularly interspaced short palindromic repeats*) [4].

Este desarrollo histórico, entraría dentro de lo que el filósofo Ortega y Gasset [5] llama *estadios de la técnica*; un primer estadio del azar (la domesticación de las especies), un segundo estadio artesano (la etapa pregenética basada en la experimentación y los cruzamientos) y un último estadio técnico (después de Medel y del descubrimiento de la estructura del ADN en lo que se llama genética molecular y genómica) [5]. Para Ortega y Gasset [5], no existe hombre sin técnica y está presente en todos los ámbitos, incluida la vida de las plantas; señalando que, a principios del siglo XX, nos encontrábamos en una “*mutación tecnológica*”, única en la historia; Situación más acusada en estos inicios del siglo XXI.

El objetivo de esta reflexión es realizar un estudio comparativo sobre la eficacia, eficiencia técnica y costo de las tecnologías más importantes para el desarrollo de nuevos diseños vegetales, incluyendo la mejora genética, la transformación genética y la edición génica.

Desarrollo de nuevos diseños vegetales

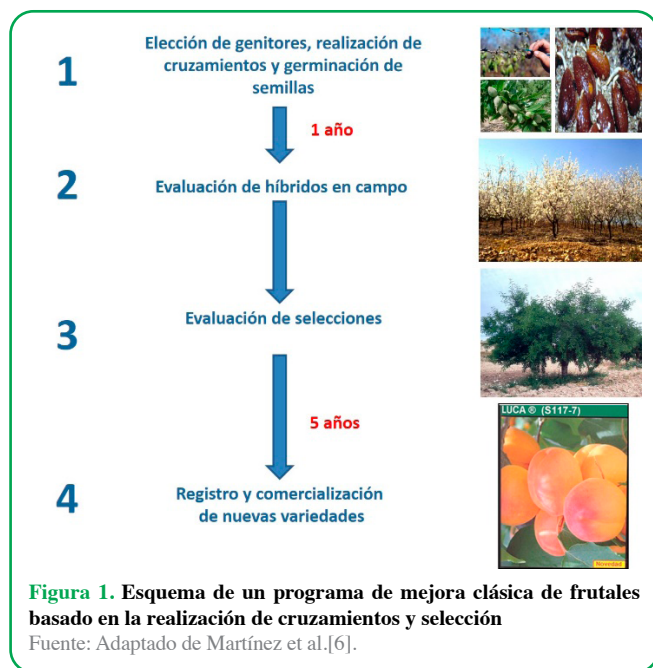
El desarrollo de nuevos diseños vegetales es una ciencia aplicada que requiere de un soporte empírico, basado en la observación y experimentación encaminada a la resolución de problemas concretos, por ejemplo, la productividad, la resistencia a estreses bióticos y abióticos, la calidad del fruto, entre otros [6]. Tiene un componente de ciencia de la naturaleza, en la medida en que se apoya en las ciencias de la vida; en particular, en la genética. Cabe considerarla entonces como una ciencia empírica aplicada. Al mismo tiempo, es una ciencia de lo artificial. Lo es por sus objetivos, procesos y resultados, puesto que surge de un diseño que da lugar a todo lo demás. Así, la mejora genética vegetal sirve de base para la biotecnología; porque, al mismo tiempo que es una ciencia cada vez más relacionada con potenciar las posibilidades humanas —*que es un rasgo de las ciencias de diseño dentro de la ciencia de lo artificial*—, está estrechamente relacionada con la obtención de nuevas patentes, proporciona conocimiento científico que sirve de base para la Industria agrícola [7,8].

Desarrollo de nuevas variedades vegetales mediante mejora genética clásica

La hibridación y realización de cruzamientos en plantas, solía ser una disciplina de interés aplicado exclusivamente dentro de la botánica, la cual fue desarrollándose a lo largo de los años. Los seleccionadores de plantas, observaban que los caracteres a mejorar, eran sobre todo, los relativos a la cantidad (producción, rendimiento, tamaño del grano, etc.). Mejorar significaba ir “*hacia más*”. Los que habían intentado comprender cómo funcionaban los mecanismos de herencia o mejora, eran más los estadísticos que los biólogos [1].

Estas técnicas de mejora basadas en los cruzamientos, se mantienen en la actualidad en lo que respecta a programas de mejora de plantas para la agricultura [9] (ver figura

1), o programas de cría de nuevas razas de animales en la ganadería. Las prácticas ancestrales relacionadas con la mejora genética de plantas, evidencian el respeto por los límites de la naturaleza, trabajando con genes que existían en las diferentes especies vegetales [6].

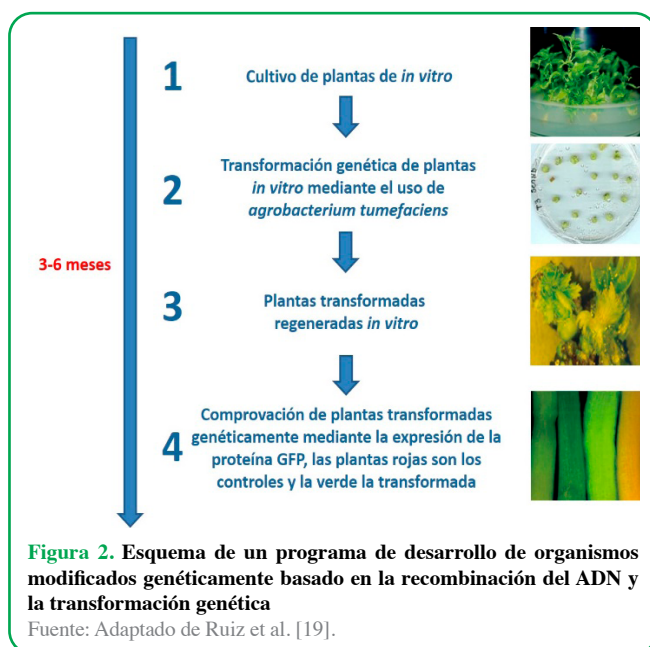


La mejora vegetal, tiene como principio básico el generar variabilidad y seleccionar los individuos con los caracteres deseados; mejorando lo existente y ampliando el elenco varietal disponible, dando respuesta a las necesidades de productores y consumidores. Para ello se utiliza el polen como vehículo de información genética y así realizar los cruzamientos para la obtención de nuevos individuos que serán seleccionados de acuerdo con unos criterios establecidos. Tomando como ejemplo la mejora genética de frutales [6], los caracteres más importantes en un programa de mejora genética vegetal, son los siguientes: *i*) el árbol: autocompatibilidad floral, época de floración y maduración, productividad y resistencia a plagas y enfermedades; *ii*) fruto y/o semilla (almendro): calidad organoléptica del fruto, tamaño del fruto y la semilla, forma del fruto y la semilla, sabor de la semilla, dureza de la cáscara y rendimiento al descascarado. Esta tecnología presenta el problema de la duración de los procesos de cruzamiento que, en algunos casos, se hace necesario replicar con más retrocruzamientos y en otros casos, como los frutales, se debe esperar varios años en cada proceso (figura 1).

Desarrollo de organismos modificados genéticamente mediante transformación genética

El descubrimiento de la estructura del ADN (1953), con la definición exacta del gen y el establecimiento (1970) de lo que se denomina el dogma central de la biología molecular: “la información genética puede ser transferida entre los ácidos nucleicos, y a partir de ácidos nucleicos a proteínas, incluyendo la replicación del ADN, transcripción de ARN y la traducción a proteína expresada en el fenotipo” [10]; se erigen como la contribución más importante a las ciencias biológicas en el siglo XX.

Estos nuevos descubrimientos sobre las moléculas implicadas en la herencia, fueron también incorporados a las metodologías aplicadas en mejora genética vegetal en lo que ha sido llamada la era “genética molecular” [11]. El descubrimiento de la estructura del ADN, revolucionó los paradigmas científicos de los estudios genéticos en plantas, cambiando la genética de una ciencia fenomenológica y estadística, a una ciencia molecular y química. Las cuestiones relacionadas con los mecanismos de transmisión genética, la segregación, la mutación y la expresión de los caracteres, fueron reformulados en términos químicos y moleculares. Posteriormente, como resultado del desarrollo de técnicas de secuenciación del ADN, se pudo acceder al conocimiento genético a nivel de cada nucleótido en la denominada era de la “Genómica”. Una de las tecnologías más usadas desde finales de los años 60, son las tecnologías basadas en la recombinación del ADN [12]. Después del estudio de bacterias, se aislaron diferentes enzimas como polimerasas, retro transcriptasas, endonucleasas o ligasas que eran capaces de cortar, empalmar o amplificar el ADN. Las teorías de recombinación de ADN se basaban en el uso de estas enzimas en el laboratorio para crear ADN artificial o recombinante. El avance del conocimiento biotecnológico y la mejora han avanzado muchísimo y en paralelo a lo largo del siglo XX, desde el redescubrimiento de las leyes de Mendel, a la obtención de los primeros maíces híbridos o las mutaciones inducidas. Hechos fundamentales, han sido el descubrimiento de la estructura del DNA, la posterior revolución verde o el cultivo *in vitro* (figura 2).



La biotecnología sufrió un impulso definitivo en los años 80 con la secuenciación Sanger, con la invención de la PCR y la obtención de los primeros organismos superiores transformados genéticamente a principios de los años ochenta. Fue en 1974, cuando se crearon las primeras bacterias modificadas, en 1980, el primer animal que fue un ratón y en 1988, las primeras plantas de maíz transgénico. Gracias al desarrollo de técnicas de cultivo *in vitro*, una de las aplicaciones más importantes del ADN recombinante, fue la creación de plantas y animales modificados genéticamente, lo que se denominan todavía en la actualidad, transgénicos [3,13]. En unos meses se puede obtener mediante cultivo *in vitro*, una planta modificada genéticamente (figura 2).

Desarrollo de organismos modificados genéticamente mediante edición génica

A partir del conocimiento de la secuencia completa de los genomas de los organismos vivos, se ha desarrollado una tecnología posgenómica de edición de genes, capaz de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas. La edición génica (también denominada edición genética), se basa en el uso de unas secuencias de ADN específicas presentes en las bacterias, denominadas repeticiones palindrómicas cortas, agrupadas y regularmente interspaciadas, conocidas

por sus siglas en inglés como CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) [4].

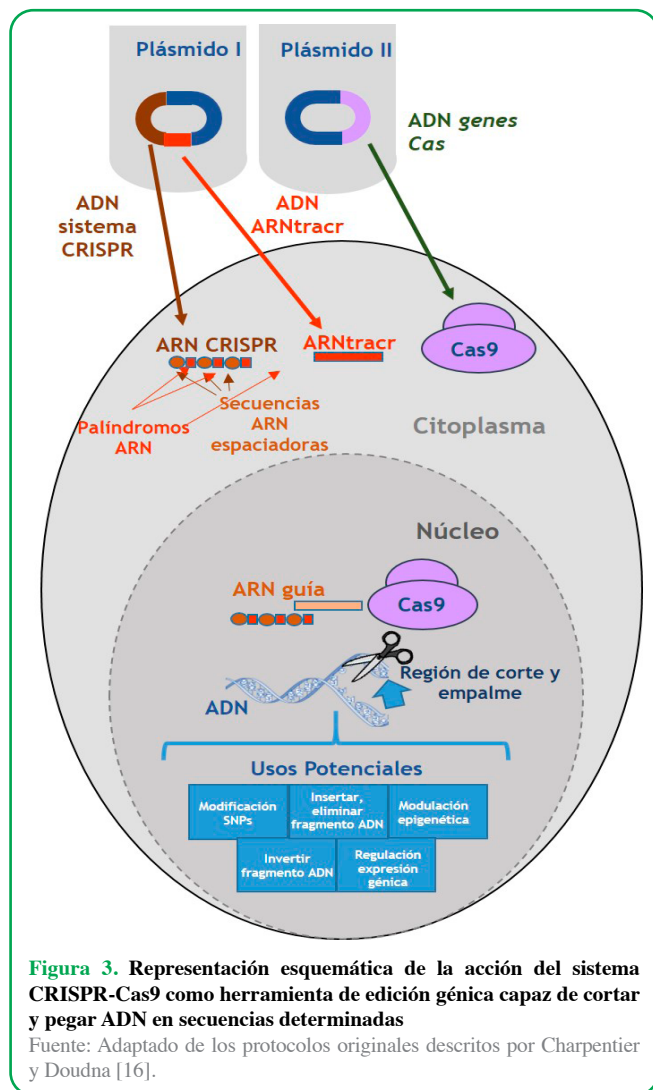
Estos tipos de secuencias CRISPR fueron descritas por primera vez por Mojica et al. [14], en numerosas especies de bacterias. Hasta el año 2010, estas secuencias fueron estudiadas como mecanismos de respuesta inmunitaria de las bacterias a virus. Las secuencias CRISPR permitían a la bacteria incorporar parte del ADN del virus, lo que se consideran secuencias espaciadoras dentro del sistema CRISPR, y mediante una proteína del tipo nucleasa llamada cas-9 (CRISPR associated protein 9), destruir los fragmentos de un nuevo ADN viral que coincidía con las secuencias espaciadoras incorporadas. Este mecanismo de eliminación de bases de ADN del virus mediante el sistema CRISPR-cas9, era considerado un tipo de respuesta inmune específica de la bacteria a cada virus determinado [4]

Sin embargo, Haurwitz et al. [15], descubrieron que las proteínas cas1 (ya habían sido aisladas numerosas nucleasas de este tipo al igual que cas-9), podían funcionar también como tenazas químicas que permiten cortar pequeños fragmentos de ARN de CRISPR, los cuales sirven para reconocer el ADN del virus [15]. Finalmente, en un par de años, los equipos liderados por Emmanuelle Charpentier desde Suecia y Jennifer A. Doudna desde EEUU, desarrollaron la tecnología definitiva para usar el sistema CRISPR-Cas9, como herramienta de edición de genes, corta-pega de ADN en las regiones del genoma deseadas. Lo que hicieron fue combinar las secuencias CRISPR con un ARN guía [llamado *Trans-activating crRNA (ARNtracr)*] por un lado en un plásmido y en otro plásmido, las secuencias Cas [16] (ver figura 3).

De esta forma, se proponía una nueva tecnología basada en Cas9 programada por ARN para la detección y edición del genoma en las posiciones deseadas. Por primera vez, se podía modificar el genoma en la posición deseada; una técnica de transformación genética revolucionaria, que, a diferencia de la transformación genética clásica de la genómica, sí permitía seleccionar la región a modificar y no hacerlo de forma aleatoriamente. Se había desarrollado una tecnología de edición génica capaz de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas, permitiendo: *i)* modificar una única base de ADN; *ii)* activar o inhibir la expresión de un gen; *iii)* insertar, eliminar o invertir un fragmento de ADN; *iv)*

modular la regulación epigenética de un gen, entre otras aplicaciones [4] (figura 3).

De hecho, estas investigadoras, recibieron en el año 2020, el Premio Nobel de Química por este descubrimiento. En la actualidad, se utiliza un único plásmido donde van insertados todos los fragmentos de ADN; pudiéndose incluir hasta 20 guías distintas para actuar simultáneamente en 30 regiones diferentes del genoma [17] (figura 3).



Mejora genética vs transformación genética y edición génica

El descubrimiento de la estructura del ADN (1953), trajo consigo la definición exacta de las técnicas de obtención de nuevas variedades transgénicas, lo que se conoce

como organismos modificados genéticamente; estos se presentan como una alternativa a la obtención de nuevas variedades mediante mejora genética clásica [11].

La mejora genética clásica y la mejora por ingeniería genética o transformación genética, son fundamentalmente distintas, a pesar de su similitud superficial. La mejora genética clásica recurre a caracteres fenotípicos cualitativos y cuantitativos favorables, los cuales son ya existentes en la diversidad genética de la especie, al desarrollar fenotipos superiores para un agroecosistema. En cambio, en el ámbito operativo actual, la mejora por ingeniería genética o transformación genética, excluye a los caracteres cuantitativos, lo cual lo hace dependiente de la mejora genética clásica, al desarrollar un fenotipo superior en el agroecosistema.

La precisión proclamada de la transformación genética, y más específicamente en el caso de la edición génica, se limita al conocimiento exacto del gen transgénico, una vez hecha la inserción de una quimera transgénica. Sin embargo, esa inserción se realiza sin blanco definido (en un cromosoma y menos en un locus), acarreando diversas consecuencias que pueden ser negativas al obtener unas nuevas variedades totalmente ajenas a lo existente en la naturaleza y que cuestionan la técnica en cierto modo [4,18,19].

Estas son las dos grandes cuestiones, en la transformación genética y la edición génica, únicamente se incorpora un gen mientras que, en la mejora por cruzamientos, se incorporan la mitad de los genes en cada cruzamiento. Por otro lado, la realización de cruzamientos y retrocruzamientos en campo y su evaluación, es mucho más tediosa que el trabajo llevado a cabo en condiciones de laboratorio para efectuar la transformación genética y la edición génica [17-19].

La otra gran ventaja, es el registro y la protección de los organismos transformados genéticamente; lo cual es mucho más efectivo, porque al no poder propagarse estas plantas fuera de las condiciones de laboratorio, causan afectación a la vertiente económica en términos de la obtención y uso de los transgénicos en la mayoría de los casos, en manos de grandes multinacionales. El primer caso de protección intelectual de plantas fue la Ley de Protección de Patentes de Plantas promulgada en 1930 en Estados Unidos. Sin embargo, a nivel mundial, hubo que esperar hasta 1961, para la creación de la primera

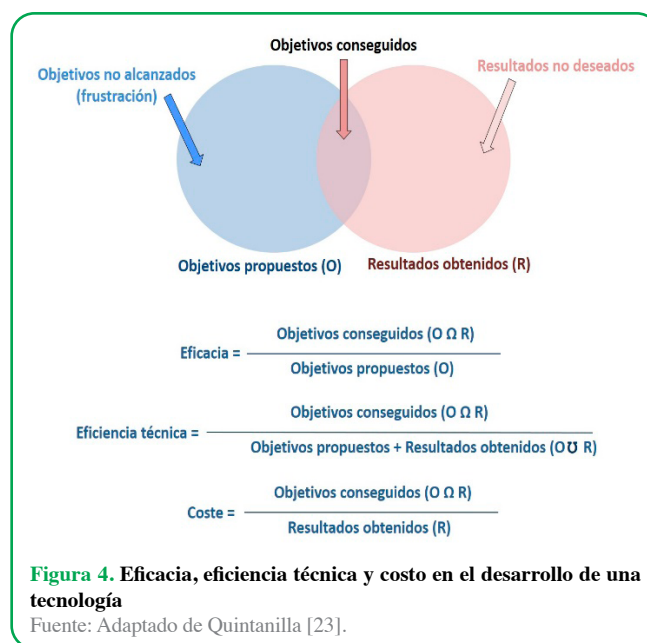
Unión para la Protección de la Innovación de Variedades Vegetales (UPOV) [2]; en el caso de los transgénicos, esta protección es aún mayor, debido a que el agricultor no puede por sus medios, multiplicar la variedad. Una innovación, en cuanto a creación de una nueva variedad modificada genéticamente, se diferencia claramente de un descubrimiento. Esa innovación o “*invento*” en cuanto que tiene como resultado, materiales y procesos que no existen en la naturaleza sin la intervención del hombre; como sucede con las nuevas variedades. El descubrimiento conduce al aumento de conocimiento sobre la naturaleza y sus dinámicas, mientras que un descubrimiento no es patentable, un invento sí.

Por otro lado, Jasanoff [20], quien ha sido una de las estudiosas más importantes de los efectos económicos del uso de transgénicos, denuncia el carácter imperial de EEUU a partir de la II guerra mundial y sobre todo, durante la guerra fría a partir de los años 50 del siglo XX. Este carácter de imperio, se manifiesta en toda su dimensión en la agricultura y sobre todo, en la aplicación de la biotecnología en la agricultura y el uso de organismos modificados genéticamente. Posteriormente, describe lo que ella llama “*la Constitución del Imperio*”, como una consolidación social e ideológica de este imperio americano en torno al enemigo que es la Unión Soviética y el comunismo como forma de organización económica frente al capitalismo americano. Jasanoff [20], menciona además un caso paradigmático de este imperio de la biotecnología, las plantas modificadas genéticamente, y más concretamente, los maíces modificados genéticamente con el gene bt de la resistencia al talador de la multinacional Monsanto™. Como conclusión, Jasanoff [20], expone la gobernanza mundial biotecnológica de EEUU, como una expresión de colonialismo e imperialismo.

Evaluación de la eficacia, eficiencia técnica y el costo del desarrollo de nuevos diseños vegetales

Es necesario tener en cuenta también la complejidad funcional de los “*diseños*” realizados a partir de la realización de cruzamientos y la transformación genética. Estos bioartefactos creados por el hombre, dentro del ámbito de lo artificial, producen cambios significativos en ciertos rasgos de las especies vegetales a través de diferentes

mecanismos. Además, en este desarrollo de los bioartefactos, es necesario tener en cuenta su componente de la nueva tecnología que se desarrolla [21,22]. Desde este punto de vista del proceso tecnológico y en línea con el criterio expuesto por Quintanilla [23], la eficacia se definiría como la ratio entre los objetivos conseguidos y los objetivos propuestos; la eficiencia técnica como la ratio, hace referencia a los objetivos conseguidos y los objetivos propuestos en adición de los resultados obtenidos; y el costo, se puede definir como la ratio entre los objetivos conseguidos y los resultados obtenidos [24] (figura 4).



Además de Vries [25], habla de un tipo de artefactos catalogados como “*bio-engineered plants*” (plantas de bioingeniería) en la que se catalogarían nuestros bioartefactos producidos mediante transformación genética además de “*greenhouse plants*” (plantas de invernadero) análogas a nuestras plantas obtenidas mediante mejora clásica [25].

Comparación de la eficacia y la eficiencia técnica entre la mejora genética, la transformación genética y la edición génica

La mejora genética presenta una menor eficacia como tecnología, frente a la transformación genética y la edición génica, debido a que al usar como vehículo de

información genética el polen, además de los genes de interés, se introducen otros genes no deseados. Por lo tanto, los resultados obtenidos, serán menores respecto a los objetivos propuestos. En el caso de las plantas obtenidas mediante transformación genética, y sobre todo, a través de la edición génica; como se introducen únicamente los genes deseados, esta eficacia resulta mucho mayor (figura 5).

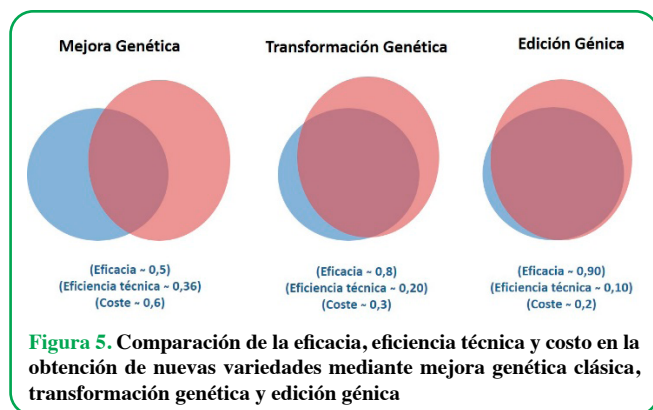


Figura 5. Comparación de la eficacia, eficiencia técnica y costo en la obtención de nuevas variedades mediante mejora genética clásica, transformación genética y edición génica

Además de una mayor eficacia, de acuerdo con el criterio de Quintanilla [23], el desarrollo de bioartefactos mediante la transformación genética y sobre todo, a través de la edición génica, presenta una mayor eficiencia técnica (figura 5). Por lo tanto, el proceso de selección en el caso de la mejora genética, resulta más largo y costoso, por tener que realizarse en el campo, respecto a la transformación genética, donde los biomarcadores permiten una primera selección *in vitro* [6,19]. Esta mayor eficiencia técnica (figura 5), posee también unas connotaciones económicas en el contexto del costo de cada tecnología que se analizará a continuación.

Comparación del costo entre la mejora genética, la transformación genética y la edición génica

En consonancia con la mayor eficacia y eficiencia, el desarrollo de bioartefactos mediante transformación genética y, sobre todo, edición génica, presenta un menor costo (figura 5). Entre las variables económicas a tener en cuenta en el desarrollo de la tecnología, el costo es una de las más importantes. Así, la durabilidad (su ciclo de vida) de un bioartefacto, como es una nueva variedad genética o su precio de mercado, afecta a la innovación tecnológica.

Se debe partir de un quehacer humano orientado hacia objetivos viables, pero con un costo razonable a nivel del esfuerzo para la realización del diseño. También, se asume que la posterior difusión del nuevo bioartefacto, depende de su propia entidad como actividad humana conectada también con otras actividades, derivadas de la política tecnológica elegida [26].

Guston [27], propone un esquema de flujo de dinero desde la economía a la ciencia y un flujo de investigación desde la ciencia a la economía. En este contexto económico, la inversión en términos financieros, resulta en principio, más rentable en el caso del desarrollo de plantas transgénicas. Esta mayor rentabilidad, está dada, por un lado, por la mayor eficacia, eficiencia técnica y el menor costo de esta tecnología antes mencionado. Adicionalmente, el registro y protección de los organismos transformados genéticamente, es mucho más efectivo al no poder propagarse este tipo de plantas en condiciones externas de los laboratorios [27].

Guston [27], propone además un contrato social de la ciencia para mejorar estos flujos. Uno de los pilares de este contrato, debe ser la autorregulación de la ciencia de cara a mejorar la integridad de la misma [27]. Esta autorregulación de la ciencia, es si cabe aún más importante en el caso del desarrollo de nuevas tecnologías, la cual posee una repercusión directa en la sociedad. Una de estas tecnologías, es la del desarrollo de plantas transgénicas. En este sentido, algunos autores, proponen una tecnología capaz de regular la propia tecnología; un proceso sin duda alguna que estaría dentro del control social de la tecnología [28].

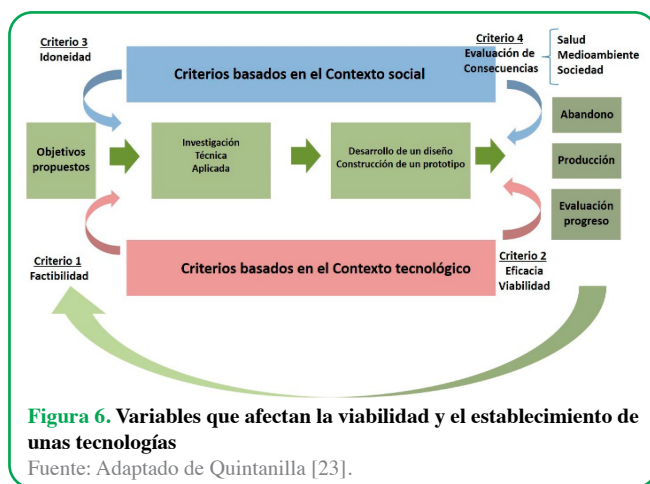
Adicionalmente, Guston [27], presenta unas estrechas relaciones entre economía y política. Son precisamente los países con una mayor producción o participación en el cultivo de plantas transgénicas, como Argentina o EEUU, los que poseen una legislación más laxa en esta materia; los políticos de estos países, hacen leyes orientadas a potencializar la economía derivada de los transgénicos.

En la Unión Europea si bien estuvo prohibido el cultivo de transgénicos, en estos momentos, las actuales directivas, ponen en evidencia algunos países con una prohibición estricta como Francia y Alemania y otros más permisivos, como es el caso de España. Esta nueva legislación, entra en consonancia con la presión de los “lobbies” económicos relacionados con el cultivo de transgénicos. La Unión

Europea, disponía de una de las reglamentaciones más duras en el mundo sobre los organismos genéticamente modificados (OGM), cuyo cultivo, sólo se permite tras un profundo análisis de riesgo. Sin embargo, tras años de presiones y discusiones, los Estados de la UE, acordaron en el año 2015, una propuesta para disponer cada uno de ellos, de más flexibilidad al tratar con los transgénicos en su propio territorio. La situación ha cambiado drásticamente, de ser común la prohibición, se ha pasado a ser común la autorización.

Criterios de evaluación basados en el contexto tecnológico: variables a evaluar

Además de analizar la eficacia, la eficiencia técnica y el costo de cada tecnología (figura 6); se hace necesario, el examinar las variables que afectan la viabilidad y el establecimiento de otras tecnologías. Se puede hablar de variables basadas en el contexto tecnológico (serían endógenas o internas de la tecnología) y las variables basadas en el contexto social, exógenas o externas que influyen en ese fenómeno [23]. Ambos grupos de variables, han de ser susceptibles de una valoración en cada una de las tecnologías analizadas y el fruto de este análisis, dará como resultado, una viabilidad global de la tecnología (figura 6).



Factibilidad de los desarrollos

La factibilidad de los desarrollos, es otra de las cuestiones importantes a tener en cuenta. Esta factibilidad, está basada en variables dentro del contexto tecnológico de

cada tecnología [24]. Dentro de este contexto tecnológico, de Vries [25], expone los procesos tecnológicos en el desarrollo de una tecnología en lo que sería nuestros programas de mejora o los trabajos de laboratorio de transgénicos antes descrito. La factibilidad tecnológica, dependerá entonces de la existencia de un germoplasma con los genes deseados para el caso de la mejora genética clásica; o de la optimización del proceso del cultivo *in vitro* y de la regeneración de plantas transformadas, para el caso del desarrollo de los organismos modificados genéticamente (OMG).

Criterios de evaluación basados en el contexto tecnológico: desarrollos metodológicos

La eficacia y viabilidad del programa de mejora genética y del programa de transformación y edición génica, dependerá de estos desarrollos metodológicos dedicados a la evaluación. Se deben incluir entonces, diversos factores de tipo económico en un programa de mejora genética vegetal, en cuanto se evidencie actividad humana, actividad que estará orientada hacia los objetivos genético-vegetales que resulten viables. Los procesos a realizar, han de tener un costo razonable, en cuanto al nivel del esfuerzo para llevar a cabo la realización del diseño y los medios a utilizar.

El resultado es dar lugar a un nuevo bio-artefacto, lo que requiere del conocimiento y los procesos científicos. Pero el impacto real para la sociedad, viene con la tecnología que propicia esa innovación mediante unos objetivos y un quehacer, los cuales originan el artefacto biológico que surge de transformar la propia realidad y permitir que posea un precio en los mercados. Intervienen así, una racionalidad científica, una racionalidad tecnológica y una racionalidad económica; que sirven como vía de conexión entre ambas. La mediación económica incide directamente en la actividad humana desplegada.

Estos dos términos van relacionados en el contexto económico antes mencionado en la figura 6, la relación entre ciencia y economía [27]. Por otro lado, la figura 5 expone la mayor eficacia relacionada con el desarrollo de bioartefectos, mediante la transformación genética, la cual presenta una mayor eficiencia técnica. La evaluación de esta factibilidad, eficacia y viabilidad, puede llevar al abandono del nuevo diseño vegetal; si

no fuera factible su producción, en cualquier caso, este proceso de evaluación es continuo.

Criterios de evaluación basados en el contexto tecnológico: idoneidad

En general, la biología es considerada como una ciencia con una perspectiva teleológica. Esta visión teleológica de la biología, ha sido ampliamente analizada por filósofos de la ciencia, como Rosemberg [29]; donde la visión teleológica puede ser analizada también como un proceso jerárquico y relacionado con la naturaleza [29]. Por eso no es de extrañar que esta creación de vida artificial mediante ADN recombinante, llegara al ideario colectivo del “*monstruo de Frankenstein*” [30]. Dusek [31], por su parte, expone el concepto de la antitecnología para explicar el fenómeno denominado, rechazo a los transgénicos.

Por eso, es claro que la tecnología basada en los límites de la naturaleza como la mejora genética clásica, presenta a priori, una mayor idoneidad en un contexto social respecto a las plantas transgénicas basadas en la inclusión de genes de fuera; saltándose los límites de la naturaleza, lo cual resulta a priori, menos idónea. Además, para Duchesbeau [32], la percepción que tiene de la biología la sociedad en general, es la de una ciencia muy relacionada con la vida y con un carácter netamente teleológico o funcional. Por tanto, es una percepción mucho más sensible que la de otras disciplinas [32].

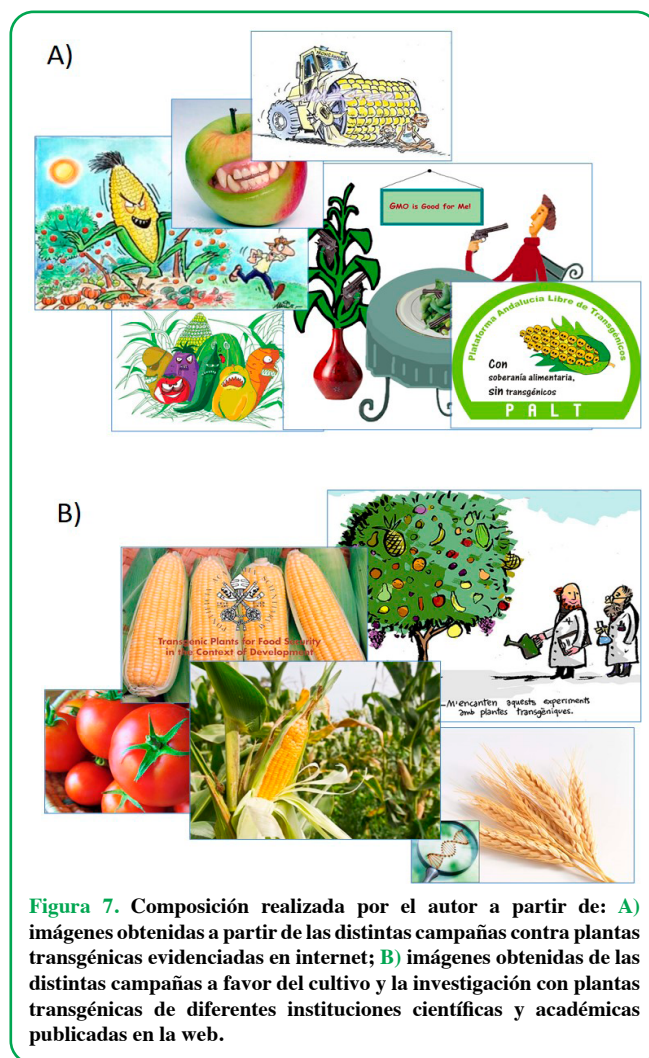
En el contexto de preocupación por el desarrollo de organismos vivos modificados genéticamente, se establece el gran rechazo social de estos cultivos [30]. Se puede entonces encontrar un gran número de campañas en contra del cultivo de estos transgénicos, tanto en medios de comunicación como en internet [33]. En estas campañas, la propaganda gráfica como herramienta en contra de los cultivos transgénicos, es más que notable (figura 7).

Evaluación de consecuencias para la salud

Una de las cuestiones más importantes relacionadas con la aplicación de los transgénicos como tecnología, es la seguridad alimentaria de los productos (*biosafety*)

[34]. Por un lado, a nivel de los efectos perniciosos de los transgénicos para la salud, Lorenz y Wackernagel [35], fueron pioneros en la denuncia de la posible recombinación genética de bacterias al entrar en contacto con organismos modificados genéticamente. Estas superbacterias, que en algunos casos, llevan los genes de resistencia, podrían tener un elevado riesgo para la salud pública a nivel mundial. Otros autores como Teuber [36], exponen los problemas de seguridad alimentaria que pueden tener estos transgénicos para los humanos y el ganado, que después, será utilizado en la alimentación.

Los efectos de estas dudas sobre la seguridad alimentaria, continúan sintiéndose a través de la industria de la biotecnología (figura 7).



Debido a los peligros potenciales de bioseguridad, los científicos en todo el mundo, habían detenido experimentos utilizando la tecnología del ADN recombinante, la cual implicaba la combinación de ADN de diferentes organismos; dando origen al actual comité de expertos “*Advisory Committes*”, especializados en organismos modificados genéticamente [37]. Por otro lado, desde el mundo de la ciencia, se ha hecho una campaña muy importante a favor de los beneficios de los transgénicos para la salud y la alimentación. En la web, se pueden evidenciar campañas a favor del cultivo y la investigación con plantas transgénicas proveniente de diferentes instituciones científicas y académicas (figura 7). Esta presencia en la sociedad de los científicos y tecnólogos, es lo que Dusek [31] llama tecnocracia.

El investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), agencia estatal española adscrita al Ministerio de Ciencia e Innovación con la consideración de organismo público de investigación en España, José Miguel Mulet Salort [38], habla de una primera generación de plantas transgénicas para producir más, una segunda generación para producir mejor, e incluso una tercera generación de plantas con diferentes “*moléculas*” beneficiosas para el organismo, lo que se llamaría “*alimentos*” o alimentos del tipo medicamentos [38].

Evaluación de consecuencias medioambientales

La influencia del cultivo de transgénicos a nivel medioambiental, ha sido ampliamente estudiada a diferentes niveles, logrando describir un gran número de riesgos. Por un lado, se ha descrito la recombinación genética de hongos, al entrar en contacto con organismos modificados genéticamente; estos hongos como *Aspergillus nigra*, llevan los genes de resistencia a los antibióticos usados en el proceso de obtención de organismos transgénicos, los cuales podrían representar un elevado riesgo para el cultivo de plantas que pudieran resultar afectadas [39].

El otro gran grupo de riesgos medioambientales causados por el cultivo de transgénicos, es la propia transferencia de estos genes introducidos de forma artificial a otras plantas. Dale y Sheffer [40], analizan esta posibilidad y el efecto que tendría en la contaminación de germoplasma

autóctono o de especies silvestres no cultivadas. Estos problemas medioambientales, obligan a establecer unos rigurosos controles transcontinentales y la elaboración de protocolos para la toma y análisis de muestras [41]. Uno de los ejemplos más estudiados, es el del maíz (*Zea mays* L.) transgénico cultivado en México. Se debe tener en cuenta que el maíz, es originario de México y su ancestro silvestre, el “*teosinte*”, todavía se encuentra actualmente en el territorio. Por lo tanto, la contaminación de los recursos naturales del maíz en México, con los genes transgénicos, supondría una erosión genética de esta especie de incalculable valor [18].

Para contrarrestar esta cuestión, se está llevando a cabo una campaña por los propios científicos a favor de la llamada “*Cisgénesis*” en contraposición a la “*Transgénesis*”. El proceso es similar en ambos casos, pero en el caso de la “*Cisgénesis*”, los genes que se insertan son de la propia especie, a diferencia de lo que ocurre en la “*Transgénesis*”, donde se presentan genes provenientes de otras especies u organismos. En el fondo, se quiere justificar la transformación genética, como metodología de desarrollo de nuevas variedades vegetales y desactivar las dudas sobre sus efectos medioambientales [42]. En el caso de la edición génica, el proceso de modificación genética, se puede asemejar a la cisgénesis, debido a que no existen elementos externos al organismo modificado [4].

Evaluación de consecuencias sociales

Michael Foucault estableció el concepto de “*Biopoder*” aplicable a esta concepción imperialista y colonialista del uso de la biotecnología en los EEUU. Una de las consecuencias de este “*Biopoder*”, es la pérdida de la soberanía nacional en términos tecnológicos, o también, en términos biológicos como puede suceder con el estudio de los recursos fitogenéticos de un país [20]. Finalmente, y a un nivel menos importante, hay que hablar de los motivos religiosos del rechazo a los transgénicos. Este tema lo aborda de forma detallada, Gross [43] en “*la retórica de la ciencia*”. Al margen de la figura de monstruo de Frankenstein que hay detrás de estos transgénicos, una parte de la sociedad critica la falta de ética de estos experimentos argumentando que únicamente es Dios el dueño de la vida y quien es capaz de modificarlos.

Además, algunos autores [33,38], hablan también de las falsas promesas hechas por la industria de la ingeniería agrogenética; la cual, alega, que alejará a la agricultura de la dependencia en los consumos químicos, que incrementará su productividad y que también, disminuirá los costos de los consumos; ayudando a reducir los problemas ambientales. Sin embargo, la biotecnología desarrolla soluciones monogénicas (un sólo gene introducido en una planta) para problemas que derivan de sistemas de monocultivo ecológicamente inestables, diseñadas sobre modelos industriales de eficiencia. Quienes proponen la biotecnología, se consideran que poseen una visión utilitaria de la naturaleza y favorecen el libre intercambio de las ganancias económicas por el daño ecológico, siendo indiferentes ante las consecuencias para los seres humanos [33].

En virtud de lo anterior, de Vries [25], habla de la vertiente moral de los desarrollos tecnológicos; una cuestión que debe manejarse desde una triple perspectiva, como sigue: *i*) la virtud de los desarrollos tecnológicos; *ii*) las consecuencias y *iii*) las reglas [25]. Otros autores [44], abordan el estatus moral de una tecnología o de un artefacto cerrado, por lo tanto, si existe algún problema moral con una tecnología, es necesario resolverlo.

Quintanilla [23], expone en este contexto, un progreso moral que debe acompañar al progreso tecnológico. En este sentido, se han realizado una serie de publicaciones, algunas de ellas muy recientes, abogando por el cultivo de plantas transgénicas como solución a los problemas del hambre en el mundo [3,45]. Bajo la presente perspectiva, esta sería una de las grandes justificaciones del uso de transgénicos. Sin embargo, choca con la realidad actual, en la que se observa como las variedades de transgénicos cultivadas, están en manos de multinacionales con caras patentes, y que, además, como es el caso de Monsanto™, crean una gran dependencia, además de costosa para el agricultor respecto a la multinacional. El agricultor además de comprar cada año las semillas, tiene que comprar a la misma empresa, en forma de monopolio, los agroquímicos necesarios para el cultivo.

Por otro lado, desde la perspectiva de la economía y los negocios, se insta a los científicos a intervenir en la opinión pública de un país, en el tema del uso de transgénicos, mediante la divulgación e información

dentro del mundo de los periodistas y la prensa. Autores como Sentker [46], exponen la necesidad de intervenir en la información publicada por los medios “convenciendo” con argumentos sólidos, a los periodistas para influir en la opinión pública. En este contexto: sociedad-ciencia-medios, existe, además, una presencia importante de la economía y la política [46].

Otro aspecto muy importante que abordan algunos autores [25], es la necesidad de la educación de los niños en torno a la cultura tecnológica como solución a la aceptación social de cualquier tecnología; como es en el presente caso, el uso de los transgénicos. En este contexto, la diferencia cultura técnica, cultura tecnológica e innovación, se convierten en elementos sociales de interés para la asimilación de una nueva tecnología [24]. Esta cultura de innovación, por ejemplo, entre los agricultores, será la que potencializará el cultivo de los transgénicos.

Evaluación de la entrañabilidad de las tecnologías

La tecnología entrañable, es un concepto acuñado por vez primera en el año 2002, por el profesor de la Universidad de Salamanca-España, Miguel Ángel Quintanilla [23,24]. Este concepto va encaminado a evitar la alienación de la técnica mencionada por Ortega y Gasset [5], en su obra, “*Meditación de la Técnica*”, que produce en el hombre, una pérdida de la conciencia de la técnica.

Para Quintanilla [23,24], algunas de las fuentes que producen esta alienación tecnológica, comprende: *i*) la opacidad del diseño; *ii*) la virtualización y *iii*) la simplificación. De estos tres aspectos, dos están muy implicados en el caso del desarrollo de organismos modificados genéticamente, como son la opacidad y la virtualización del diseño. Esta opacidad estructural en el diseño, produce en la opinión pública, una incapacidad en el control de estos diseños y un sometimiento. Así mismo, Quintanilla [23,24], expone las características más importantes que debe tener una tecnología entrañable, entre las cuales, se encuentran: *i*) el carácter abierto, polivalente, reversible, recuperable, participativo y sostenible y *ii*) una dimensión moral y cultural.

Por tanto, una mayor entrañabilidad de la tecnología, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología. En este sentido, Kroes y Meijers [47], señalan el análisis coherente que se debe plantear ante una nueva tecnología o artefacto entre su descripción estructural y funcional. Un análisis funcional de la biotecnología en general, y la obtención de transgénicos en general, puede mejorar su percepción social [22], en línea con la entrañabilidad de la tecnología antes mencionada [23].

Conclusión

Las técnicas de obtención de nuevas variedades transgénicas (organismos modificados genéticamente mediante transformación o CRISPR), se presentan como una alternativa para la obtención de nuevas variedades mediante mejora genética clásica con una mayor eficacia y eficiencia, además de un menor costo. Sin embargo, estas nuevas tecnologías, producen un rechazo social a nivel medioambiental, de salud pública, económico y religioso. Por lo tanto, se debe vincular una ideología de rechazo o antitecnológica, por un lado, y por el otro, una ideología tecnológica de apoyo a estas investigaciones. En este contexto, una mayor cultura técnica en la población, una cultura tecnológica y de innovación entre los agricultores, será lo que potencie el cultivo de los transgénicos. Finalmente, un análisis funcional de la biotecnología en general, y la obtención de transgénicos en general, puede mejorar su percepción social en línea con la mayor entrañabilidad de la tecnología, la cual, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología.

Consentimiento de publicación

El autor leyó y aprobó el manuscrito final.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de la institución a la que pertenece.

Perfil de autoría

Pedro Martínez Gómez

Master of Science en Mejora Genética por el IAMZ de Zaragoza, España y Dr. Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Murcia, España; estancia Doctoral en la Universidad de California-Davis, EEUU, jefe del Departamento de Mejora Vegetal, Grupo de Mejora Genética de Frutales del Centro de Edafología y Biología Aplicada (CEBAS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (<http://www.cebas.csic.es/>) en Espinardo-Murcia, España. Editor Jefe de la revista *Scientia Horticulturae* (revista Q1 de Elsevier, <https://www.journals.elsevier.com/scientia-horticulturae>) y miembro del Editorial Board of PLANT Article Transfer Group de Elsevier. Sus temas de interés, comprende la genética, genómica y la transcriptómica de *Prunus*. Sus líneas de investigación abarcan la mejora genética del albaricoquero y del almendro; la resistencia a virus en frutales del género *Prunus*; los marcadores moleculares aplicados a la mejora genética en frutales del género *Prunus*; el letargo invernal y época de floración en frutales del género *Prunus* y la calidad del fruto en frutales del género *Prunus*. Es coobtentor de 5 variedades de albaricoquero, 2 de almendro y 1 de ciruelo. Además, ha publicado 140 trabajos en revistas científicas del SCI, director de 12 tesis doctorales, 13 TFG y TFM. En agosto de 2006, recibió en Seúl el Premio “Miklos Faust International Award for Young Pomologists”, convocado por la ASHS y la ISHS; en febrero de 2012, recibió en Teherán, el Premio “Khwarizmi International Award” y la “Medalla de la FAO” por su contribución a la investigación agraria en países en vías de desarrollo. En enero de 2019, recibió en La Habana-Cuba, el Premio *CITMA 2018* por su colaboración en la conservación y explotación de recursos fitogenéticos de Cuba.



Referencias

- [1] Wood RJ, Vitezslav A. Genetic prehistory in selective breeding. A prelude. 2nd ed. Londres, Inglaterra: Oxford University Press; 2005.
- [2] Buiatti M. Le biotecnologie L'ingegneria genetica fra biologia, etica e mercato. Madrid, España: Acento Editorial; 2002.
- [3] Mou B, Scorza R. Transgenic Horticultural Crops – Challenges and Opportunities. CRC Press. Boca Ratón-Florida, USA. 1st ed. Boca Ratón-Florida, USA: CRC Press; 2011.
- [4] Doudna J, Sternberg S. Una grieta en la creación : CRISPR, la edición génica y el increíble poder de controlar la evolución. 1st ed. Madrid, España: Alianza; 2020.
- [5] Ortega y Gasset J. Meditación de la Técnica. Madrid, España: Santillana; 1997.

- [6] Martínez Gomez P, Sozzi G, Sánchez Pérez G, Rubio M, Gradziel T. New approaches to Prunus tree crop breeding. *Journal of Food Agriculture and Environment* 2003;1:52–63.
- [7] Martínez-Gómez P. Scientific Prediction and Prescription in Plant Genetic Improvement as Applied Science of Design: The Natural and the Artificial, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52500-2_9.
- [8] Martínez-Gómez P. Predicción científica y prescripción en mejora genética vegetal en cuanto Ciencia Aplicada de Diseño: El caso de la mejora de frutales del género Prunus. *Acta Agronómica* 2016;66:115–27. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n1.52329>.
- [9] Hayward MD, Bosemark NO, Romagosa I. *Plant breeding: principles and prospects*. 1st ed. London, UK: Chapman & Hall; 1993.
- [10] Sellés M, Solís C. *Historia de la ciencia*. 4th ed. Barcelona, España: Espasa; 2013.
- [11] Watson JD, Berry A. *ADN. El secreto de la vida*. 1st ed. Buenos Aires, Argentina: Alfabeta S.A.; 2006.
- [12] Rose S. *Historia y relaciones sociales de la genética*. 1st ed. Barcelona, España: Fontalba; 1983.
- [13] Silva Dias J, Ortiz R. *Advances in Transgenic Vegetable and Fruit Breeding*. *Agricultural Sciences* 2014;05. <https://doi.org/10.4236/as.2014.514156>.
- [14] Mojica FJM, Diez-Villasenor C, Soria E, Juez G. Biological significance of a family of regularly spaced repeats in the genomes of Archaea, Bacteria and mitochondria. *Molecular Microbiology* 2000;36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2000.01838.x>.
- [15] Haurwitz RE, Jinek M, Wiedenheft B, Zhou K, Doudna JA. Sequence- and Structure-Specific RNA Processing by a CRISPR Endonuclease. *Science* 2010;329. <https://doi.org/10.1126/science.1192272>.
- [16] Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E. A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science* 2012;337. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>.
- [17] Wang D, Zhang C, Wang B, Li B, Wang Q, Liu D, et al. Optimized CRISPR guide RNA design for two high-fidelity Cas9 variants by deep learning. *Nature Communications* 2019;10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12281-8>.
- [18] Turrent Fernández A, Cortés Flores J, Espinosa Calderón A, Serratos Hernández J, Mejía Andrade H. Diferencias entre el mejoramiento genético clásico del maíz y el mejoramiento por ingeniería genética. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2011;2:955–69.
- [19] Ruiz D, Martínez Gómez P, Rubio M, Petri C, Larios A, Campoy J, et al. Application of biotechnology tools to Apricot breeding. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology Global Science Books* 2011;5:101–17.
- [20] Jasanoff S. *Biotechnology and Empire: Osiris* 2006;21:273–92. <https://doi.org/10.1086/507145>.
- [21] Cuevas Badallo A. Los bioartefactos: viejas realidades que plantean nuevos problemas en la adscripción funcional. *Argumentos de Razón Técnica: Revista Española de Ciencia, Tecnología y Sociedad, y Filosofía de La Tecnología* 2008;71–96.
- [22] Cuevas-Badallo A, Vermaas PE. A functional abc for biotechnology and the dissemination of its progeny. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 2011;42:261–9. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2010.12.008>.
- [23] Quintanilla Fisac MA. La democracia tecnológica. *Arbor* 2002;173:637–51. <https://doi.org/10.3989/arbor.2002.i683-684.1143>.
- [24] Quintanilla MA. *Tecnologías entrañables, una alternativa para el desarrollo tecnológico*. San Cristobal de La Laguna, España: 2013.
- [25] de Vries M. *Teaching about Technology*. vol. 27. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2005. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3410-5>.
- [26] González W. Racionalidad científica y racionalidad tecnológica, la mediación de la racionalidad económica. *Ágora : Papeles de Filosofía* 1998;17:95–115.
- [27] Guston DH. *Between politics and science*. Cambridge University Press; 2000. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511571480>.
- [28] Wiener JB. The regulation of technology, and the technology of regulation. *Technology in Society* 2004;26:483–500. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2004.01.033>.
- [29] Rosenberg A. *The structure of biological science*. Cambridge University Press; 1985. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171724>.
- [30] Turney J. *Frankenstein's footsteps: science, genetics and popular culture*. 1st ed. New Haven, USA: Yale University Press; 1998.
- [31] Dusek V. *Philosophy of technology: an introduction*. Blackwell Publishing, 2006.
- [32] Duchesbeau F. L'Argumentationj finaliste en biologie. In: de Coorebyter V, editor. *Rhétoriques de la Science*. 1st ed., Paris, France: Presses Universitaires de France; 1994, p. 189–200.

- [33] García Hernández R. Aproximación a un debate psico-sociológico sobre los transgénicos y la biotecnología. *CríticaCl* 2006;25:1–14.
- [34] Schmidt E, Hankeln T. Transgenic organisms and biosafety. Horizontal gene transfer, stability of DNA, and expression of transgenes. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1996. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.
- [35] Lorenz MG, Wackernagel W. Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiological Reviews* 1994;58:563–602. <https://doi.org/10.1128/mr.58.3.563-602.1994>.
- [36] Teuber M. Genetically modified food and its safety assessment. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 181–95. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [37] Devos Y, Craig W, Schiemann J. Transgenic crops, risk assessment, breeding risk, assessment and regulatory framework in the European Union, breeding regulatory framework in the European Union. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, New York, NY: Springer New York; 2012. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_167.
- [38] Mulet Salort J. Plantas transgénicas: Mucho más que una revolución verde. In: Sam Pedro Ruiz D, editor. *Un breve viaje por la ciencia: Ensayo 2010 : V Certamen “Teresa Pinillos” de ensayos de divulgación científica y humanística*. 1st ed., Madrid, España: Universidad de la Rioja, España; 2012, p. 59–65.
- [39] Hoffmann T, Golz C, Schieder O. Preliminary findings of DNA transfer from transgenic plants to a wild-type strain of *Aspergillus niger*. In: Schmidt R, Hankeln T, editors. *Transgenic Organisms and Biosafety Horizontal Gene Transfer, Stability of DNA, and Expression of Transgenes*. 1st ed., Berlin, Heidelberg-Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 77–84. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.
- [40] Dale PJ, Scheffler J.A. Gene dispersal from transgenic crops. In: Hoffmann T, Golz C, Schieder O, editors. *Transgenic Organisms and Biosafety Horizontal Gene Transfer, Stability of DNA, and Expression of Transgenes*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 85–93. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.
- [41] Parker IM, Bartsch D. Recent advances in ecological biosafety research on the risks of transgenic plants: A trans-continental perspective. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic Organisms*. 1st ed., Basel: Birkhäuser Basel; 1996, p. 150–60. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6_11.
- [42] Schouten HJ, Krens FA, Jacobsen E. Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants. *EMBO Reports* 2006;7:750–3. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400769>.
- [43] Gross A. *The rhetoric of science*. vi. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press; 1990.
- [44] Vermaas P, Kroes P, van de Poel I, Franssen M, Houkes W. A philosophy of technology: From technical artefacts to sociotechnical systems. *Synthesis Lectures on Engineers, Technology and Society* 2011;6:1–134. <https://doi.org/10.2200/S00321ED1V01Y201012ETS014>.
- [45] Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. Basel: Birkhäuser Basel; 1996. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [46] Sentker A. Genetic engineering and the press — Public opinion. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 241–54. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [47] Kroes P, Meijers A. The dual nature of technical artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 2006;37:1–4. <https://doi.org/10.1016/J.SHPSA.2005.12.001>.