



HIDDEN NATURE

Tu espacio para la Divulgación Científica

Número 12 · 4T/2020



Organismos Modificados Genéticamente



9 772531 040206

PVP Recomendado - 1.50€

Los organismos modificados genéticamente (OMG) han venido para quedarse. Y no, no es algo que sea de golpe, de un día para otro.

A lo largo de estas páginas, vas a leer sobre distintos aspectos de la obtención de organismos donde hemos modificado su genoma. Ello, sin embargo, no contempla solamente la manipulación como tal, del ADN, en el laboratorio. Incluimos también otras prácticas que los seres humanos hemos venido realizando desde hace miles de años para seleccionar aquellas variedades que más nos convenían. A lo largo de los siglos, mediante procesos de ensayo-error y selección de descendientes, hemos conseguido generar especies muy diferentes a sus ancestros silvestres. Por supuesto, sin tener ni idea de los fundamentos biológicos que se escondían detrás, pues solo hemos tenido constancia de las leyes de la herencia y la configuración de los genomas desde hace escasos cien años.

Por tanto, una de las ideas principales que atraviesan este número es que todos los organismos domesticados, desde el trigo hasta los perros, también son organismos modificados genéticamente, muy alejados a lo que su especie fue en un principio.

No obstante, lo cierto es que en las últimas décadas, con toda la revolución en la genética y la tecnología, nuestro conocimiento sobre el funcionamiento de la herencia de los caracteres, los genes que intervienen en ellos y, lo más importante, la forma de apagarlos o moverlos y los efectos que ello desencadena nos han convertido en expertos manipuladores de otras especies a nuestro antojo. Es decir, ahora mismo, somos capaces de hilar más fino en cuanto a ese proceso que nuestros antepasados hacían de forma rudimentaria y lenta a lo largo de generaciones y generaciones seleccionadas por nuestra mano.

Y es aquí, donde nuestro conocimiento por la manipulación de otros organismos comienza a


1. **Por qué el problema de los transgénicos es nuestro, y no de los transgénicos** - pág. 3
2. **Organismos Modificados Genéticamente: una mirada introspectiva al pasado, presente y futuro** - pág. 8
3. **Infografía: Producción de Organismos Modificados Genéticamente en el mundo** - pág. 14
4. **El Museo en casa: Selección artificial vs Edición genética** - pág. 16
5. **Edición de genoma en agricultura: Herramientas alternativas a la transgénesis** - pág. 18
6. **Análisis de los loci de rasgos cuantitativos como alternativa convencional a los organismos transgénicos en el estudio de genes y rasgos de resistencia en plantas** - pág. 22
7. **PreguntasHN ¿Existen los tomates morados?** - pág. 26
8. **Un día más para el futuro** - pág. 28
9. **Colaboradores** - pág. 31

Francisco Gálvez Prada

Socio fundador del Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Científicos - BioScripts. CEO en IguannaWeb y CTO en Hidden Nature.



crear un dilema moral en cuanto a los límites y las desconocidas consecuencias de nuestros actos para con el medioambiente y otras especies que viven en él, junto a nosotros. Por ello, te animo a que pases de página y así profundices en la modificación genética, su importancia, su controversia y los muchos ejemplos que la ingeniería genética ha puesto entre nosotros.



Por qué el problema de los transgénicos es nuestro, y no de los transgénicos

A día de hoy, el debate en primera línea sobre si “está bien” o “está mal” generar organismos modificados genéticamente se ha enfriado un poco respecto a hace unos años, pero todavía sigue despertando muchas tensiones. Es, de hecho, una responsabilidad bastante grande la que tenemos como científicos, investigadores, divulgadores científicos, docentes... cuando nos ponemos a debatir, que no a discutir, sobre ellos, porque no es tan fácil como situarse a favor o en contra.

Para hacer una exposición lo más somera posible al respecto, vamos a partir de las definiciones y sus detalles, que es donde se esconde lo realmente interesante del tema. La Organización No Gubernamental *Greenpeace*, máximo exponente reconocido en su oposición a los transgénicos u organismos modificados genéticamente, los define como seres vivos creados artificialmente, por manipulación de sus genes. Además, añade que esta rama de la biotecnología permite franquear barreras interespecíficas para construir organismos que no podrían ocurrir en la naturaleza. Y la primera objeción que se le puede hacer a esta definición es que transgénico y organismo modificado genéticamente (OMG) no son realmente lo mismo. La connotación perniciosa que esta definición de "artificial", "antinatural" incluso, nace de la idea de que el ser humano post-industrial está separándose cada vez más de lo que llamamos "Naturaleza" y que desde el descubrimiento de las herramientas de edición genética estamos construyendo especies completamente distintas a las que se formaron en el medio silvestre. Sin embargo, esto es un error de base: desde el Neolítico, nada de lo que rodea a los seres humanos, ninguna especie domesticada, es su versión silvestre. Ningún cereal, ninguna fruta u hortaliza ni ningún animal sobre el que realizamos ganadería o tenemos como mascota es "prístino". Absolutamente todos han sufrido enormes presiones selectivas que han cambiado su genética de una forma abrumadora hasta convertirlos en, efectivamente, organismos modificados genéticamente. Ojo: no transgénicos. Y aquí está quizás la primera dicotomía importante: la modificación genética de las especies que conviven con nosotros se ha realizado desde que los humanos seleccionamos las especies con las que convivimos y malamente explotamos. La diferencia reside en que el método antiguo es elegir individuos basándonos en su aspecto externo para cruzarlos e intervenir indirectamente en sus

genes (que no conocemos) y en la actualidad ha aparecido la técnica inversa, tocar sus genes para conseguir un efecto en el aspecto externo. Antes nos fijábamos en el fenotipo para cambiar el genotipo y ahora, además, se puede conocer el genotipo y probar a cambiarlo para alterar el fenotipo.

Prueba del cambalache genético que hemos armado estos últimos 19.000 años es el desastre que hemos armado con los perros. Tenemos una cantidad de razas inmensa, desde carlinos hasta dobermans, pasando por pastores belgas y grandes daneses hasta chouchous, dálmatas, huskies y podencos. Lo más sorprendente es que todos son la misma especie. Tenemos miles de especies de mariposas, muchas de ellas prácticamente iguales y que responden a los mismos patrones corporales, pero son todas especies distintas, mientras que toda la ingente diversidad de perros, algunos de los cuales cuesta francamente imaginar cómo podrían reproducirse por su diferencia de tamaños y

Diferencia entre un doberman y un chihuahua, ambos pertenecientes a la misma subespecie *Canis lupus subsp. familiaris*



complexiones, son la misma especie: *Canis lupus subsp. familiaris*. Esta plasticidad solamente es testigo y consecuencia de la mano del ser humano, especialmente desde la gran ola de cruzamientos de los siglos XVIII y XIX, de la que salieron los bóxers, los pastores alemanes, los pugs y otros muchos. Ninguno de estos ha salido espontáneamente por cruces naturales, lo cual no quiere decir necesariamente que no “pudieran” haber ocurrido en la naturaleza, ya que se han constituido a partir de genes ya existentes. No se ha generado un organismo artificial desde cero, sino desde material preexistente, como ha actuado la evolución biológica a lo largo del tiempo. Entonces, lo que es objeto de debate aquí es la moralidad detrás de la generación de todas estas razas, no su naturaleza, salubridad o riesgo para el medioambiente. Muchas otras veces, ahora que tenemos a mano las herramientas de “edición génica” simplemente podemos corregir genes estropeados (como los relacionados con enfermedades genéticas), sin introducir ni apagar ni encender nada, lo cual es un avance médico y veterinario evidente.

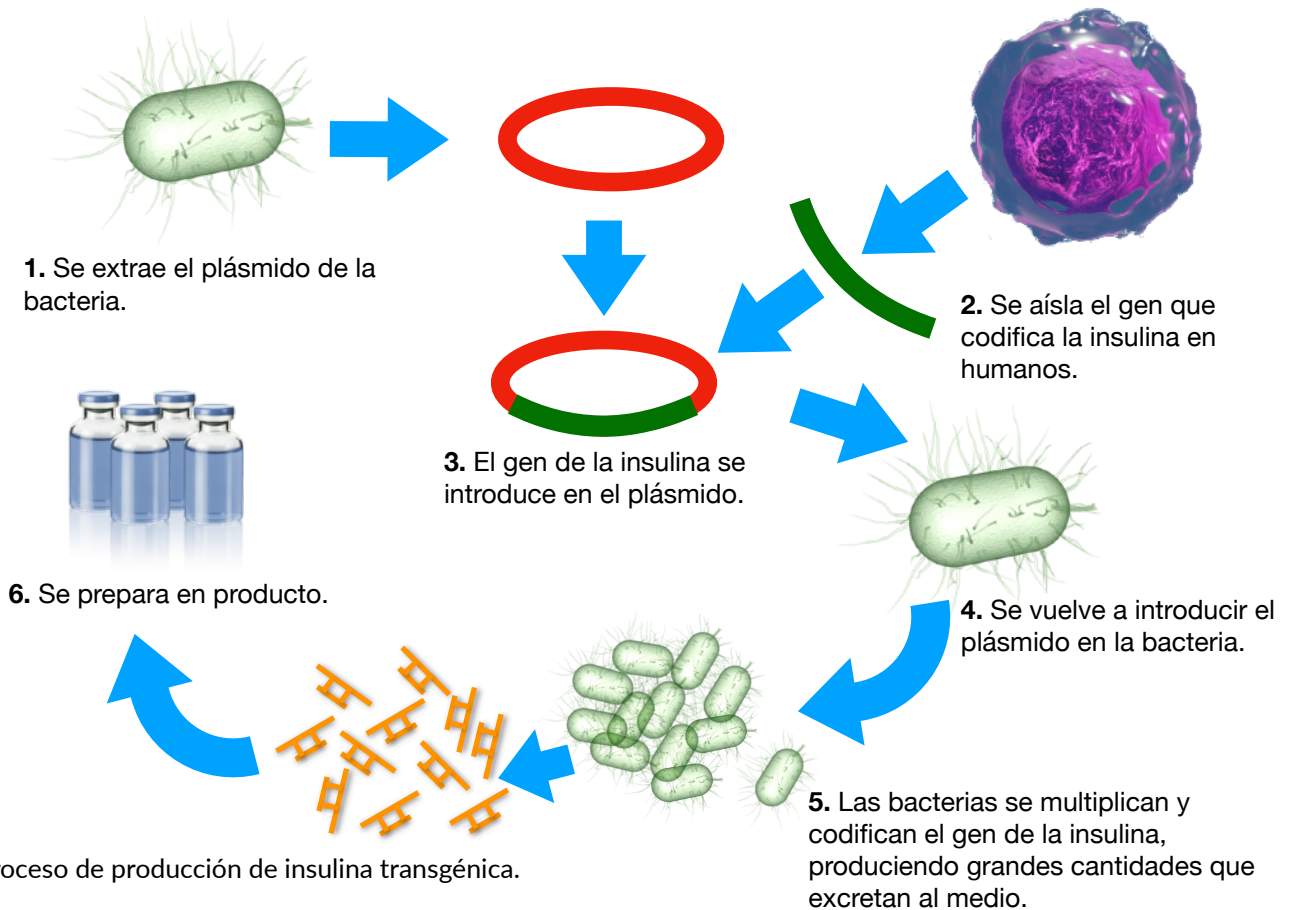
Dicho esto, pretendiendo que sirva de base para contra-argumentar que la maldad de los organismos modificados genéticamente reside en su carácter antinatural, es cierto que los detractores hacen más bien referencia a los transgénicos, es decir, aquellos seres cuyo genoma se ha tocado en el laboratorio bien para modificar la expresión de un gen que ya tenían o para añadir un gen de otra especie (gen extranjero o foráneo). Un ejemplo de transgénico son las bacterias *E. coli* que pueden sintetizar insulina humana: se trata de bacterias cultivadas en laboratorio que expulsan a su medio de cultivo esta proteína, a partir del gen procesado de la insulina. Su razón de ser es obtener grandes cantidades de insulina para proveer a los diabéticos, ya que antes, obtener insulina implicaba recuperarla en pequeñas cantidades directamente del páncreas de los cerdos (debiendo conformarnos con ella a pesar de que no es exactamente igual que la humana). Y por si hubiera algún peligro de fuga, normalmente a

las bacterias transgénicas se las transforma también con un gen que las mata si se salen del cultivo, donde se incorpora algún tipo de “antídoto” que las mantiene vivas. En este sentido, no hay motivos, *a priori*, para pensar mal de este transgénico en concreto.

Las principales críticas a los transgénicos nacen desde la perspectiva agropecuaria, no microbiológica, lo cual tampoco tendría especial sentido porque muchas bacterias en sí son bastante dadas a coger cachos de ADN foráneo que se encuentran por ahí; es decir, que son naturalmente dadas a “transgenificarse”. La razón de que estas críticas vayan hacia las prácticas agrícolas es, en parte, por el hecho de que se tratan de alimentos y, por tanto, podría haber algún tipo de riesgo para la salud. No obstante, no hay a día de hoy ningún estudio de los muchos realizados que haya concluido que los transgénicos suponen un problema para la salud. Al menos, los que se han investigado. Y he aquí quizás otro matiz importante: no es posible valorar a “los transgénicos” como un grupo cerrado y homogéneo de cosas, porque cada transgénico es distinto.

Los primeros vegetales OMG formados fueron los tomates Flavr Savr, que tenían inactivado un gen propio para una enzima que degradaba parte de la pared celular de sus tejidos durante la maduración, lo cual le proporcionaba más turgencia y mejoraba su conservación bajo el aspecto de “mantenerse eternamente fresco”. Obviamente, esto no entraña el menor riesgo para la salud; es una cualidad organoléptica y tecnológica, no sanitaria. Así, la preocupación que este tomate y otras especies similares pueden producirnos, es ética y medioambiental, no sanitaria y ni siquiera científica como tal.

El otro palo que acompaña a la preocupación sanitaria es el riesgo medioambiental. Y las plataformas anti-transgénicos afirman: “Los riesgos ambientales de los transgénicos están ampliamente demostrados”, pero esto no es cierto. Como mucho, podemos afirmar que los riesgos ambientales son “impredicibles”. No tenemos la menor idea de qué podría pasar si un organismo transgénico se mezclara con una



variante no transgénica. Y escojo este calificativo a propósito en lugar de “silvestre” o “natural” porque una lechuga transgénica no se va a cruzar con un roble albar, sino con otras lechugas, que ya están modificadas genéticamente de antes por métodos de selección. En este sentido, ¿por qué se habla de riesgo de fuga de variedades transgénicas pero no parece preocupar a nadie la fuga de lechugas o trigo fuera de los campos de cultivo?

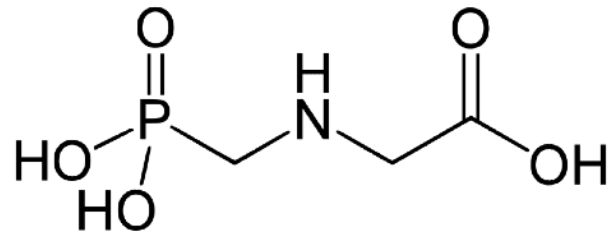
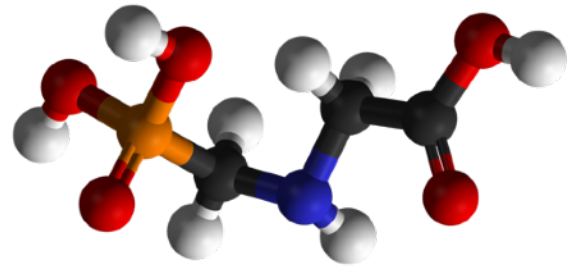
Greenpeace añade: “No es cierto que sean la solución al hambre, puesto que la inmensa mayoría de los cultivos transgénicos alimentarios se destina a piensos animales que engordan a animales para que en los países enriquecidos podamos disponer de carne barata”. Y esto puede ser muy cierto. En tal caso, no obstante, el problema no residiría en los transgénicos como tal, sino en la industria productora de carne (la cual, efectivamente, tiene prácticas terribles y hay muchas buenas razones para abandonarlas y reducir nuestro consumo de

carne) y en la gestión que se hace de los propios transgénicos. El hecho de que “los transgénicos” no se estén destinando para acabar con el hambre en el mundo no es una cuestión inherente a ellos, sino a las prácticas humanas en las que están involucrados.

Y aquí llegamos a la conclusión más grotesca de todas: el problema de los transgénicos no es de los transgénicos en sí, sino nuestro. Hay, efectivamente, problemas derivados de usar cepas vegetales transgénicas. Por ejemplo: utilizar una única variedad, sin riqueza genética, sin variaciones, con todos los individuos iguales genéticamente hablando, hace que un cultivar sea mucho más proclive a morir entero por una plaga o una enfermedad, pues no habrá individuos cuya genética particular los haga más resistentes. También existe el riesgo de que las empresas productoras cobren su patente a precios abusivos que subyuguen al agricultor y a los consumidores a su monopolio. Pero no se trata del transgénico en sí.

También se esgrime la cuestión de que los transgénicos han agravado el problema con los herbicidas, particularmente con el controvertido glifosato, que actúa sobre las malas hierbas inhibiendo una enzima vegetal. Muchas variedades de soja, algodón o maíz transgénicos se han producido para resistir a este herbicida, en aras de poder aplicarlo bien sin afectar a la cosecha y mantener los cultivos libres de “malas hierbas” (término, por supuesto, subjetivo y mal entendido, puesto que son plantas silvestres normales y corrientes que se han especializado evolutivamente en competir con las plantas que cultivamos). Otras variedades han integrado un gen bacteriano que produce un insecticida que se pretendía que ayudase al control de plagas. En este caso, sí hay demostración experimental de que este insecticida no solamente daña a las especies plaga, sino que también puede afectar a aquellos insectos que, de hecho, son beneficiosos y ayudan en el control de plagas. No deberíamos rechazar, entonces, la idea de que este tipo de transgénicos no deberían producirse. Al menos, no así.

En definitiva, es bastante difícil posicionarse “a favor” de todos los transgénicos habidos y por haber, pero las posiciones ecologistas, que no ecológicas, no actúan tanto desde la evidencia científica como desde el punto de vista ético y, sobre todo, económico y político. Es decir: si hemos de tener un debate eficaz, los hechos nos están diciendo que los transgénicos son herramientas, como un martillo. No son buenos ni malos como tal, al menos no en esencia, no todos por defecto. La verdadera cuestión del debate es el modelo productivo que tenemos, cómo gestionamos el mercado, la distribución de los alimentos y el uso de la tierra, qué productos podemos usar y en qué cantidad y qué alternativas podemos tener frente a los transgénicos sin necesidad de rechazarlos de pleno por el mero hecho de ser transgénicos. Hace mucho tiempo que el ser humano ha tocado la biología más íntima de las especies que le rodean y ese no es el punto del debate. La cuestión radica, más bien, en qué modelo de agricultura y, por extensión,




Estructura química del glifosato, un herbicida de amplio espectro.

qué modelo de desarrollo económico debemos seguir: el capitalista, basado en la producción masiva e incontrolada, o el sostenible/conservador, demandante de un estudio más exhaustivo del medio ambiente para actuar respetuosamente con él y desde él. Al modelo capitalista, los transgénicos le sirven por la inmediatez a la hora de cumplir su objetivo, pero ni los transgénicos están circunscritos a la agricultura ni al capitalismo, ni son todos iguales, ni son realmente diferentes a todo lo que hemos hecho hasta ahora; se encuentran en nuestra bolsa de la compra, nuestro botiquín y nuestra ropa desde hace muchos años ya. Si queremos tomarnos el debate en serio, debemos hacernos las preguntas adecuadas y partir de las respuestas precisas, no de la idealización falaz de un mundo natural equilibrado y armónico que no existe, que no ha existido y que no existirá mientras estemos aquí. Y si es más fácil imaginarnos el fin del mundo que el fin del capitalismo, es que algo estamos haciendo mal.

Juan Encina

Graduado en Biología por la Universidad de Coruña y Máster en Profesorado de Educación Secundaria por la Universidad Pablo de Olavide. Colabora en proyectos de divulgación científica desde 2013 como redactor, editor, animador de talleres para estudiantes y ponente.





**Organismos Modificados
Genéticamente:
una mirada introspectiva al
pasado, presente y futuro**

Los OMG 'Organismos Modificados Genéticamente', son organismos a los que se les ha alterado el material genético a través de la ingeniería genética. En Estados Unidos, el concepto incluye además aquellas especies modificadas por la selección artificial (domesticación o 'selective breeding'), en la cual el ser humano es el que, durante la coevolución con estas especies, ha ido escogiendo los caracteres de mayor interés, llevándolas a otras diferentes a las originales.

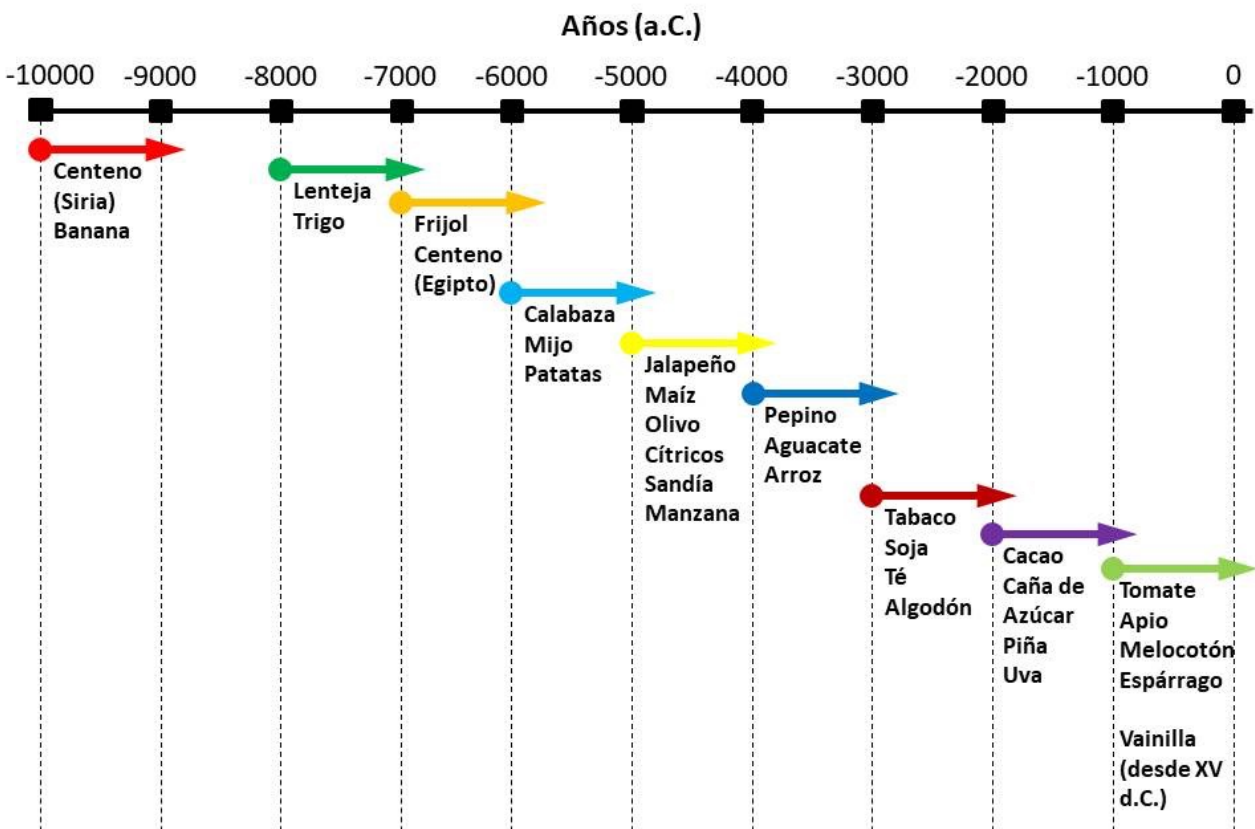
Esta mejora genética artificial se lleva desarrollando con vegetales y animales desde hace miles de años. A finales del Paleolítico y comienzos del Neolítico, hace unos 12.000 años, los seres humanos primitivos pasaron de su condición previa de cazadores-recolectores a "domesticar" algunas variedades de plantas y animales a través de su cultivo y cría. Ello tuvo profundas consecuencias sociales, como la aparición de las primeras tribus sedentarias, en contraste con el nomadismo de los humanos que debían desplazarse cada cierto tiempo

siguiendo la caza y buscando nuevas tierras que les dieran alimento.

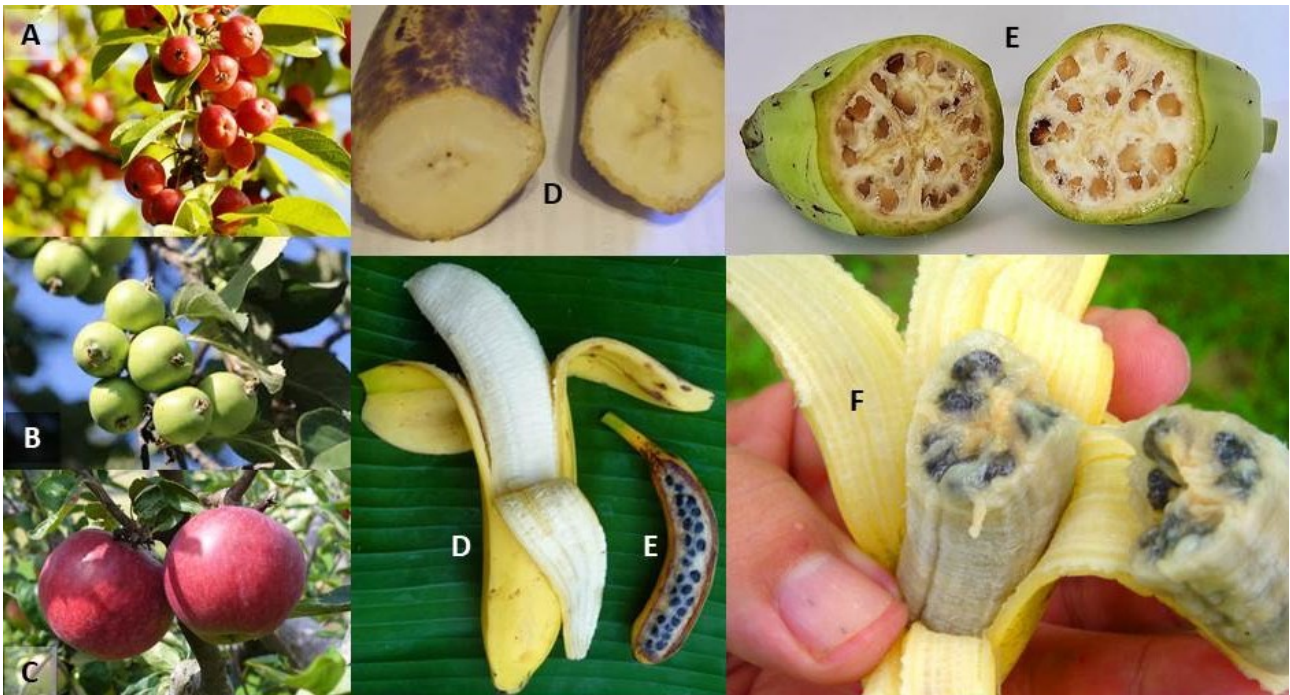
Sin embargo, la domesticación de animales y plantas no se dio en un único lugar del mundo en un momento concreto. Los centros de origen, concepto acuñado por Nikolai Vavilov en 1992, describen las ocho áreas geográficas mundiales desde las cuales comenzó este proceso de selección artificial. Esto nos muestra algunos casos muy evidentes como la selección de la manzana, cuyo centro de origen



Centros de origen de Nikolai Vavilov (por Redwoodseed/Wikipedia)



Comienzos de la agricultura en el Neolítico, y descripción esquemática de los orígenes de domesticación de los principales cultivos agrícolas actuales. Adaptado de Hawkes (1983).



(A) Manzana silvestre (*Malus sylvestris*). Por Ekaterina Smirnova (B) Manzana silvestre (*Malus sieversii*). Por Yakov Fedorov (C) Manzana actual (*Malus domestica*) Por Colin Smith (D) Plátano o banano común actual (*Musa x paradisiaca*). Por Angélique D'Hont. (E) Plátano o banano silvestre (*Musa acuminata*) por Warut Roonguthai y Angélique D'Hont (F) Plátano o banano silvestre (*Musa balbisiana*).

está en Kazajistán (Asia central) en el 5.000 a.C. Tal proceso se dio a partir de dos especies silvestres originales (*Malus sieversii* y *M. sylvestris*) que producían manzanas de pequeño tamaño, con mucha fibra y mucho amargor (frutos astringentes); pero tras hibridarse con otras especies en la ruta de la Seda, se obtuvo la especie *M. domestica* actual, con frutos grandes, dulces y carnosos, y que con la ayuda del imperio Romano se esparció por toda Europa. Posteriormente llegó a América, existiendo actualmente hasta 7.500 variedades diferentes de manzanas.

El plátano es otro ejemplo similar, con diferentes orígenes (hace 10.000 a.C.), en diferentes culturas (Papúa Nueva Guinea), pero con la misma selección artificial para eliminar las semillas y hacer el fruto de *Musa acuminata* y *M. balbisiana* más comestible. El banano que comemos actualmente es el híbrido *Musa x paradisiaca*, y es estéril, no genera semillas, por lo que su cultivo y propagación es enteramente vegetativa. Esto nos hace entender que los OMG no son tan contemporáneos como parecen, si seguimos la definición que hacen en Estados Unidos,

incluyendo aquellos organismos mejorados por selección artificial.

A finales del siglo XVIII, Adam Smith estableció que al ritmo de crecimiento de la población mundial los recursos naturales no podrían abastecer a todos los habitantes de la Tierra, y los países en vías de desarrollo sufrirían un grave descenso demográfico. Thomas Malthus también pronosticó a principios del siglo XIX graves consecuencias demográficas por el crecimiento de la población. El cambio climático es una realidad que estos economistas estadistas no tuvieron en cuenta, y que progresivamente cambiará nuestro entorno en las próximas décadas. Los factores de estrés biótico y abiótico aumentarán o cambiarán en diversas regiones, así como los fenómenos de desertización, sequía, temperatura, vientos, precipitaciones, etc.

El crecimiento de la población mundial se ha estimado en nueve billones para el año 2050, y se estima igualmente la muerte por desnutrición de diez niños por minuto en las próximas décadas. Esto requiere un incremento de los recursos de alrededor de un 70% para poder abastecer dichas necesidades,



Producción de cultivos biotecnológicos. Datos en millones de hectáreas procedentes de ISAAA (*The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications* - <http://www.isaaa.org> Clive James, 2012).

es decir, será necesario producir mucho más por hectárea. Para poder conseguir este reto, para poder luchar contra los futuros posibles cambios, hay que potenciar la investigación en biotecnología vegetal y agricultura, potenciar el uso de OMG, de la agrobiotecnología, la agricultura sostenible, y la recuperación de la heterocigosidad perdida en los monocultivos extensivos. De hecho, desde el comienzo de la "revolución verde" (años 60), y sobre todo desde los años 80, el uso de OMG se ha visto incrementado exponencialmente, la población en muchos países se ha duplicado y la producción mundial ha aumentado solo un 125%. Tan solo desde 1996 hasta el año 2012, se ha visto incrementada la producción de OMG en 100 veces, es decir, de 1,7 millones de hectáreas, hasta 170 millones de hectáreas cultivadas. Desde 1996 al 2011 los cultivos genéticamente modificados produjeron 98 millones de dólares, de los cuales un 51% resultó de un ahorro en pesticidas, laboreo de la tierra y disminución de pérdidas.

Los datos de producción a nivel mundial son evidentes si observamos los trabajos de Clive James de la ISAAA "*The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications*". Desde 1996 hasta 2012 hubo un aumento considerable de la producción mundial de soja,

maíz, algodón y canola transgénicos, siendo la soja y el algodón los que han tenido un aumento más grande con respecto a sus cultivos tradicionales (85%), el maíz ha aumentado un 35% y la canola un 30%. En este mismo informe se evidencia que el mayor productor de OMG (en porcentaje total de hectáreas cultivadas) es Estados Unidos con un 41% del total mundial. Le siguen Brasil (21%), Argentina (14%), Canadá (7%), India (6%), entre otros, y España figura en la posición número 17 con menos del 1% del total.

La finalidad de estos OMG es muy variada: desde la producción biotecnológica de compuestos terapéuticos tales como vacunas o antibióticos, aditivos alimentarios, la síntesis de materiales para su uso industrial (bioplásticos), la capacidad de algunos cultivos para resistir a plagas y herbicidas (maíz Bt y glifosato), la tolerancia a diferentes tipos de estrés (abiótico o biótico), el incremento de su productividad, hasta la obtención de alimentos mejorados capaces de producir más nutrientes, nutrientes diferentes o dar varias cosechas o producciones durante el año. Un ejemplo de OMG muy llamativo, desde un punto de vista humanitario y filantrópico, es el **arroz dorado**. Hay países en vías de desarrollo



Ejemplo arroz dorado vs arroz jazmín normal. (Fuente: Jayaraman, K., Jia, H. *GM phobia spreads in South Asia*. *Nat Biotechnol* 30, 1017–1018. 2012).

cuyos habitantes sufren condiciones desfavorables desde el punto de vista nutricional, no pudiendo cumplir con las necesidades mínimas requeridas de vitamina A. Esto está ocurriendo en países del continente africano, y de otras regiones más orientales. La carencia prolongada de vitamina A produce nictalopía (ceguera nocturna), deficiencias estructurales de la córnea, ceguera irreversible, inmunodeficiencia, trastornos en el crecimiento y desarrollo óseo, y una alta tasa de mortalidad. El arroz dorado tiene la capacidad de almacenar β -carotenos, y suplementa en la dieta esta vitamina, evitando estas penosas consecuencias. Es por ello, que ha sido reconocido entre los diez principales proyectos de biotecnología más influyentes de los últimos 50 años por el *Project Management Institute* (PMI) en su lista de sus proyectos más influyentes de 2019.

En definitiva, el ser humano lleva milenios modificando organismos vegetales y animales a su antojo, para suplir las necesidades de la población. La inteligencia y la razón nos dota de herramientas que nos permiten evolucionar como organismos sociales en un mundo cambiante, en el que tendremos que

enfrentarnos a futuros handicaps, como lo es el cambio climático o el incremento de la contaminación, y tendremos que afrontar futuros retos, como la conquista del espacio. Para todo ello, la biotecnología y los OMG son la clave. Sobre todo, estos últimos son la llave al ahorro, que nos abrirá puertas a una máxima producción y a un abastecimiento suficiente de recursos para toda la población.

Juan de Dios Franco Navarro
Licenciado en Biología (US), Máster en Genética Molecular y Biotecnología Vegetal (US) y Doctorando en Biología Integrada (IRNAS-CSIC-US).

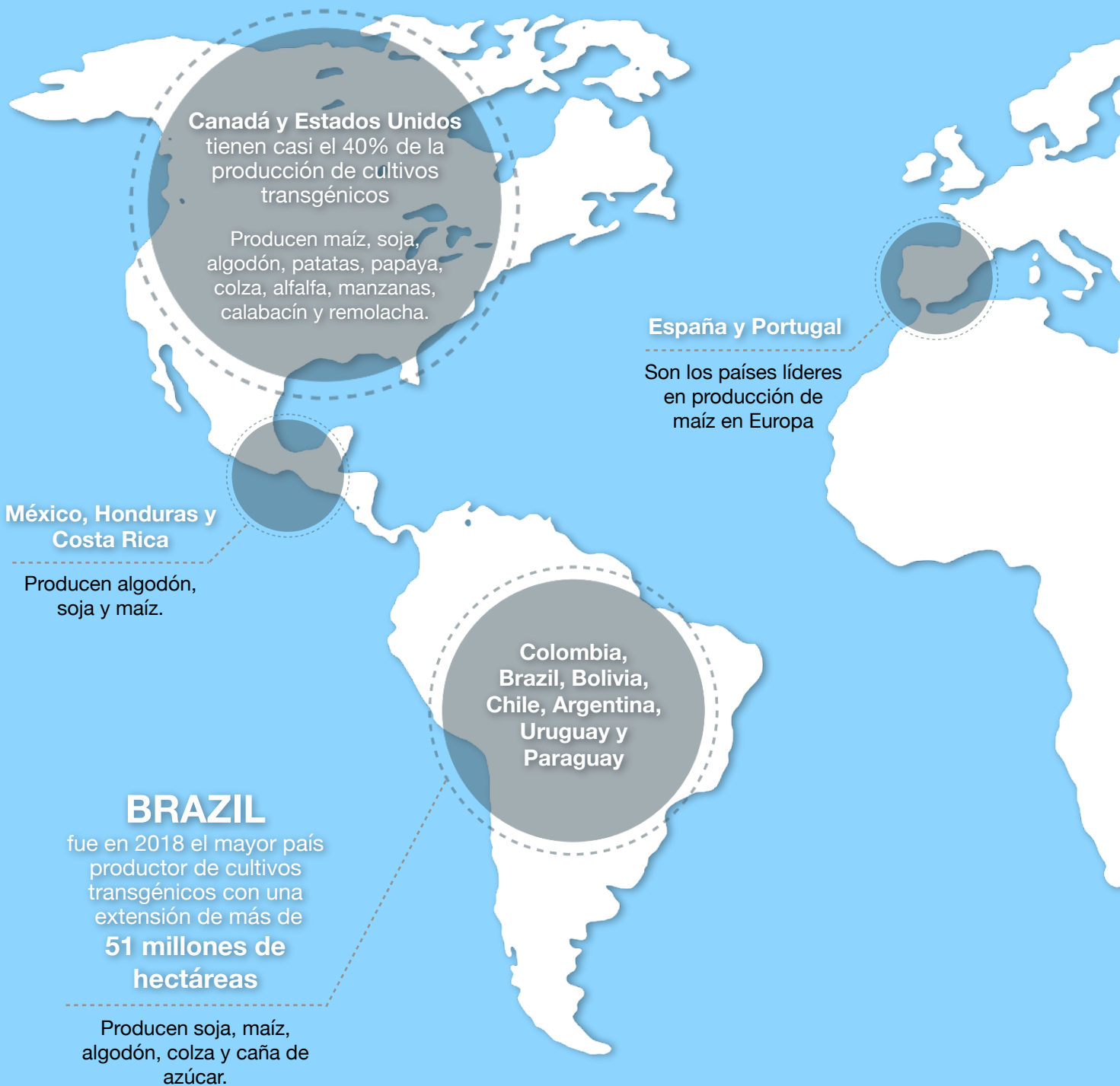




Escanea el código QR y lee ciencia desde tu dispositivo preferido.



Producción de OMG en el mundo



SOJA

96
Millones de Hectáreas

Se importa a **18 países**
Se cultiva en **9 países**

78%
de la producción mundial

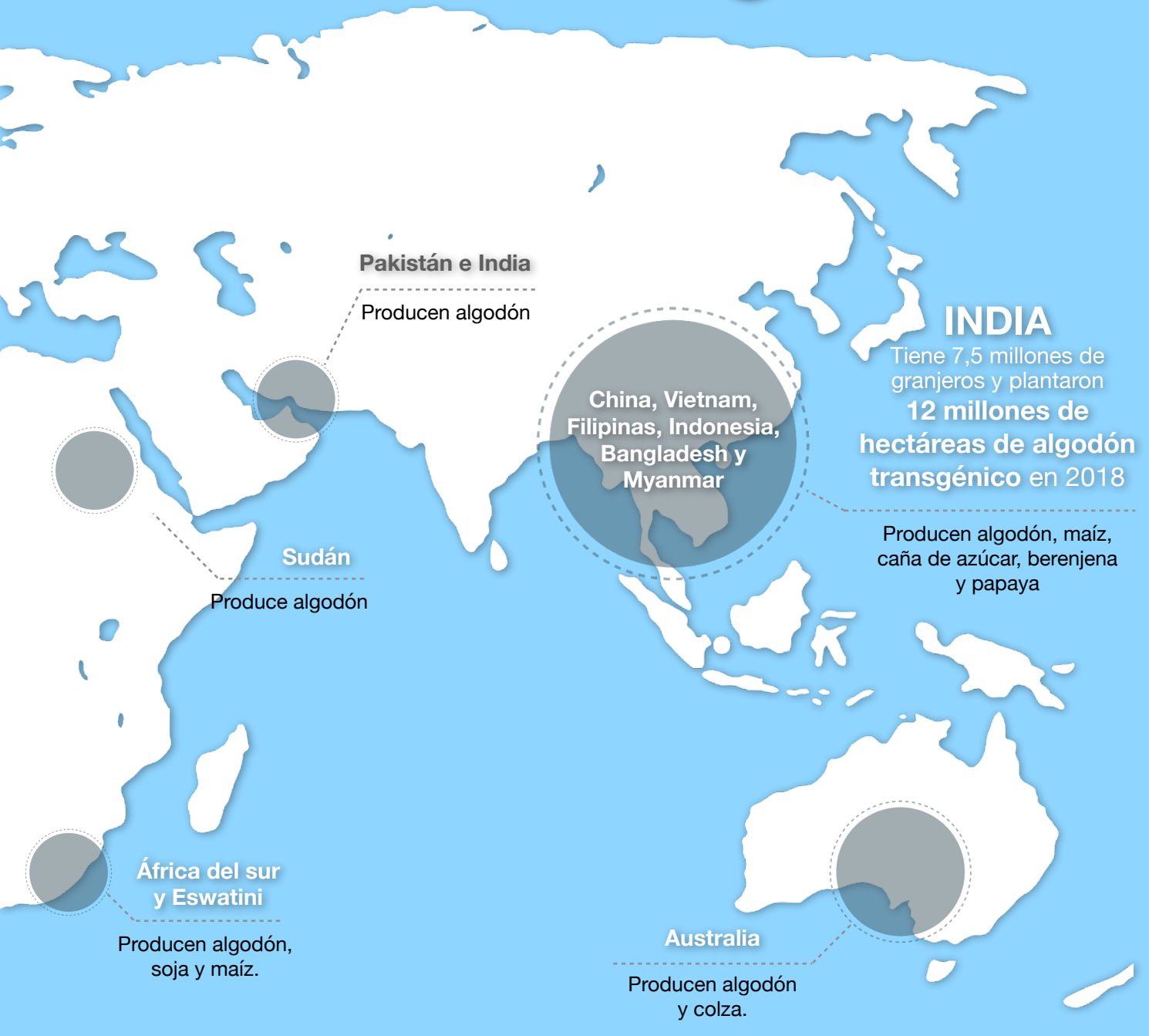


MAÍZ

59
Millones de Hectáreas

Se importa a **15 países**
Se cultiva en **14 países**

30%
de la producción mundial



ALGODÓN

25
Millones de Hectáreas

Se importa a **8 países**
Se cultiva en **15 países**

76%
de la producción mundial



COLZA

10
Millones de Hectáreas

Se importa a **10 países**
Se cultiva en **4 países**

29%
de la producción mundial

Selección artificial

Un ejemplo muy drástico y reseñable de la modificación genética por selección artificial en agricultura lo encontramos en el maíz. Su variedad ancestral, el teosinte (género *Zea*) era mucho más pequeña y rendía granos mucho más pequeños y en menor cantidad. No sería sino a través de sucesivos ciclos de hibridación y selección de las variedades y ejemplares con granos cada vez más gruesos y numerosos que se llegaría al maíz actual (*Zea mays*)



Teosinte
teocinte, teocintle o teosintle

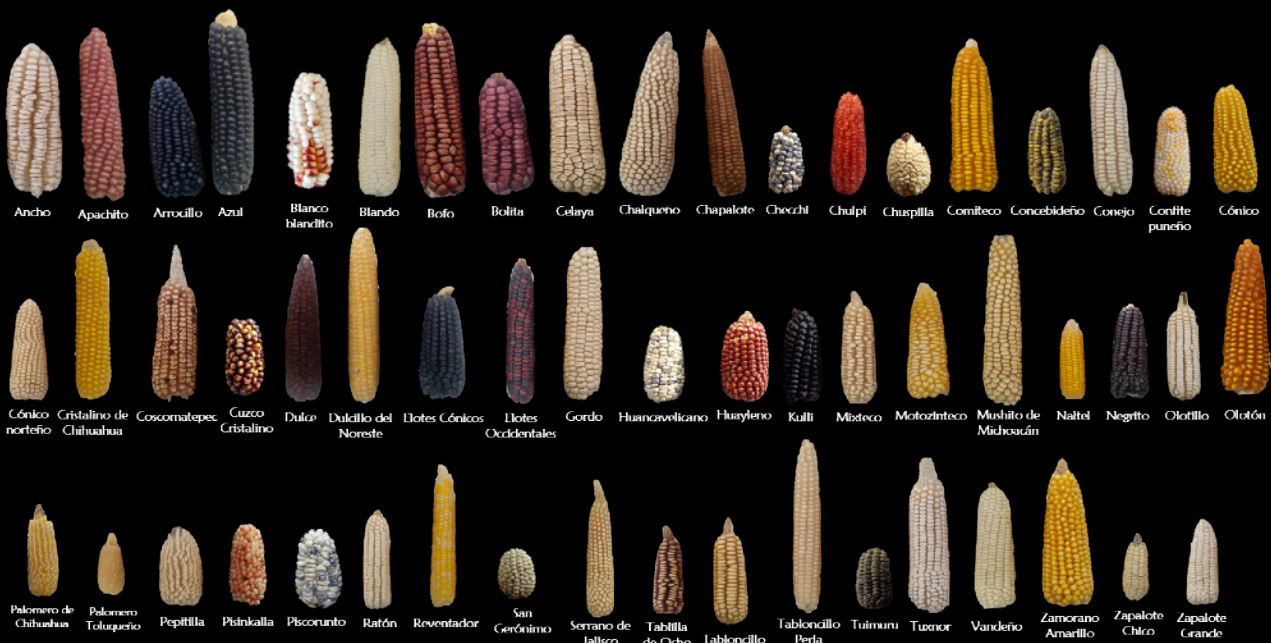
*The Virtual
Museum of Life*

Híbrido
de granos más grandes
y con mayor cantidad



Francisco Gálvez Prada

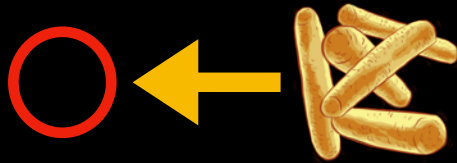
Algunas de las diferentes variedades obtenidas por selección artificial



Ejemplos de algunas de las 59 variedades nativas de maíz mexicano. Foto cortesía del Banco de Germoplasma de Maíz del CIMMYT

Edición genética

Se aísla el gen de interés del plásmido de *B. thuringiensis*.



Bacillus thuringiensis

La proteína Cry codificada por los genes Cry, es una protoxina que en un entorno de pH alcalino se activa creando poros en el epitelio intestinal de los insectos.

Gen



Y se inserta en el plásmido de *A. tumefaciens*



Agrobacterium tumefaciens

Se trata de una bacteria que es capaz de infectar plantas creando tumores, lo hace posible ya que inserta genes en el ADN de la planta infectada.

En este caso, mediante técnicas de edición genética y gracias al mayor conocimiento de la manipulación del propio ADN, somos capaces de aislar un gen de interés de una bacteria, y aprovechando las capacidades naturales de inserción y edición genética de otra bacteria, podemos introducir un gen foráneo en otra especie, en este caso en plantas de algodón.

Las **plantas transgénicas** que crecen con este gen, producen la protoxina Cry en sus hojas, y cuando los insectos se comen las hojas y llegan a su aparato digestivo, una zona de pH alcalino, se activa, produciendo poros en el epitelio intestinal del insecto y provocando su muerte. De esta forma, el algodón Bt es más resistente a plagas y por tanto más beneficioso para el granjero. Además, la proteína Bt no causa ningún efecto al ser humano, por lo que ya se está usando también en cultivos de maíz.

Recordemos que el algodón Bt ya ocupa el 76% de toda la producción mundial de algodón.



Planta transgénica

Aquellas plantas resistentes a plagas serán aquellas que tengan el gen cry de *B. thuringiensis* en su genoma por lo que será una planta transgénica.



Edición de genoma
en agricultura:
Herramientas
alternativas a la
transgénesis

Hoy en día, encontramos gran variedad de procedimientos que nos proporcionan la posibilidad de conseguir plantas con determinados caracteres atractivos. Un mayor tamaño, una resistencia a un factor ambiental, o la acumulación de algún compuesto beneficioso para la salud humana, han sido algunos de los retos propuestos por productores primarios o el sector industrial.

La selección artificial y la hibridación de especies fueron tradicionalmente los principales procesos para obtener en el sector agrario una gran cantidad de diferentes variedades vegetales con diferentes funcionalidades. Pero no fue hasta el siglo XX, cuando se acuñó el concepto de mutación y con ello llevar a cabo métodos fisicoquímicos aplicados en el campo, como la radiación mediante isótopos radiactivos, o químicos como la colchicina. Estas mutaciones dirigidas en los cultivos aceleraron la **generación de cultivares** y permitió fijar gran parte de los caracteres presentes en especies que están a nuestra disposición en los mercados.

Más allá de todos estos procesos, a nivel molecular se ha continuado en la búsqueda de posibles vías alternativas capaces de reducir el tiempo de selección para así obtener a corto plazo y a bajo coste, nuevos caracteres de interés, como es la **creación de especies transgénicas**. Gracias a los estudios de genomas de diferentes especies y su secuenciación, ha sido posible la selección de genes de interés y la aplicación de éstos sobre especies de consumo de manera más precisa y eficaz. Pero los avances en biotecnología no solo han tenido un efecto en el incremento de la producción de cultivos como el del maíz, del algodón, del tomate, entre otros; sino que además ha abierto la puerta a la búsqueda de energías alternativas a los combustibles fósiles a través del uso de plantas o algas para la producción de biodiesel o bioetanol. En contraposición, pese a que este sistema pudiera ser una solución rápida para combatir grandes problemas medioambientales, producto del calentamiento global, los transgénicos poseen legislaciones muy

restrictivas que limitan su cultivo en Europa, y, paradójicamente, podemos consumir productos transgénicos importados, pero no producirlos. Los detractores al uso de alimentos transgénicos denuncian una serie de riesgos tales como:

- (i) **Problemas sanitarios:** resistencia a antibióticos, compuestos anormales y difícilmente controlables en alimentos que puedan provocar alergias o enfermedades, etc.
- (ii) **Problemas ecológicos:** Entrecruzamiento, pérdida de variabilidad, pérdida de flora o fauna autóctona, etc.
- (iii) **Problemas socioeconómicos:** megaempresas multinacionales que monopolizan las patentes de los transgénicos, y cuyos frutos son incapaces de generar semillas fértiles, con lo cual el agricultor se ve obligado a comprar semillas y productos específicos cada año, que debido a su elevado precio solamente están al alcance de unos pocos, incrementando así las diferencias entre los agricultores de subsistencia o tradicionales y los agricultores extensivos o industriales.

No ha sido hasta estos últimos años cuando se ha conseguido desarrollar la reedición génica sin necesidad de ningún componente exógeno. La técnica CRISPR/Cas9 se basa en dos pasos: se diseña un ARN guía al que se le va a asociar una enzima conocida como Cas9. Una vez incluido el ARN guía en la célula, éste hibrida específicamente con el ADN y la enzima Cas9 corta el ADN, interrumpiendo así la secuencia diana. Entre otros beneficios, CRISPR/Cas9 nos permite regular la expresión génica, identificar y modificar funciones, y corregir genes con secuencias anómalas.

Generar variedades de trigo sin gluten, obtener la resistencia a enfermedades causadas por organismos patógenos como *Xylella fastidiosa* en olivo, o incrementar el contenido en polifenoles (beneficiosos para la



En la imagen podemos apreciar diferentes variedades de maíz obtenidas por selección artificial (National Geographic).

salud humana) en frutos rojos como arándanos y frambuesas, son ejemplos de objetivos que se están llevando a cabo con esta técnica. Mejorar tanto la calidad de los alimentos como su rendimiento en la producción, además de satisfacer la creciente demanda de estos, son propuestas que en un futuro no muy lejano podrían conseguirse gracias al método CRISPR.

Otras de las grandes ambiciones en agronomía consisten en utilizar CRISPR en un gran número de especies para solventar diferentes problemas a los que se enfrentan actualmente, como puede ser la resistencia a la sequía o la salinidad. Este último aspecto engloba principalmente a dos iones, el catión sodio y el anión cloruro. Hay gran variedad de especies con diferentes grados de tolerancia ante esos elementos presentes en los suelos, encontrando así halófitas (alta tolerancia a la salinidad) y glicófitas (baja tolerancia a la salinidad), siendo estas últimas la gran mayoría de las especies cultivables.

La vid, el olivo, los cítricos y otros muchos cultivos requieren a veces el uso de portainjertos por este problema en la

homeostasis iónica. La toma de estas sales en exceso, debido a las condiciones ambientales, ha favorecido a las plantas a desplegar mecanismos de exclusión con el objetivo de mantener un equilibrio en la homeostasis iónica. Dentro del grupo de los cítricos, es bien conocida la naturaleza del portainjerto *Citrango carrizo* (híbrido de *Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), el cual es capaz de excluir el sodio presente en las sales, pero no es capaz de expulsar eficientemente el anión cloruro. Esto resulta tóxico para la planta y provoca la caída foliar. Los mecanismos capaces de poder controlar la entrada y salida de iones por la raíz atribuyen una mayor tolerancia a diversas condiciones climáticas. Por lo tanto, el conocimiento de genes implicados y su modificación en la expresión génica mediante **la reedición génica**, podría generar un enorme beneficio en la producción agrícola.

Actualmente se han caracterizado diversas familias génicas implicadas en la toma, translocación de raíz a la parte aérea y exclusión de cloruro. Estudios en estos genes no solo muestran su importancia como sensores de la planta con su entorno, sino que remarcan la idea de que debe haber un



Ejemplo de portainjertos en cítricos (Agencia SINC).

sistema muy regulado que permite a unas plantas sobrevivir en condiciones extremas y otras en sistemas más laxos.

Curiosamente, se ha observado que el transporte de Cl^- y NO_3^- podría estar muy relacionado. Se han reportado genes de diferentes familias que muestran una dualidad en el transporte de estos iones. Este es el caso de algunos genes como los que engloban la familia NRT1. Se ha llegado a concluir que un solo cambio de aminoácido en su secuencia proteica puede conllevar a un incremento en la toma de un ion u otro. Siguiendo esta idea, también se postula la hipótesis que genes de alta afinidad a nitrato de la familia podrían tener también una función de transporte del ion Cl^- .


La caracterización de estos genes está siendo investigada en el grupo de investigación "Regulación Iónica e Hídrica en Plantas" en el Instituto de Recursos naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC). Dicho grupo, encabezado por el Dr. José Manuel Colmenero Flores, llevado a cabo por el proyecto

CLORHOME aprobado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, en el que se contemplan el uso de técnicas tan interesantes como la aplicación de CRISPR/Cas9 en el portainjertos *Citrango carrizo* para generar nuevos modelos resistentes a factores ambientales desfavorables.

Procopio Peinado Torrubia

Doctorando en Biología. Investigador en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.





Análisis de los loci de rasgos cuantitativos como alternativa convencional a los organismos transgénicos en el estudio de genes y rasgos de resistencia en plantas

En la actualidad, los grandes avances en ingeniería genética y biología molecular han provocado que, a nivel agrícola y de investigación científica, estemos viviendo la llamada “Era Biotecnológica” o una segunda “Revolución Verde”. La generación de organismos transgénicos mediante el uso de técnicas que posibilitan la edición génica se han convertido en potentes herramientas que sin lugar a duda han acrecentado el ritmo al que se progresa en el estudio de las plantas y sus genes.

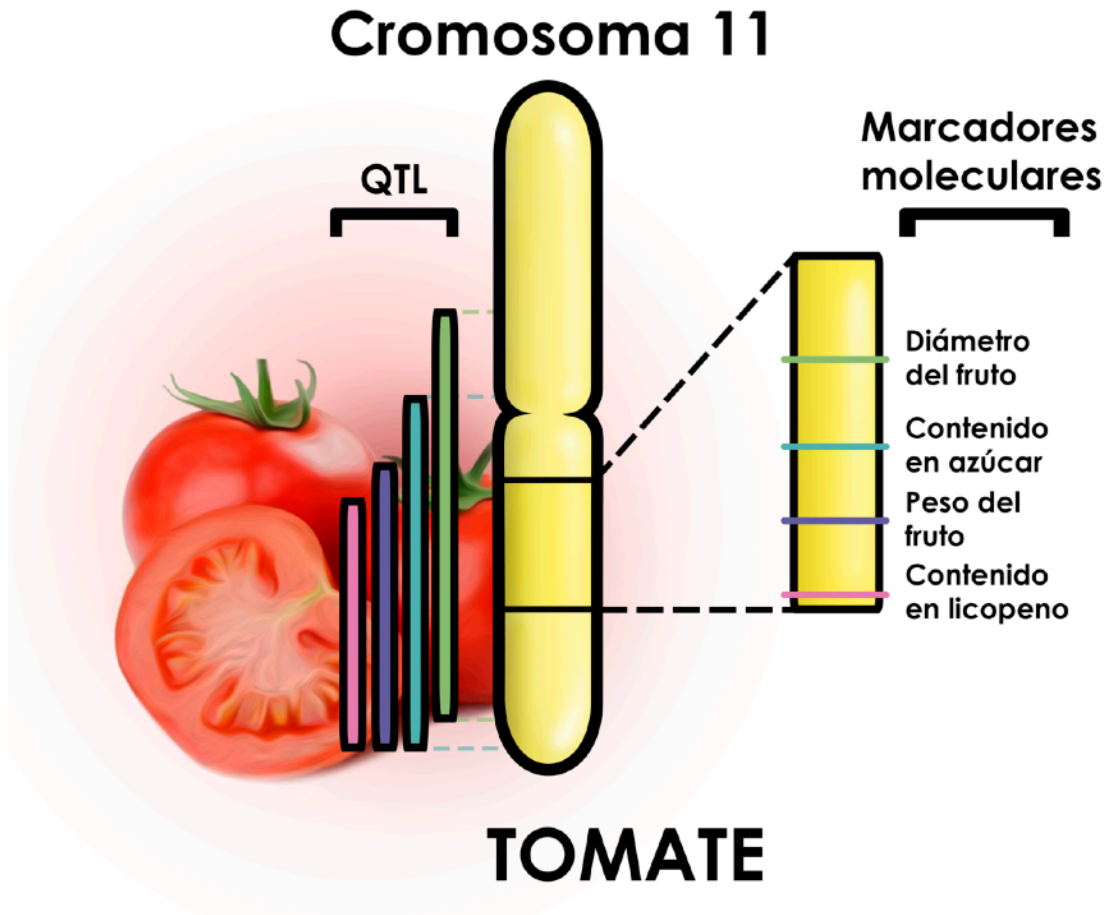
Sin embargo, no siempre es posible emplear este tipo de procedimientos. Existen casos en los que, en el organismo de estudio en cuestión, no están bien establecidas las técnicas o los protocolos que lo permiten. En otros casos, el obstáculo viene impuesto por los propios atributos biológicos y genéticos de este, como el ciclo de vida, el tamaño del genoma o que se disponga o no de su secuencia génica. El estudio de genes que no son considerados como “modelos” de investigación puede traer consigo este tipo de inconvenientes. Aunque son evidentes las ventajas que ofrecen estas poderosas herramientas, cabe destacar algunas de las alternativas tradicionales (y totalmente complementarias) para el estudio de los genes y sus funciones.

Una de ellas sería el estudio de los loci de rasgos cuantitativos (QTL, *Quantitative Trait Loci*) a través de métodos tradicionales de selección. Un QTL es una región de ADN que está asociada con un rasgo fenotípico particular, variable y cuantificable en mayor o menor medida y que se corresponde con el producto de varios genes y el entorno. Entre sus aplicaciones está la identificación de posibles genes asociados a un rasgo fenotípico concreto, como el tamaño de las plantas o sus frutos, su sabor y color, o la resistencia a enfermedades y condiciones adversas, entre otras características. Una vez identificada dicha región de su genoma se procede a su secuenciación, lo que posibilita la comparación a través de bases de datos con genes cuya función ya está descrita. A su vez, este sistema

suele ser habitual en la mejora de cultivos asistida por marcadores, también denominada Selección Asistida por Marcadores (SAM). La SAM, mediante técnicas moleculares, facilita el proceso de selección de plantas con los caracteres deseados a través de la detección de secuencias concretas de ADN ligadas al rasgo de interés. Lo interesante es que, con una simple prueba, es posible detectar en la descendencia de un cruce los individuos que presenten ese marcador y que, por tanto, hayan heredado dicho rasgo. Esto abre la posibilidad de generar variedades “élite” de plantas, donde en un mismo cultivar se han combinado varios QTL de interés, o “líneas de introgresión” que presentan un QTL concreto en homocigosis para facilitar el cruzamiento con otra planta. De esta forma, se han obtenido infinidad de cultivares y variedades de plantas de cultivo “a la carta” que están disponibles en bancos de líneas de plantas, la cuales muestran una serie de rasgos que mejoran tanto la calidad y atractividad para el consumidor como la resistencia a condiciones adversas y plagas, las cuales son una buena alternativa al uso de organismos transgénicos en la investigación.

A gran escala, es factible el análisis de un alto número de genomas o de ciertas regiones de éste para asociar las distintas variaciones genéticas específicas con ciertos QTL. Este sistema se conoce como estudio de asociación del genoma completo (GWAS por sus siglas en inglés *Genome-wide association study*). Tras identificar los marcadores genéticos implicados, podemos utilizarlos y entender cómo los genes involucrados contribuyen a la manifestación del rasgo en cuestión. Así, los estudios GWAS suponen una de las principales herramientas para la localización genómica de QTL y la consiguiente construcción de mapas donde se especifica, sobre los distintos cromosomas, dónde se encuentra cada uno de ellos y el marcador asociado.

La aplicación en plantas de cultivo de estos sistemas de análisis ha traído consigo un gran avance en el conocimiento de gran variedad de



Mapa de varios QTL de interés en el cromosoma 11 del tomate. Información extraída de la base de datos de *Sol Genomics Network* (SGN).

procesos biológicos, entre los que destaca la absorción de nutrientes del suelo. Como las raíces son el punto principal de entrada de nutrientes en las plantas, también son las que más sufren en condiciones extremas (como la sequía), las cuales pueden causar así limitaciones en la absorción mineral. Es por ello que, considerando el contexto actual del cambio climático y la demanda creciente de agua y nutrientes en la agricultura intensiva, la mejora en su capacidad de absorción a través de las raíces podría aumentar la tolerancia a situaciones de estrés hídrico nutricional en los cultivos, llevando a una agricultura más eficiente. La planta *Arabidopsis thaliana* es el principal organismo modelo para realizar este tipo de estudios debido a la gran cantidad y a la alta calidad de datos de fenotipo y genotipo de los que se dispone, aunque igualmente se han aplicado estas herramientas en especies agrícolas como el arroz, el trigo o el tomate,

por ser también organismos adecuados para el estudio de los QTL.

Por ello, un ejemplo útil es el uso de GWAS para la identificación de genes candidatos en QTL involucrados en la regulación del crecimiento de la raíz en etapa temprana y bajo diferente disponibilidad de agua y nutrientes. Es así como, por ejemplo, usando diferentes ecotipos de *Arabidopsis*, se han descubierto tres nuevos genes implicados en la regulación del crecimiento de la raíz bajo estrés nutricional por deficiencia de hierro y fósforo: *VIM1*, *FH6* y *VDAC3*. Esto además demuestra la existencia de líneas dentro de *Arabidopsis* que son mejores representantes que la línea silvestre de estudio (Col-0) y alternativas al uso de OMG, por su capacidad de resistencia a la deficiencia de estos nutrientes.



Un tema actual de gran interés en el mundo de la agricultura es la producción de alimentos de alta calidad, la cual puede verse afectada, entre otros motivos, por la reducción de agua y nutrientes importantes en los suelos y por el rendimiento de los cultivos. Ambos problemas suelen venir provocados por uno mayor a nivel global como es el cambio climático. Siendo un organismo modelo representativo de plantas que generan fruto, el tomate puede considerarse uno de los más adecuados e importantes, debido a la gran cantidad de datos y resultados disponibles derivados de su investigación.

Los numerosos estudios de mapeo QTL en tomate durante los últimos años, han proporcionado gran información sobre la arquitectura genética de rasgos complejos como la dominancia y los efectos epistáticos en genes, además de su localización. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en el tomate doméstico (*Solanum lycopersicum* L.), el desarrollo de variedades resistentes al calor y a la sequía han permitido obtener un rendimiento mayor en la maduración del fruto, y por ende una mejor calidad. En relación a ello, recientes estudios con líneas individuales de la población MAGIC permitieron la localización de hasta cuatro genes candidatos de dicha función, que podrían actuar además como marcadores moleculares de mejora para una mayor resistencia a sequía.

Explicadas algunas de las ventajas y beneficios del uso de organismos transgénicos en la investigación de genes, y considerando las restricciones éticas y políticas de su uso en la agricultura mundial, se ha pretendido dar otro punto de vista del tema al destacar un conjunto de herramientas más tradicionales, pero a su vez punteras, como alternativas y complementarias al uso de estas líneas modificadas. Como se ha comentado anteriormente, estos procedimientos de estudio pueden ganar mucha importancia en función del desconocimiento que tengamos a cerca de la especie a investigar en cuestión, por lo que son vitales para dar los primeros pasos en la búsqueda de la función de sus genes. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer en el estudio y caracterización de genes en plantas a través de los QTL para seguir mejorando la producción y calidad de los cultivos.



Francisco Jesús Moreno Racero

Graduado en Biología. Actualmente realizando mi TFM en el grupo de Regulación Iónica e Hídrica en plantas (RIH) en el IRNAS-CSIC (Sevilla).

Marta Lucas Gutiérrez

Graduada en Biología. Actualmente me encuentro en mi primer año de doctorado con el grupo de Regulación Iónica e Hídrica en plantas (RIH) en el IRNAS-CSIC (Sevilla).



¿Existen los tomates morados?

“Los tomates son rojos y las lechugas verdes” es una relación que aprendemos desde muy pequeños. Posteriormente, vamos comprobando cómo existen muchos tipos de tomates y de lechugas, con diversos colores y formas, pero ¿tomates morados? Eso es algo que no se ve todos los días...

Para comprender cómo un tomate puede presentar un color morado-azulado debemos hablar de un pigmento natural con dichas tonalidades: las antocianinas. Estos pigmentos se incluyen dentro del grupo químico de los flavonoides y, al acumularse en hojas, flores y frutos, permiten, a las plantas, protegerse de la radiación ultravioleta, la congelación, o atraer polinizadores. Estos pigmentos son los responsables del color de los arándanos o las moras, por indicar algunos ejemplos representativos.

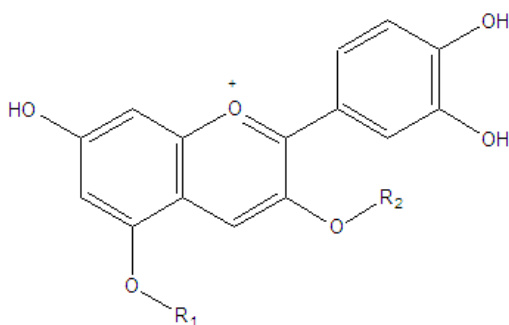
Al incluirse en la dieta, las antocianinas actúan como potentes antioxidantes dentro de nuestro cuerpo. Por el simple funcionamiento de nuestras células, se producen reacciones químicas que forman compuestos muy dañinos, denominados radicales. Los antioxidantes actúan sobre estas reacciones impidiendo la formación de los radicales y, de esta forma, evitando el daño a nuestro cuerpo. Por lo tanto, al consumir antocianinas reducimos el riesgo de sufrir enfermedades de

corazón, neurológicas, diabetes e incluso cáncer.

Con el fin de aumentar la cantidad de antocianinas que ingerimos en la dieta y de una forma asequible económicamente, diversos investigadores se plantearon la acumulación de antocianinas en frutos de tomate, ampliamente consumidos por todo el mundo. Para ello tuvieron que encontrar los genes que le permitían a otra planta acumular esos compuestos en sus órganos, con el fin de poder introducir tales genes en el material genético del tomate y hacer que sintetizaran y acumularan antocianinas. La planta



seleccionada fue la boca de dragón o dragoniana (*Antirrhinum majus*), denominada así por la forma de sus flores y cuyos pétalos acumulan grandes cantidades de antocianinas.





Los tomates, por sí solos, tienen la capacidad de sintetizar y acumular otros flavonoides: las antocianinas. Pero les faltan determinados genes para conseguir fabricar sus propias antocianinas azules. Por esta razón, se seleccionaron dos genes implicados en la síntesis de antocianinas en los pétalos de la boca de dragón. Posteriormente, mediante el uso de ingeniería genética, ambos genes fueron introducidos en células de tomate y se obtuvieron plantas completas con esos genes en su información genética. Esto permitió obtener tomateras con frutos cargados de

antocianinas y, por tanto, con un característico color morado-azulado.

Por lo tanto, gracias a la ingeniería genética se pueden obtener alimentos con compuestos químicos de gran interés para la salud humana, de una forma más económica y en cultivos ampliamente establecidos por todo el mundo.

Jorge Poveda Arias

Investigador posdoctoral en Misión Biológica de Galicia (CSIC).





Llevamos toda la vida conviviendo con patógenos, o más bien luchando contra ellos. Bacterias, virus, hongos... Son algunos de los ejemplos que se nos pasan por la cabeza cuando pensamos en organismos que causan enfermedades. Nuestro instinto nos hace sobrevivir, pero nuestra inteligencia va más allá de vivir o morir. La aplicación de la medicina moderna es la parte visible del iceberg, y los años de investigación, el componente clave en la búsqueda para frenar determinadas enfermedades. Una de las soluciones que plantea acabar con la propagación de organismos contagiosos y perjudiciales saltó a la luz el 14 de mayo de 1796, de la mano de Edward Jenner. Hablamos de las vacunas. En concreto, la pionera de esta técnica fue la vacuna de la viruela.

El concepto de vacuna según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se entiende como "cualquier preparación destinada a generar inmunidad contra una enfermedad estimulando la producción de anticuerpos". Sin embargo, a pesar de seguir manteniendo este significado global en dicha técnica, la producción de la misma no es igual. Gracias a la ingeniería genética, cada día estamos más cerca de un futuro donde sea posible un sistema de

vacunación todavía más eficaz, diverso y accesible. Somos capaces de modificar el genoma, es decir, el material genético, de ciertos organismos para cambiar sus propiedades o partes de estos. En la industria alimenticia se han logrado grandes avances, como la producción de plantas con menor tiempo de cosecha o frutas que maduran durante todo el año. Asimismo, en el campo de la salud también se han hecho efectivos los usos de organismos transgénicos.

Las vacunas comestibles son una alternativa a la técnica tradicional en lo referido al método de aplicación. Son producidas gracias a la modificación genética de plantas, marcando un antes y un después, en especial, en los países que disponen de pocos recursos económicos, encontrando en estas vacunas una solución barata, fácil de suministrar y sencillas de mantener.

El primer paso para su preparación es identificar la proteína inmunológica de interés para suministrar posteriormente. Un ejemplo es el gen HBsAG, que actúa contra el virus de la hepatitis B. Después, se aísla la sección de ADN donde se encuentra el gen, y se inserta a un plásmido como vector de transferencia, es



La planta del tabaco ofrece grandes ventajas al no ser una especie empleada en el uso alimentario, y por lo tanto, no dando lugar a errores de pérdida o propagación del producto. Otra ventaja es que la floración tiene lugar después de utilizar las hojas para este fin médico, así, nos podemos asegurar de que el medio ambiente estará protegido de posibles dispersiones de proteínas recombinantes que pueden causar alteraciones en la naturaleza.

decir, ese fragmento se unirá por ingeniería genética al material genético de otro ser vivo para poder ser dirigido a otro organismo, y posteriormente expresado en él. Los vectores que se utilizan en su mayoría son bacterias, como *Agrobacterium tumefaciens*; aunque algunas veces se usan otros métodos, como microinyecciones. Una vez que se cultivan las bacterias modificadas genéticamente, se introducen en plantas, convirtiéndose en plantas transgénicas transgénicas. Normalmente se usan en la planta de soja, arroz, trigo, patata, tabaco o tomate. Y son fáciles de cultivar, por lo que generan un gran número de vacunas. Estas vacunas también poseen otras ventajas como la dificultad que tienen de ser contaminadas por otros patógenos que puedan actuar en plantas, y que, además, afectan a mamíferos. Y tienen un mecanismo por el cual pliegan y ensamblan proteínas que son recombinantes, incluyéndose en la cadena de material genético de la planta, por chaperonas (proteínas que favorecen la función de las

recombinantes ayudándoles a tener una estructura estable).

A pesar de ser una iniciativa de futuro, todavía hay que resolver algunos contras: los antígenos pueden degradarse en el intestino o en el estómago al ser digeridos, sin poder llegar a ejercer su función inmunitaria. Esta función, para que sea eficaz implica que es necesario incluir gran cantidad de antígenos para ser relevantes en el organismo. Y su consumo debe ser en la forma natural de la planta, por ejemplo, el fruto de la misma. Otro de los inconvenientes que podemos encontrar es la producción de reacciones alérgicas o la posible contaminación del entorno del cultivo. Actualmente, los científicos siguen trabajando para solucionar estos problemas y por nuevos proyectos como la posible vacuna al Virus de la Inmunodeficiencia Humana.

Laura Manzanares Alaminos

Estudiante del grado en Biología por la Universidad de Sevilla.



Hazte socio

Apoya la divulgación científica



Escanea el código para proceder a la suscripción.





Colabora en próximos números

Si quieres colaborar en la revista, escríbenos un correo a revista@hidden-nature.com y te enviaremos las normas de publicación para que puedas participar en futuras revistas.

Colaboradores

Juan Encina

Graduado en Biología por la Universidad de Coruña y Máster en Profesorado de Educación Secundaria por la Universidad Pablo de Olavide. Colabora en proyectos de divulgación científica desde 2013 como redactor, editor, animador de talleres para estudiantes y ponente.



Juan de Dios Franco Navarro

Licenciado en Biología (US), Máster en Genética Molecular y Biotecnología Vegetal (US) y Doctorando en Biología Integrada (IRNAS-CSIC-US).



Francisco Jesús Moreno Racero

Graduado en Biología. Actualmente realizando mi TFM en el grupo de Regulación Iónica e Hídrica en plantas (RIH) en el IRNAS-CSIC (Sevilla).



Procopio Peinado Torrubia

Doctorando en Biología. Investigador en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



Marta Lucas Gutiérrez

Graduada en Biología. Actualmente me encuentro en mi primer año de doctorado con el grupo de Regulación Iónica e Hídrica en plantas (RIH) en el IRNAS-CSIC (Sevilla).



Jorge Poveda Arias

Investigador posdoctoral en Misión Biológica de Galicia (CSIC).



Laura Manzanares Alaminos

Estudiante del grado en Biología por la Universidad de Sevilla.



Francisco Gálvez Prada

Socio fundador del Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Científicos - BioScripts. CEO en IguañaWeb y CTO en Hidden Nature.



Agradecimientos y atribuciones de imágenes

- Especial agradecimiento a Juan Encina como editor y revisor de este ejemplar.
- Las imágenes que necesiten atribución las tienen indicada en su pie de imagen, cada autor del artículo es responsable del uso de las mismas y de que las atribuciones sean correctas.

Revista Hidden Nature

Editado por Francisco Gálvez Prada en el Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Científicos **BioScripts** bajo el proyecto Espacio de Divulgación Científica - Hidden Nature en Avda. Reina Mercedes 31 Local Fondo, Sevilla, 41012 (España).

Con el apoyo de



casa de la ciencia
sevilla



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Número 12· 4T/2020

ISSN 2531-0402

00012



9 772531 040206

PVP Recomendado - 1.50€

Bio
Scripts.net