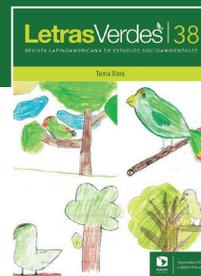




Ensayo



## Problemas de la agroindustria y cultivos CRISPR: ¿a dónde apunta el cambio tecnológico?

Agrobusiness issues and CRISPR crops:  
Where is the technological change headed?

-  Iriel-Surai Molina, Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC), Centro Nacional Patagónico (CENPAT), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, irielsurai@hotmail.com, orcid.org/0009-0000-4892-8922
-  Nahuel Pallitto, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, nahuelpallitto@conicet.gov.ar, orcid.org/0000-0003-2072-253X
-  Guillermo Folguera, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, guillefolguera@yahoo.com.ar, orcid.org/0000-0002-4990-7039

Recibido: 17 de julio de 2024  
Aceptado: 4 de marzo de 2025  
Publicado: 30 de septiembre de 2025

### Resumen

**Introducción:** gran parte de las estrategias para enfrentar los problemas de la agroindustria provienen del desarrollo biotecnológico. La persistencia y agravamiento de los problemas, el creciente rechazo social al cultivo con transgénicos y la constante necesidad de innovación llevan a la necesidad de buscar soluciones alternativas. En este contexto surgieron las tecnologías CRISPR y, con ellas, una nueva manera de desarrollar vegetales modificados para cultivo cargada de grandes promesas y valoraciones positivas respecto a su potencial productivo y económico. **Objetivo:** en este trabajo, evaluaremos cómo responden las tecnologías CRISPR al complejo de problemas de la agroindustria, atendiendo a la persistencia, agravamiento o erradicación de los problemas reconocidos y al surgimiento de problemas nuevos. **Metodología:** la metodología propuesta consiste en recopilar fuentes bibliográficas a través de palabras clave y en un análisis crítico de los problemas de la agroindustria reconocidos en el marco de la emergencia de un cambio tecnológico significativo. **Conclusiones:** nuestro análisis muestra que las tecnologías CRISPR replican el modelo que hoy funciona con transgénicos, sin cuestionarlo y aumentando las posibilidades de agravar problemas como la contaminación con agroquímicos.

**Palabras clave:** agroindustria; biotecnología; cambio tecnológico; CRISPR; problema socioambiental

### Abstract

**Introduction:** Most of the strategies to face agribusiness problems come from biotechnological development. The persistence and aggravation of problems, the growing social rejection of transgenic crops and the constant need for innovation, lead to the need to look for alternative solutions. In this context, CRISPR technologies emerged and, with them, a new way of developing modified plants for cultivation, full of great promise and positive evaluations regarding their productive and economic potential. **Objective:** In this work, we will evaluate how CRISPR technologies respond to the agribusiness problem complex, taking into account the persistence, aggravation or eradication of recognized problems and the emergence of new problems. **Methodology:** The proposed methodology consists of the compilation of bibliographic sources through key words and a critical analysis of the recognized agribusiness problems in the context of the emergence of a significant technological change. **Conclusions:** Our analysis shows that CRISPR technologies replicate the model that today works with transgenics, without questioning it and increasing the possibilities of aggravating problems such as contamination with agrochemicals.

**Keywords:** agribusiness; biotechnology; technological change; CRISPR; socio-environmental problem



## Introducción

En Argentina, desde la década de 1990, la producción agrícola se lleva adelante mayoritariamente a través del modelo industrial del agronegocio (García Guerreiro y Wahren 2016). Dicho modelo se caracteriza, entre otras cosas, por la siembra directa en grandes extensiones de tierra cultivada con un solo tipo vegetal o unas pocas especies en rotación (Carabajal 2013); por utilizar variedades vegetales genéticamente modificadas y por la incorporación artificial de biocidas y fertilizantes (Cáceres 2015; Otero 2013; Wahren 2020).<sup>1</sup>

Uno de los objetivos de la producción agrícola industrial es aumentar rendimientos y maximizar ganancias. En la búsqueda por alcanzar esa mayor rentabilidad ha debido afrontar diversos problemas, algunos de los cuales se originan en las características particulares del ambiente donde se cultivan. Son ejemplos de esto los climas extremos y los organismos que infectan, parasitan o consumen los cultivos. Otro conjunto de problemas tiene su origen en la forma de producción, con efectos que pueden reflejarse al interior de la industria o como consecuencias negativas para la sociedad en general. Dentro de esta descripción pueden incluirse el surgimiento de pestes resistentes a los tratamientos que se les aplican a los cultivos, los daños al ambiente, las personas que enferman, el efecto de los agroquímicos sobre especies no diana y el deterioro de la imagen social de este modo de producción (ver Sección 1).

Gran parte de las estrategias que se ofrecen como respuesta a los problemas de la producción agroindustrial descritos provienen del desarrollo científico y tecnológico (Otero 2013). Desde comienzos de la década de 1980, de la mano de la transgénesis vegetal y otras formas de ingeniería genética, las soluciones propuestas por la ciencia han consistido centralmente en desarrollar cultivos modificados (Wahren 2020).

En la Argentina hay casi 80 variedades vegetales transgénicas aprobadas. Un ejemplo paradigmático y actual es el del trigo transgénico HB4. Este trigo, al ser tolerante a las sequías y resistente al glufosinato de amonio (herbicida), puede cultivarse en zonas expuestas a períodos de sequía y permite usar glufosinato de amonio para eliminar cualquier otro vegetal del campo cultivado (González et al. 2019). El uso de variantes vegetales resistentes a plaguicidas ha despertado numerosas controversias; en la medida en que se fueron haciendo más evidentes los efectos de estos productos en la salud, creció el rechazo social por el modelo de producción agroindustrial (Arancibia 2020; Biliański 2023b; Cáceres 2015; Grupo de Reflexión Rural 2004; Francese 2021; Wahren 2020). Estos elementos, junto con otros propios del mercado, como la constante necesidad de innovación, llevaron a cuestionar la tecnología y a buscar alternativas para reemplazarlos.

En este contexto surgieron, hace ya más de una década, las tecnologías CRISPR (del inglés, *cluster regularly interspaced short palindromic repeats*) y, con ellas, una

1 A lo largo de este trabajo, siempre que usemos los términos “agroindustria” o “industria agrícola” nos referiremos al modelo industrial del agronegocio acá descrito.

nueva manera de desarrollar vegetales modificados para cultivo (Feng et al. 2013; Gasiunas et al. 2012; Jinek et al. 2012). El *boom* que acompañó al surgimiento de estas tecnologías estuvo y está cargado de grandes promesas y valoraciones positivas respecto a su potencial productivo y económico. Quienes trabajan con ellas describen a las tecnologías como baratas, versátiles, sencillas de utilizar, precisas, eficientes y revolucionarias (Bilański 2023b; Calla y Moreno 2021; Das et al. 2023; González, Massa y Feingold 2021; Jinek et al. 2012; Sun et al. 2016; Tian et al. 2018). Asimismo, las conciben como diferentes y superadoras de las técnicas de transgénesis vegetal (Ahmad et al. 2021b; Chen et al. 2019).

Entre los argumentos que sustentan las valoraciones positivas de la tecnología, se reconocen i) la posibilidad de un mayor alcance que la transgénesis, en cuanto a la diversidad de vegetales y a los tipos de modificación admisibles (Das et al. 2023); ii) la potencialidad para resolver con ellas los problemas de la agroindustria, desde las sequías hasta la mala imagen (Ahmad et al. 2021a; Ishii y Araki 2016; Shelake et al. 2022); iii) la superación de las limitaciones legales que tienen los transgénicos hoy para cultivarse en algunas regiones del mundo (Chandrasekaran et al. 2016), y iv) el convencimiento de que son la única forma de alcanzar las metas de producción de alimentos para enfrentar el hambre mundial, a la vez que prometen reducir el uso de plaguicidas (Ahmad et al. 2021b; Rasheed et al. 2021).

## Objetivos, metodología y estructura del artículo

En este artículo nos proponemos analizar cómo responden las tecnologías CRISPR al complejo de problemas de la industria agrícola. En particular, evaluaremos la persistencia, agravamiento o erradicación de los problemas reconocidos, a la vez que buscaremos anticipar el surgimiento de problemas nuevos que su uso genera en la industria agrícola y en la sociedad en general. Para ello, realizamos tres búsquedas. La primera consistió en seleccionar revisiones internacionales en revistas con un alto factor de impacto sobre cultivos desarrollados mediante las tecnologías CRISPR, con las palabras clave “CRISPR” y “*crops*” (Chen et al. 2019; Gao 2021 y Janagathar et al. 2018). Una vez realizada esta selección inicial, procedimos a la evaluación temática por título y resumen de todos los artículos citados (137), con la finalidad de filtrar aquellos que contenían entre sus objetivos el desarrollo de vegetales modificados con fines de cultivo. De este procedimiento y luego de eliminar artículos repetidos en las revisiones, obtuvimos un total de 42 artículos originales que implementan CRISPR para modificar cultivos.

La segunda búsqueda, complementaria a la anterior, radicó en explorar las líneas de investigación en Argentina que se encuentran aplicando las tecnologías CRISPR a la modificación de cultivos. Para ello utilizamos el buscador, los

perfiles profesionales y el repositorio de la página de CONICET (2025), principal organismo de ciencia y tecnología nacional. El procedimiento consistió en i) identificar investigadores vinculados al término “CRISPR” en el buscador de la página, ii) extraer las referencias de artículos desde los perfiles profesionales de cada investigador e iii) identificar y seleccionar aquellos que refieran a “cultivos”. De este procedimiento obtuvimos un total de 18 resultados entre los años 2019 y 2023. Tomamos los artículos del repositorio “CONICET digital” (CONICET digital 2025). En los casos en que los textos completos de los artículos no se encontraban en el repositorio, los buscamos en Google Académico. La indagación de lo que acontece en Argentina, país pionero en el uso de cultivos modificados genéticamente, permitió reconocer si existen diferencias entre las tendencias a escala global y local.

Finalmente, la tercera búsqueda consistió en explorar fuentes mixtas sobre el reconocimiento y descripción de los problemas de la agroindustria, que incluyó artículos, revisiones, notas periodísticas, leyes y registros oficiales argentinos citados oportunamente en los apartados subsiguientes. Una vez seleccionados todos los artículos, efectuamos un análisis crítico de los problemas reconocidos en cada uno de ellos en diálogo con los problemas preexistentes a la emergencia de CRISPR.

Comenzaremos el recorrido de nuestro artículo describiendo los problemas de la agroindustria, particularmente aquellos vinculados a soluciones biotecnológicas. Luego, en una segunda sección, presentaremos a las herramientas CRISPR como tecnologías de intervención genética, y analizaremos la orientación de las líneas de investigación nacionales e internacionales y las características de sus intervenciones en relación con los problemas de la agroindustria. En una tercera sección analizaremos las posibilidades que presentan las herramientas CRISPR de solucionar los problemas de la industria agrícola y los que esta suscita. Finalmente, cerraremos el artículo con unas reflexiones finales.

## Los problemas de la industria agrícola

Los problemas de la agroindustria presentan diversas características, atañen a distintos momentos de la producción, y tienen efecto tanto al interior de la industria como hacia la comunidad y el ambiente. En esta sección presentamos una clasificación de los problemas a partir de la integración de la bibliografía analizada. No pretendemos que la clasificación sea exhaustiva ni definitiva, sino que simplemente buscamos facilitar la visualización de los problemas y los intentos por justificar el cambio tecnológico que supone la irrupción de CRISPR en la agroindustria.

## Problemas iniciales

Al primer conjunto de problemas lo denominamos *problemas iniciales*, en referencia a que lo constituyen factores presentes desde el comienzo de la actividad agroindustrial en un determinado territorio y que se hacen visibles cuando la actividad industrial interactúa con ese territorio. Algunos trabajos consultados señalan factores bióticos o abióticos como problemas a los que debe hacer frente la producción agroindustrial (Li et al. 2022). Bajo esta descripción entran, por ejemplo, las condiciones climáticas que puedan ser adversas para el cultivo, como calor, sequías e inundaciones (Cornelis, Waweru y Araya 2019; Lobell et al. 2008; Tigchelaar et al. 2018). Incluimos también a los organismos que puedan infectar, parasitar o consumir a los vegetales cultivados (esto abarca virus, bacterias, hongos e insectos u otros animales). Los productores agroindustriales, además, consideran un problema a las variedades vegetales que no son de su interés y que crecen en los campos cultivados. Estos vegetales son llamados *malezas* cuando compiten con los cultivos por los nutrientes o cuando dificultan la siembra y la cosecha, y se suman a la lista de organismos no deseados en las zonas cultivadas (Wahren 2020).

En una primera aproximación podría parecer que todos los modos de producción comparten los problemas descritos. Sin embargo, las características del modelo agroindustrial y su forma de concebir a la producción agrícola otorgan formas particulares a los problemas, que los diferencian de los propios de modelos alternativos. Una de estas características es la baja diversidad de los cultivos. La diversidad biológica baja tiene como consecuencia que los cultivos industriales sean particularmente susceptibles a los factores ambientales (Kaur et al. 2024). El efecto de los climas extremos es mayor en los monocultivos en tanto, superado el umbral de tolerancia, las pérdidas tienden a ser masivas. Algo similar ocurre con los organismos que infectan, parasitan o consumen vegetales cultivados como bacterias, hongos, virus, variedades vegetales epífitas, insectos y otros animales. Así, si alguno de estos organismos accede a un cultivo, tiene mayores probabilidades de arrasarlo por completo cuando se trata de una plantación con baja diversidad que cuando se trata de una plantación diversa.

De la bibliografía consultada se constata que la mayoría de las soluciones biotecnológicas que se ofrecen desde las ciencias apuntan a solucionar los *problemas iniciales*. Así, por ejemplo, surgió la primera variedad vegetal modificada por transgénesis que se introdujo en la Argentina en 1996, una soja tolerante al herbicida glifosato desarrollada por la empresa Monsanto (SAByDR 2024). El 95 % de los eventos transgénicos que cuentan hoy con aprobación comercial en la Argentina ofrece solución a alguno de los *problemas iniciales*. Entre ellos encontramos variedades de vegetales resistentes a insectos, a virus, a la sequía y a herbicidas. Del total de eventos aprobados, 77 % presentan resistencias a algún herbicida solo o en combinación con otros herbicidas u otros rasgos (SAByDR 2024), convirtiéndolo en el problema

inicial con más alternativas biotecnológicas disponibles en el país actualmente. No obstante, a pesar de los años que lleva la tecnología siendo usada en nuestros campos, los problemas iniciales son persistentes y, en muchos casos, agravados, como comentaremos a continuación en torno al surgimiento de resistencias.

## Problemas emergentes

En segundo lugar, llamamos *problemas emergentes* a aquellos que van surgiendo con el tiempo y el ejercicio del modelo agroindustrial en un determinado territorio. Incluimos en este grupo a las consecuencias de la tecnificación, de la intensificación y del agregado de sustancias ajenas al ambiente de manera sistemática.

Como mencionamos en el apartado anterior, la forma mayoritaria elegida por los productores agroindustriales para hacer frente a la presencia de organismos no deseados en los campos es fumigar con distintos biocidas. El uso sistemático de estos productos habilita y fomenta el surgimiento de organismos resistentes como el amaranto o el sorgo de Alepo, entre otros (Morichetti et al. 2013; Olea 2013). Así, por un lado, podemos entender al desarrollo de organismos resistentes como un agravamiento de los problemas iniciales, y como un *problema emergente* que la propia industria habilita y promueve. Por otro lado, los productos químicos utilizados en los campos para combatirlos (herbicidas, insecticidas, fungicidas, antibióticos y demás biocidas) son tóxicos y contaminantes. Su uso sistemático genera un nuevo conjunto de problemas emergentes que tienen efecto sobre el ambiente y sobre las comunidades. Se destacan los siguientes: la contaminación de los suelos; la contaminación del agua; los efectos agudos sobre todos los organismos alcanzados por las fumigaciones, desde insectos no diana como los polinizadores hasta las personas que habitan en zonas fumigadas, y las severas implicancias sobre la salud de las personas y animales que consumimos los vegetales fumigados (Aiassa et al. 2010; Arizpe y Locatelli 2009; Lajmanovich et al. 2012; Lepori, Mitre, y Nassetta 2013; Macías et al. 2018; Verzeñassi et al. 2023). Por tales efectos, las comunidades que habitan en zonas cultivadas y fumigadas han convenido llamar a estos productos *agrotóxicos*.

Además de los *problemas emergentes* derivados de las fumigaciones con agrotóxicos, existen otras consecuencias negativas asociadas a la tecnificación, a la intensificación y al monocultivo de organismos modificados propios de la producción agrícola industrial. A modo de ejemplo se pueden mencionar el deterioro de la tierra por monocultivo, la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica y la imposibilidad de controlar la dispersión de las semillas modificadas, junto con el creciente desempleo, las migraciones y todas las consecuencias sobre el plano laboral y la dimensión social que acarrea dicho modelo (véanse Anders et al. 2021; Gárgano 2020; Grupo de Reflexión Rural 2004; Mocase-Vía Campesina 2008; Otero 2013; Pengué y Altieri 2005; Teubal 2006; Wahren 2020).

Algunos problemas mencionados en este apartado afectan a la industria agrícola misma, tal como el surgimiento de organismos resistentes. Sin embargo, la mayoría tienen su principal efecto sobre el ambiente y la comunidad. Estos riesgos y daños causados sobre las comunidades y los territorios han despertado numerosas controversias, tanto científicas como sociales y ambientales, respecto de la producción agrícola industrial. El resultado es que los cultivos agroindustriales poseen hoy una “mala imagen” para una parte de la sociedad. Tal rechazo puede entenderse como un problema emergente más del modelo. En general, los problemas emergentes con efecto sobre el ambiente y la comunidad son pobremente abordados por las soluciones biotecnológicas propuestas, dado que la finalidad pretendida de dichos desarrollos tecnológicos se vincula sobre todo con el aumento de la productividad, aun cuando subsidiariamente puedan incluir otros objetivos.

### Problemas legales

Las cuestiones legales o regulatorias integran una última categoría. Uno de los problemas más destacados de índole regulatoria son los tiempos y costos para obtener la aprobación comercial de cada evento transgénico novedoso. Estos procesos dependen de la normativa de cada país. En Argentina, por ejemplo, la resolución 763/11 y su normativa complementaria establecen la necesidad realizar una evaluación triple para obtener la habilitación comercial <sup>(MAGyP 2011)</sup>. En primer lugar, la Comisión Nacional Asesora en Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) evalúa el riesgo ambiental. En segundo lugar, el Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria (SENASA) prueba la inocuidad de la parte comestible del vegetal. En tercer lugar, la Dirección de Mercados Agrícolas evalúa el posible impacto de la producción y comercialización de la planta. En la búsqueda de aumentar los rendimientos y disminuir costos y etapas burocráticas, estos pasos regulatorios constituyen un problema para la agroindustria.

Otro problema que podría incluirse en esta categoría es la disputa de las multinacionales semilleras por conseguir la propiedad intelectual de las semillas modificadas y, con ello, cobrar regalías extendidas. No obstante, por ser este un tema cuya complejidad entre los actores al interior de la agroindustria excede las posibilidades y la extensión de este trabajo, no lo abordaremos aquí (el lector que desee profundizar en dicho tema puede consultar a Perelmuter 2020).

Como síntesis de esta primera sección, se puede aseverar que las propuestas biotecnológicas, con gran protagonismo de los transgénicos a partir de los noventa, se han dirigido principalmente a resolver problemas iniciales de la industria agrícola. Sin embargo, estas soluciones no han sido todo lo efectivas o convenientes que se esperaba que fueran. Su utilización ha llevado a que emerjan nuevos problemas, tanto agrícolas como sociales, y ha supuesto diversos obstáculos legales y regulatorios que

se traducen en un incremento de los costos productivos. En este contexto adquieren relevancia e interés las tecnologías CRISPR, en tanto alojan la promesa de resolver varios problemas persistentes y agravados a partir de un cambio tecnológico.

## Las tecnologías CRISPR y su abordaje de los problemas de la agroindustria

En la naturaleza, los sistemas CRISPR/Cas constituyen mecanismos de defensa frente a virus presentes en algunas bacterias y algunas archaeas. A estos sistemas se los conoce como tales desde mediados de los 2000 (Bolotin et al. 2005; Haft et al. 2005) y fueron propuestos como potenciales tecnologías de modificación genética en 2012 (Jinek et al. 2012; Gasiunas et al. 2012). En ese año se formalizó el interés por usar un conjunto de entidades de origen bacteriano como herramientas biotecnológicas capaces de generar modificaciones en el ADN de todo tipo de organismos.

En su forma más básica, las tecnologías CRISPR consisten en unas proteínas que permiten generar un corte de la doble hebra de ADN en un lugar elegido del genoma de una célula. Luego, los mecanismos propios de la célula reparan este corte, lo que puede generar una modificación de interés. Sobre estas entidades y protocolos básicos se desarrollaron numerosas modificaciones, posibilitando así la intervención de genomas con CRISPR de maneras sumamente diversas (Bhatia, Pooja y Yadav 2023).

Menos de un año después de las primeras publicaciones que sugerían el uso de las entidades CRISPR como herramienta de modificación genética, ya se estaban promocionando resultados exitosos en la modificación de vegetales (Feng et al. 2013). La rapidez con que se obtuvieron los primeros vegetales editados da cuenta de una reducción en los tiempos para obtener vegetales intervenidos por ingeniería genética respecto al propio de los transgénicos o de los mutagénicos. En uno de los primeros registros se reportó que, vía CRISPR, se generaron mutaciones en múltiples genes de la planta modelo *Arabidopsis thaliana* y en una variedad comercial de arroz (Feng et al. 2013). Desde ese entonces, las investigaciones con CRISPR no han dejado de aumentar, y han fomentado líneas de investigación sobre plantas que se orientaron centralmente a desarrollar vegetales modificados para cultivo.

Durante la última década, se han suscitado numerosas promesas en torno a las ventajas de utilizar CRISPR para ofrecer soluciones a los distintos problemas de la agroindustria. En las siguientes subsecciones abordamos las novedades que ofrecen las CRISPR en el desarrollo de vegetales para cultivo y su relación con los problemas de la agroindustria. Dos aspectos de análisis componen las siguientes subsecciones. El primero incluye los protocolos y características de intervención con CRISPR a nivel molecular. El segundo abarca los objetivos y justificaciones de las investigaciones y las características de los vegetales que se busca desarrollar. Ambos aspectos ofrecen perspectivas de análisis importantes para indagar las

respuestas que ofrecen las tecnologías CRISPR a los problemas planteados. En el primer aspecto encontramos elementos para indagar el problema de la aprobación comercial y la mala imagen de los transgénicos en ámbitos sociales, mientras que en el segundo hallamos abordados sobre todo los problemas iniciales. Los problemas emergentes aparecen brevemente en ambos niveles.

### Características moleculares de la intervención con CRISPR sobre vegetales para cultivo

Una de las principales características de las tecnologías CRISPR a nivel molecular es su carácter dirigido. A diferencia de las técnicas de transgénesis,<sup>2</sup> en las que la inserción del gen de interés se produce en una región al azar de genoma, con las tecnologías CRISPR se define *a priori* el sitio del genoma donde va a producirse la modificación.

El proceso de intervención con CRISPR en vegetales suele incluir la inserción estable de los genes CRISPR en el genoma del vegetal. Es decir, que se produce una planta transgénica cuyos genes foráneos son los genes CRISPR (provenientes de bacterias). Para este proceso se puede utilizar cualquiera de los métodos tradicionales de transgénesis vegetal, siendo la transformación mediada por *Agrobacterium*<sup>3</sup> una de las formas más frecuentes (Zhu, Li y Gao 2020). Una alternativa para intervenir con CRISPR consiste en ingresar a la célula las entidades CRISPR mismas (y no sus genes) para que no medien etapas transgénicas. Este segundo método permite la expresión transitoria de las entidades CRISPR que luego son degradadas por la célula (Antony Ceasar e Ignacimuthu 2023; González et al. 2021). Sin embargo, en la mayoría de los protocolos analizados las estrategias elegidas implican el estadio transgénico (Chen et al. 2019). De todos modos, es posible utilizar el primer método y, a la vez, producir vegetales libres de transgén. Para alcanzar este objetivo, la estrategia suele ser generar cruzamientos entre las plantas modificadas y seleccionar aquellos descendientes que por azar conservan las modificaciones deseadas pero no los transgenes CRISPR, como lo hacen, por ejemplo, Bottero y colaboradores (2022) y Nekrasov y colaboradores (2017).

Del análisis bibliográfico realizado identificamos tres razones que justifican el interés por desarrollar vegetales CRISPR libres de transgén. La primera está relacionada con la estabilidad a largo plazo de las plantas, ya que evitar que las entidades CRISPR sigan presentes es evitar posibles futuras modificaciones no controladas (He y Zhao 2020). Otra razón se relaciona con buscar que el público consumidor acepte variedades vegetales CRISPR. Como mencionamos anteriormente, los pro-

2 A grandes rasgos, la transgénesis vegetal consiste en la inserción estable de un segmento de ADN foráneo (de otro organismo) en alguna región del genoma nuclear de una célula vegetal de manera tal que esa célula pueda dar lugar a una planta transformada completa (Carbonero, 1997). A este fragmento de ADN introducido se lo denomina “transgén” y, por lo tanto, la planta obtenida se convierte en un transgénico de la que se espera que tenga una característica fenotípica particular en un determinado entorno.

3 La transformación mediada por *Agrobacterium* consiste en la utilización de una bacteria capaz de infectar vegetales como vector para introducir los genes de interés en los tejidos vegetales. Para más detalles consultar Carbonero (1997).

blemas emergentes de la agroindustria han derivado en una creciente mala imagen de esa forma de producción, y este rechazo social alcanza a los cultivos transgénicos. De esta manera, producir vegetales que puedan ser presentados al público consumidor como “libres de transgén” se presenta como una posibilidad de esquivar la mala imagen de los transgénicos (Ishii y Araki 2016).

La tercera motivación se relaciona con el problema de los tiempos de aprobación comercial, ya que las plantas transgénicas tienen que atravesar un largo proceso en etapas para obtener su aprobación comercial. Sin embargo, en algunas partes del mundo, las plantas CRISPR están evitando esos controles (Ahmad et al. 2021a). La posibilidad técnica de las herramientas CRISPR de producir plantas libres de transgén habilita que se generen argumentos de base biológica para desarrollar normativas nuevas. A través de su carácter puntual y dirigido al momento de realizar modificaciones, se argumenta que una intervención con CRISPR se parece más a los métodos tradicionales o mutagénicos de mejoramiento vegetal (los cuales están exentos de controles) que a los transgénicos. De esta manera, para evitar las regulaciones en algunas regiones, solo hace falta que la planta no posea transgenes.

Argentina es el primer país del mundo en desarrollar criterios regulatorios para los vegetales producidos por las llamadas nuevas técnicas de mejoramiento (NBT, por su sigla en inglés: *new breeding technologies*) de las que CRISPR es la principal (Bilański 2023a). En líneas generales, esta reglamentación propone que la CONABIA evalúe y dictamine cuándo un organismo obtenido a partir de la aplicación de las NBT se encuentra alcanzado por el marco de la Resolución N.º 763/11 y su normativa complementaria y cuándo no (primera normativa: MAGyP 2015; normativa actual: MAGyP 2021). Dicha resolución prevé además la posibilidad de solicitar una evaluación previa para que la CONABIA brinde un dictamen preliminar que anticipe la posibilidad de salir al mercado sin mediar regulaciones mientras el vegetal está aún en desarrollo. Algunos trabajos, como el de Bottero y colaboradores (2022), cuentan con tales dictámenes preliminares. Otros, como el de González y colaboradores (2020) sobre la papa, o el de Galindo-Sotomonte y colaboradores (2023) sobre la alfalfa, destacan las características de sus protocolos, que permitirían esquivar las regulaciones.

El carácter dirigido de las tecnologías, la posibilidad de generar plantas libres de transgén, sumados a la diversidad técnica para aplicar las tecnologías CRISPR, le otorgan a estas tecnologías grandes posibilidades de expansión. Por un lado, posibilita acceder a vegetales no alcanzados por la ingeniería genética actualmente. Por otro, permite obtener vía CRISPR variantes vegetales ya obtenidas por otras vías para poder insertarlos en mercados donde no estén incorporados. En ese sentido, las tecnologías CRISPR estarían permitiendo correr “barreras”, tanto al aumentar la cantidad de tipos vegetales alcanzados por alguna biotecnología, como por la expansión en regiones del mundo que ahora cuentan con modos más accesibles de desarrollar vegetales modificados por ingeniería genética.

## Objetivos y justificaciones de las investigaciones con CRISPR sobre vegetales para cultivo

Los artículos de revisión que sistematizan las investigaciones con CRISPR sobre vegetales clasifican los objetivos de las investigaciones típicamente en búsqueda de obtener resistencia a factores bióticos o abióticos, aumento del rendimiento y generación de nuevas características vinculadas al valor comercial o nutricional del cultivo (Chen et al. 2019; Gao 2021; Jaganathan et al. 2018; Ricroch, Clairand y Harwood 2017). En líneas generales, las investigaciones agrupadas como resistencia a factores bióticos o abióticos buscan responder a los problemas agrupados aquí como iniciales.

Las estrategias para enfrentar los problemas iniciales con CRISPR consisten en desarrollar vegetales resistentes a factores climáticos, tolerantes a plaguicidas y resistentes a distintos organismos como hongos e insectos. En cuanto a los objetivos de las investigaciones, las estrategias para enfrentar los problemas iniciales con CRISPR son similares a las de las técnicas ofrecidas por transgénesis. Por ejemplo, la investigación de Perk y colaboradores busca desarrollar una variedad de tomates resistentes al hongo *Botrytis cinérea* (Perk et al. 2023); es decir, producir un tomate al cual el hongo no pueda parasitar. Esta estrategia es similar a la de los cultivos BT,<sup>4</sup> cuyas características evitan que los saltamontes y barrenadores los ataquen. En cuanto a los factores climáticos, como la sequía, encontramos líneas de investigación como la de Shi y colaboradores (2017), que buscan desarrollar variedades de maíz tolerantes a la sequía que imiten a variantes transgénicas ya desarrolladas. Para el problema de las malezas, un grupo de investigación argentino se enfoca en desarrollar variedades de alfalfa resistentes a múltiples herbicidas (Bottero et al. 2022). Nuevamente la estrategia para el problema de las malezas es aplicar herbicidas. El apilamiento de rasgos (como la resistencia a múltiples herbicidas) también se desarrolló por vía de transgénesis y se comercializa en la Argentina desde 2007 (SAByDR 2024).

Los problemas emergentes, como tales, no son objetivo de las investigaciones, aunque sí encontramos referencias a ellos entre las justificaciones de algunas líneas de investigación. Por ejemplo, el trabajo de Perk y colaboradores (2023) reconoce los problemas emergentes de contaminación y de surgimiento de especies resistentes en el desarrollo de tomates resistentes a hongos. Al respecto menciona que

las enfermedades que afectan al cultivo de tomate representan importantes pérdidas económicas y el uso de productos químicos para su control, además de tener un impacto negativo en el medio ambiente, puede provocar la generación de resistencias.

<sup>4</sup> El *Bacillus thuringiensis* o Bt es un microorganismo del suelo que se utiliza en la agricultura por sus propiedades insecticidas. Llamamos cultivos BT a las variedades vegetales transgénicas modificadas para producir ellas mismas la toxina BT con propiedades insecticidas (Morales Estupiñán, 2001).

Descubrir nuevas vías que puedan manipularse es un enfoque biotecnológico innovador para la protección de cultivos contra patógenos (1, traducción propia).<sup>5</sup>

Esto podría interpretarse como una estrategia que podría disminuir el uso de agrotóxicos. Sin embargo, esta estrategia, junto con su acompañamiento discursivo, ya fue utilizado ante el desarrollo de variedades vegetales transgénicas resistentes a insectos desde los noventa (Roush 1994) y aplicada en Argentina desde los años 2000 (SAB-yDR 2024), sin constituir en los hechos una disminución en el uso de agrotóxicos. ¿Por qué habría de ser diferente en esta oportunidad?

## Entonces, ¿qué resuelven las tecnologías CRISPR del complejo de problemas de la industria agrícola?

La evaluación del impacto que las tecnologías CRISPR ocasionan o pueden llegar a ocasionar sobre los problemas de la agroindustria nos permitió identificar distintos grados de abordaje de los problemas. De la clasificación establecida en este trabajo y a partir de la bibliografía analizada, resulta que los problemas iniciales son los más abordados por los objetivos de las investigaciones, mediante estrategias similares a las de las técnicas de transgénesis vegetal. Esto sugiere que el cambio tecnológico, es decir, la aparición de CRISPR como nueva forma de modificar genéticamente los vegetales para cultivo, no pareciera responder en principio a un cambio en los objetivos de las investigaciones. No es allí donde hay que buscar su fundamento. De hecho, gran parte de las investigaciones continúan dirigiéndose a generar plantas resistentes a agrotóxicos, y constituyen, como vimos, estrategias que tienen simplemente un efecto paliativo durante el tiempo en que se apliquen los plaguicidas o, en su defecto, la ventana temporal hasta que surjan resistencias o nuevas estrategias naturales de infección.

En cuanto a los problemas regulatorios, los desarrolladores de cultivos CRISPR consideran que pueden solucionarse a través de las características moleculares de las tecnologías involucradas. Las regulaciones y normativas que dictaminan lo que es realizable y posible comercializar para los cultivos modificados se elaboran sobre la base de ciertos procesos biológicos y características de los productos obtenidos. Si cambian los procesos o los productos, junto con sus respectivas definiciones, las regulaciones o normativas pierden su aplicabilidad. Precisamente a esa pérdida de aplicabilidad apuntan gran parte de los artículos analizados, pues brindan explicaciones biológicas que quitan del alcance de las legislaciones a los cultivos CRISPR y los eximen así de numerosos controles.

<sup>5</sup> Original: "Diseases that affect tomato crops represent significant economic losses and the use of chemicals for their control, apart from having a negative impact on the environment, may lead to resistant generation. Discovering new pathways that can be manipulated is an innovative biotechnological approach for crop protection against pathogens".

En este sentido, consideramos que el avance tecnológico se orienta hacia disminuir el control estatal y el registro público de los productos biotecnológicos que se inserten al mercado con fines alimenticios. Esta disminución del control se busca, vale la pena decirlo, aun cuando los daños que ocasionan en el ambiente y las comunidades se mantienen inalterables con el cambio tecnológico. Desde este punto de vista, no importa si la resistencia fue otorgada mediante una tecnología u otra. Las preguntas que surgen son cuál es el objeto de tales legislaciones y cuál debería serlo.

Con respecto al amplio grupo de problemas aquí llamados *emergentes*, el análisis efectuado indica que estos se encuentran pobremente alcanzados por las tecnologías. Las menciones que encontramos no constituyen soluciones para ellos, sino justificativos de la necesidad de seguir desarrollando soluciones biotecnológicas a problemas que de todos modos persisten, se agravan o emergen. Por ejemplo, en relación con la propuesta de disminuir el uso de pesticidas, no podemos concluir con base en estos análisis que las tecnologías CRISPR constituyan una posibilidad real de disminuir su uso. Por el contrario, las líneas de investigación tomadas de conjunto permiten anticipar un aumento en el uso de plaguicidas (centralmente herbicidas) conducente a que los problemas emergentes persistan y se agraven del modo en que viene ocurriendo todos estos años.

A más de una década de la presentación de las tecnologías CRISPR al mundo, consideramos que sus características a nivel molecular brindan la posibilidad de aumentar el alcance de la ingeniería genética en la agroindustria, tanto en el número de variedades vegetales como en la cantidad de regiones del mundo en que se cultive con vegetales modificados. Además, estas mismas características moleculares, traducidas en los artículos como “mayor eficiencia”, “mayor precisión” y “modificaciones puntuales”, permiten esquivar regulaciones y renovar promesas y discursos. Sin embargo, no pareciera que las tecnologías representen soluciones novedosas ni definitivas para los problemas iniciales. Tampoco parece su aparición una solución real a los problemas emergentes. Por el contrario, los siguen abordando de manera superficial.

Para finalizar con esta sección, no se puede soslayar la creciente resistencia social a los cultivos transgénicos como factor relevante para impulsar la investigación con CRISPR en la agroindustria. La mala imagen social de los transgénicos es un problema emergente para la agroindustria que provoca pérdidas económicas. Por lo tanto, la irrupción de CRISPR puede ser entendida como un modo renovado de continuar realizando las mismas prácticas productivas, aunque ahora sin ese componente incómodo y conflictivo para obtener sus propios intereses. De este modo, el cambio tecnológico, más allá de las diferencias en sus aspectos técnicos, opera fundamentalmente en el plano publicitario, ya que, por las tendencias de las investigaciones con CRISPR, todo indica que la producción agroindustrial asociada a vegetales CRISPR producirá daños ambientales y sociales similares a los generados por el uso de las tecnologías anteriores.

## Conclusiones

El trabajo aquí realizado nos permitió problematizar algunos aspectos de los cambios tecnológicos que ocurren frecuentemente en nuestras sociedades. A partir del análisis de los problemas que han resuelto, agravado u ocasionado, hemos señalado que el cambio tecnológico que involucra a las tecnologías CRISPR en el escenario de la agroindustria modifica poco o nada los fundamentos del modelo y de los problemas que acarrea para las comunidades y al ambiente. Si bien es posible que las herramientas CRISPR modifiquen el modo de producir alimentos, las investigaciones en vegetales con CRISPR se orientan en la actualidad a replicar y refinar el modelo que hoy funciona con transgénicos, pero en ningún caso a cuestionarlo o modificarlo. En ese sentido, entendemos que las promesas de mejoras constituyen una especie de “borrón y cuenta nueva” falaz, sostenido en argumentaciones de las diferencias técnicas (difíciles de comprender para la gran mayoría de las personas afectadas) que suponen las tecnologías comparadas. Dichas promesas se acompañan de expectativas y de un vocabulario publicitario que muy probablemente no se traduzca en cambios significativos en la forma de producir, orientados a solucionar los problemas y daños hasta ahora registrados sobre el ambiente y las comunidades.

Finalmente, resulta significativo señalar que la agroindustria, aunque ocupa la mayor extensión de tierra cultivada, no es la única forma de cultivar. Otras propuestas agroproductivas parten de otros mundos posibles y en ellas la prioridad no es única ni principalmente incrementar las ganancias. Ejemplos de esto son la agroecología, la agricultura orgánica, la permacultura o la agricultura de bajos insumos externos. Bajo estas otras propuestas, los problemas que aquí describimos para la agroindustria cambian o simplemente se desvanecen y, junto con ellos, las soluciones biotecnológicas pierden su urgencia y su sentido. Por ello, concluimos este artículo señalando que de nada sirve un cambio tecnológico si no hay un cambio en el mundo que lo fundamenta. Los cultivos CRISPR son un claro ejemplo de esto.

## Bibliografía

- Ahmad, Aftab, Nayla Munawar, Zulqurnain Khan, Alaa T. Qusmani, Sultan Habibullah Khan, Amer Jamil, Sidra Ashraf, et al. 2021a. “An Outlook on Global Regulatory Landscape for Genome-Edited Crops”. *International Journal of Molecular Sciences* 22 (21): 11753. <https://doi.org/10.3390/ijms222111753>
- Ahmad, Shakeel, Liqun Tang, Rahil Shahzad, Amos Musyoki Mawia, Gundra Sivakrishna Rao, Shakra Jamil, Chen Wei, et al. 2021b. “CRISPR-Based Crop Improvements: A Way Forward to Achieve Zero Hunger”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69 (30): 8307-23. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c02653>

- Anders, Sven, Wallace Cowling, Ashwani Pareek, Kapuganti Jagadis Gupta, Sneha Singla-Pareek, y Christine H. Foyer. 2021. "Gaining Acceptance of Novel Plant Breeding Technologies". *Trends in Plant Science* 26 (6): 575-87. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.004>
- Antony Ceasar, Stanislaus, y Savarimuthu Ignacimuthu. 2023. "CRISPR/Cas genome editing in plants: Dawn of Agrobacterium transformation for recalcitrant and transgene-free plants for future crop breeding". *Plant Physiology and Biochemistry* 196: 724-730. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.030>
- Arancibia, Florencia. 2020. "Resistencias a la bio-economía en Argentina: las luchas contra los agrotóxicos" (2001-2013). *Ciencia digna* 1 (1): 42-63. <https://acortar.link/SUV5dH>
- Bhatia, Simran, Pooja, y Sudesh Kumar Yadav. 2023. "CRISPR-Cas for Genome Editing: Classification, Mechanism, Designing and Applications". *International Journal of Biological Macromolecules* 238 (mayo): 124054. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124054>
- Bilański, Gisele. 2023a. "El marco normativo como fomento a la I+D+i científico-tecnológica en Argentina: la edición genética en el campo agropecuario y su regulación geopolítica". *Arbor* 199 (809): a712. <https://doi.org/10.3989/arbor.2023.809001>
- Bilański, Gisele. 2023b. "La apuesta por el desarrollo con nuevas técnicas de edición genética en la Argentina". *Mundo Agrario* 24 (55): e203. <https://doi.org/10.24215/15155994e203>
- Bolotin, Alexander, Benoit Quinquis, Alexei Sorokin, y S. Dusko Ehrlich. 2005. "Clustered Regularly Interspaced Short Palindrome Repeats (CRISPRs) Have Spacers of Extrachromosomal Origin". *Microbiology* 151 (8): 2551-61. <https://doi.org/10.1099/mic.0.28048-0>
- Bottero, Emilia, Cristina Gómez, Margarita Stritzler, Hiromi Tajima, Romina Frare, Cecilia Pascuan, Eduardo Blumwald, Nicolás Ayub y Gabriela Soto. 2022. "Generation of a Multi-Herbicide-Tolerant Alfalfa by Using Base Editing". *Plant Cell Reports* 41 (2): 493-95. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02827-w>
- Calla, Bernarda, y Javier Edgardo Moreno. 2021. "VipariNama: Combining CRISPR and systemic virus-based vectors for rapid phenotyping of complex plant traits". *Plant Physiology* 186 (4): 1754-1756. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab253>
- Cáceres, Daniel Mario. 2015. "Tecnología agropecuaria y agronegocios: La lógica subyacente del modelo tecnológico dominante". *Mundo agrario* 16 (31): 0-0. <https://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/article/view/MAv16n31a08/6639>
- Carabajal, María Inés. 2013. "Transnacionalización agropecuaria y reconfiguraciones territoriales". *KULA. Antropólogos del Atlántico Sur* 9: 47-57.
- Chandrasekaran, Jeyabharathy, Marina Brumin, Dalia Wolf, Diana Leibman, Chen Klap, Mali Pearlsman, Amir Sherman, Tzahi Arazi, Amit Gal-On. 2016. "Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology". *Molecular plant pathology* 17(7): 1140-1153.

- Chen, Kunling, Yanpeng Wang, Rui Zhang, Huawei Zhang, y Caixia Gao. 2019. "CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture". *Annual Review of Plant Biology* 70 (1): 667-97. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049>
- CONICET. 2025. Página principal. <https://www.conicet.gov.ar/>
- CONICET digital. 2025. Repositorio oficial del CONICET. <https://www.conicet.gov.ar/conicet-digital/>
- Cornelis, Wim, Geoffrey Waweru y Tesfay Araya. 2019. "Building Resilience Against Drought and Floods: The Soil-Water Management Perspective". En *Sustainable Agriculture Reviews* 29, editado por Rattan Lal y Rosa Francaviglia, 29: 125-42. Sustainable Agriculture Reviews. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26265-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26265-5_6)
- Das, Tuyelee, Uttpal Anand, Tarun Pal, Sayanti Mandal, Manoj Kumar, Radha, Abilash Valsala Gopalakrishnan, José M. Pérez De La Lastra y Abhijit Dey. 2023. "Exploring the Potential of CRISPR/Cas Genome Editing for Vegetable Crop Improvement: An Overview of Challenges and Approaches". *Biotechnology and Bioengineering* 120 (5): 1215-28. <https://doi.org/10.1002/bit.28344>
- Feng, Zhengyan, Botao Zhang, Wona Ding, Xiaodong Liu, Dong-Lei Yang, Pengliang Wei, Fengqiu Cao, et al. 2013. "Efficient Genome Editing in Plants Using a CRISPR/Cas System". *Cell Research* 23 (10): 1229-32. <https://doi.org/10.1038/cr.2013.114>
- Francesc, Christian. 2021. "La ontología de los organismos vegetales genéticamente modificados y sus riesgos asociados". *Ucronías* 4: 119-138.
- Galindo-Sotomonte, Luisa, Cintia Jozefkowicz, Cristina Gómez, Margarita Stritzler, Romina Frare, Emilia Bottero, Hiromi Tajima, Eduardo Blumwald, Nicolas Ayub y Gabriela Soto. 2023. "CRISPR/Cas9-mediated knockout of a polyester synthase-like gene delays flowering time in alfalfa". *Plant Cell Reports*, 42(5), 953-956.
- Gao, Caixia. 2021. "Genome Engineering for Crop Improvement and Future Agriculture". *Cell* 184 (6): 1621-35. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.005>.
- García Guerreiro, Lucia, y Juan Wahren. 2016. "Seguridad Alimentaria vs. Soberanía Alimentaria: La cuestión alimentaria y el modelo del agronegocio en la Argentina". *Trabajo y sociedad* 26: 327-340.
- Gárgano, Cecilia. 2020. "Problemáticas socioambientales, expertos, y encrucijadas en el campo argentino". *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 28 (septiembre): 49-66. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.28.2020.4426>
- Gasiunas, Giedrius, Rodolphe Barrangou, Philippe Horvath y Virginijus Siksnys. 2012. "Cas9-crRNA Ribonucleoprotein Complex Mediates Specific DNA Cleavage for Adaptive Immunity in Bacteria". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (39). <https://doi.org/10.1073/pnas.1208507109>
- González, Fernanda Gabriela, Matías Capella, Karina Fabiana Ribichich, Facundo Currín, Jorge Ignacio Giacomelli, Francisco Ayala, Gerónimo Watson, María Elena Otegui y Raquel Lía Chan. 2019. "Field-Grown Transgenic Wheat Expressing the Sunflower Gene *HaHB4* Significantly Outyields the Wild Type". *Journal of Experimental Botany* 70 (5): 1669-81. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz037>

- González, Matías Nicolás, Gabriela Alejandra Massa, Mariette Andersson, Helle Turesson, Niklas Olsson, Ann-Sofie Fält, Leonardo Storani, Cecilia Andrea Décima Oneto, Per Hofvander, y Sergio Enrique Feingold. 2020. “Reduced Enzymatic Browning in Potato Tubers by Specific Editing of a Polyphenol Oxidase Gene via Ribonucleoprotein Complexes Delivery of the CRISPR/Cas9 System”. *Frontiers in Plant Science* 10 (enero):1649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01649>
- González, Matías Nicolás, Gabriela Alejandra Massa, Mariette Andersson, Cecilia Andrea Décima Oneto, Helle Turesson, Leonardo Storani, Niklas Olsson, Ann-Sofie Fält, Per Hofvander, y Sergio Enrique Feingold. 2021. “Comparative Potato Genome Editing: Agrobacterium Tumefaciens-Mediated Transformation and Protoplasts Transfection Delivery of CRISPR/Cas9 Components Directed to StPPO2 Gene”. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 145 (2): 291-305. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-02008-9>
- González, Matías Nicolás, Massa, Gabriela y Sergio Feingold. 2021. “Edición génica con el sistema CRISPR/Cas9: historia de su descubrimiento y alcances en agricultura”. *Avances en Química* 16 (1): 11-20.
- Grupo de Reflexión Rural. 2004. “Contra encuentro Iguazú”. <https://acortar.link/dfvEk>
- Haft, Daniel H., Jeremy Selengut, Emmanuel F. Mongodin, y Karen E. Nelson. 2005. “A Guild of 45 CRISPR-Associated (Cas) Protein Families and Multiple CRISPR/Cas Subtypes Exist in Prokaryotic Genomes”. *PLoS Computational Biology* 1 (6): e60. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0010060>
- He, Yubing, y Yunde Zhao. 2020. “Technological breakthroughs in generating transgene-free and genetically stable CRISPR-edited plants”. *Abiotech* 1 (1): 88-96. <http://10.1007/s42994-019-00013-x>
- Ishii, Tetsuya, y Motoko Araki. 2016. “Consumer Acceptance of Food Crops Developed by Genome Editing”. *Plant Cell Reports* 35 (7): 1507-18. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-1974-2>
- Jaganathan, Deepa, Karthikeyan Ramasamy, Gothandapani Sellamuthu, Shilpha Jayabalan, y Gayatri Venkataraman. 2018. “CRISPR for Crop Improvement: An Update Review”. *Frontiers in Plant Science* 9 (julio): 985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00985>
- Jinek, Martin, Krzysztof Chylinski, Ines Fonfara, Michael Hauer, Jennifer A. Doudna y Emmanuelle Charpentier. 2012. “A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity”. *Science* 337 (6096): 816-21. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Kaur, Sandeep, Mandeep Bedi, Simran Singh, Navdeep Kour, Sandip Singh Bhatti, Astha Bhatia, Manish Kumar y Ravinder Kumar. 2024. “Monoculture of crops: A challenge in attaining food security”. *Advances in Food Security and Sustainability* 9: 197-213. <https://doi.org/10.1016/bs.afs.2024.07.008>
- Li, Yangyang, Xiuzhe Wu, Yan Zhang, y Qiang Zhang. 2022. “CRISPR/Cas Genome Editing Improves Abiotic and Biotic Stress Tolerance of Crops”. *Frontiers in Genome Editing* 4 (septiembre): 987817. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2022.987817>
- Lobell, David B., Marshall B. Burke, Claudia Tebaldi, Michael D. Mastrandrea, Walter P. Falcon, y Rosamond L. Naylor. 2008. “Prioritizing Climate Change Adaptation

- Needs for Food Security in 2030". *Science* 319 (5863): 607-10.  
<https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- MAGyP. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2011. "Resolución 763/2011".  
<https://acortar.link/a5LSP5>
- MAGyP. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2015. "Resolución 173/2015".  
<https://acortar.link/gwrN6c>
- MAGyP. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2021. "Resolución 21/2021".  
<https://acortar.link/PhSVoB>
- Mocase-Vía Campesina. 2008. "Paro en el campo: comunicado del Mocase-Vía Campesina". <http://anred.org/spip.php?breve3325>
- Morales, César. 2001. "Las nuevas fronteras tecnológicas: promesas, desafíos y amenazas de los transgénicos". *Desarrollo Productivo* 4490, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Morichetti, Sergio, Juan José Cantero, César Núñez, Gloria E. Barboza, Luis Ariza Espinar, Andrea Amuchastegui y Jason Ferrell. 2013. "Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48 (2): 0-0. <http://ref.scielo.org/v43x6f>
- Olea, Ignacio. 2013. "Malezas resistentes a glifosato en el Noroeste Argentino: situación actual y manejo". En *Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables*, editado por Amalia Ríos, 51-58. Uruguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA.
- Otero, Gerardo. 2013. "El régimen alimentario neoliberal y su crisis: estado, agroempresas multinacionales y biotecnología". *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología* 17 (julio): 49-78. <https://doi.org/10.7440/antipoda17.2013.04>
- Pengue, Walter, y Miguel Altieri. 2005. "La soja transgénica en América Latina. Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socio ecológica". *Ecología política* 30: 87-94.
- Perelmuter, Tamara. 2020. "Gobernanza global de las semillas. Complementariedades y conflictos entre lo ambiental, la propiedad intelectual y el libre comercio". *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 28: 87-105.  
<https://doi.org/10.17141/letrasverdes.28.2020.4304>
- Perk, Enzo A., Andrés Arruebarrena Di Palma, Silvana Colman, Oriana Mariani, Ignacio Cerrudo, Juan Martín D'Ambrosio, Luciana Robuschi, et al. 2023. "CRISPR/Cas9-Mediated Phospholipase C 2 Knock-out Tomato Plants Are More Resistant to *Botrytis Cinerea*". *Planta* 257 (6): 117. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04147-7>
- Rasheed, Adnan, Rafaqat Ali Gill, Muhammad Umair Hassan, Athar Mahmood, Sameer Qari, Qamar U. Zaman, Muhammad Ilyas, Muhammad Aamer, Maria Batool, Huijie Li y Ziming Wu. 2021. "A Critical Review: Recent Advancements in the Use of CRISPR/Cas9 Technology to Enhance Crops and Alleviate Global Food Crises". *Current Issues in Molecular Biology* 43 (3): 1950-76.  
<https://doi.org/10.3390/cimb43030135>
- Ricroch, Agnès, Pauline Clairand, y Wendy Harwood. 2017. "Use of CRISPR Systems in Plant Genome Editing: Toward New Opportunities in Agriculture".

- Emerging Topics in Life Sciences* 1 (2): 169-82.  
<https://doi.org/10.1042/ETLS20170085>
- Roush, Richard. 1994. "Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: can transgenic crops be better than sprays?". *Biocontrol Science and Technology* 4 (4): 501-516. <https://doi.org/10.1080/09583159409355364>
- SAByDR. Subsecretaría de Alimentos, Bioeconomía y Desarrollo Regional. 2024. "Eventos con autorización comercial". <https://acortar.link/s1vaBk>
- Shelake, Rahul Mahadev, Ulhas Sopanrao Kadam, Ritesh Kumar, Dibyajyoti Pramanik, Anil Kumar Singh y Jae-Yean Kim. 2022. "Engineering Drought and Salinity Tolerance Traits in Crops through CRISPR-Mediated Genome Editing: Targets, Tools, Challenges, and Perspectives". *Plant Communications* 3 (6): 100417.  
<https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100417>
- Shi, Jinrui, Huirong Gao, Hongyu Wang, H. Renee Lafitte, L. Archibald, Meizhu Yang, Salim M. Hakimi, Hua Mo y Jeffrey E. Habben. 2017. "ARGOS 8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions". *Plant biotechnology journal* 15 (2): 207-216. <https://doi.org/10.1111/pbi.12603>
- Sun, Yongwei, Xin Zhang, Chuanyin Wu, Yubing He, Youzhi Ma, Han Hou, Xiuping Guo, Wenming Du, Yunde Zhao y Lanqin Xia. 2016. "Engineering herbicide-resistant rice plants through CRISPR/Cas9-mediated homologous recombination of acetolactate synthase". *Mol. Plant* 9: 628-31.
- Teubal, Miguel. 2006. "Expansión del modelo sojero en la Argentina. De la producción de alimentos a los commodities". *Realidad económica* 220: 71-96.
- Tian, Shouwei, Linjian Jiang, Xi Xia Cui, Jie Zhang, Shaogui Guo, Maoying Li, Haiying Zhang, Yi Ren, Guoyi Gong, Mei Zong, Fan Liu, Qijun Chen y Yong Xu. 2018. "Engineering herbicide-resistant watermelon variety through CRISPR/Cas9-mediated base-editing". *Plant Cell Rep.* 37: 1353-56.
- Tigchelaar, Michelle, David S. Battisti, Rosamond L. Naylor, y Deepak K. Ray. 2018. "Future Warming Increases Probability of Globally Synchronized Maize Production Shocks". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (26): 6644-49.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1718031115>
- Verzeñassi, Damián, Alejandro Vallini, Facundo Fernández, Lisandro Ferrazini, Mariana Lasagna, Anahí Sosa y Guillermo Hough. 2023. "Cancer incidence and death rates in Argentine rural towns surrounded by pesticide-treated agricultural land". *Clinical Epidemiology and Global Health* 20.  
<https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101239>
- Wahren, Pablo. 2020. "The history of technological changes in Argentine agricultural sector and the role of multinational firms, 1970-2016". *Ciclos XXVII* (5): 65-91.
- Zhu, Haocheng, Chao Li y Caixia Gao. 2020. "Applications of CRISPR-Cas in Agriculture and Plant Biotechnology". *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 21 (11): 661-77. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-00288-9>