

## **La edición génica y la agroecología en la “encrucijada”. Una pareja disfuncional y dispareja en el reino de las promesas de coexistencia**

***GENE EDITING AND AGROECOLOGY AT THE CROSSROADS. A DYSFUNCTIONAL  
AND MISMATCHED PAIR IN THE REALM OF PROMISES OF COEXISTENCE***

***EDIÇÃO GENÉTICA E AGROECOLOGIA NA ENCRUZILHADA. UM PAR  
DISFUNCIONAL E DESENCONTRADO NO DOMÍNIO DAS PROMESSAS DE  
COEXISTÊNCIA.***

Claudio Martínez Debat<sup>\*1</sup>, Emmanuel González-Ortega<sup>\*\*</sup>, Alma Piñeyro-Nelson<sup>\*\*\*</sup>

**clau@fcien.edu.uy**

### **Resumen**

Actualmente hay sectores relacionados con la agrobiotecnología que promueven a la edición génica como una técnica molecular compatible y complementaria a la agroecología, entendida como estrategia para lograr la seguridad alimentaria y la mitigación y adaptación al cambio climático. La edición génica es capaz de insertar, eliminar o modificar nucleótidos de ADN o ARN en regiones genéticas específicas, a la vez que presenta efectos no deseados. Los promotores de la edición génica argumentan que las mutaciones introducidas no suponen ningún riesgo para el ambiente y/o la salud humana, por lo que estos productos deberían estar exentos de regulación, evaluación de riesgos, trazabilidad y etiquetado, lo que restringiría la libertad de elección de agricultores y consumidores.

Los supuestos sobre la naturaleza de las mutaciones introducidas, ignoran la evidencia sobre modificaciones en genes no blanco, rearrreglos o rupturas cromosómicas y otras macromutaciones. Si bien se ha planteado que este tipo de agrobiotecnología es compatible e incluso complementaria de principios y prácticas de la agroecología, en este texto argumentamos que no comparten paradigma, ni objetivos conjuntos. Además de problematizar sobre la supuesta compatibilidad entre la agrobiotecnología y la agroecología propuesta por algunos, esperamos que este trabajo pueda contribuir a propiciar nuevos abordajes y

---

<sup>1\*</sup> Docente Libre, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

<sup>\*\*</sup> Investigador por México. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) México. Universidad Autónoma Metropolitana. México

<sup>\*\*\*</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.

prácticas colaborativas, transdisciplinarias y multiagentes que ayuden a resolver muchas de las cuestiones más básicas y acuciantes del momento, pero también a proyectar una ciencia basada en el bienestar, y a construir un mundo donde prosperen las buenas relaciones entre los seres humanos y sus entornos sociales, culturales y naturales.

**Palabras clave:** Agroecología, Coexistencia, Organismo modificado genéticamente, Edición génica, CRISPR-Cas

### **Abstract**

*Currently, there are sectors related to agrobiotechnology that promote gene editing as a compatible and complementary technique to agroecology, and as a strategy to achieve food security and mitigate and adapt to climate change. Gene editing is capable of inserting, eliminating or modifying DNA or RNA nucleotides in specific genetic regions, while presenting undesirable effects. Promoters of gene editing argue that the mutations introduced do not pose any risk to the environment and/or human health, so these products should be exempt from regulation, risk assessment, traceability and labeling, which would restrict the freedom of choice of farmers and consumers. Assumptions regarding the introduced mutations ignore current evidence about unintended modifications on non-target genes, rearrangements or chromosomal ruptures and other macromutations.. While it has been put forth that this type of agrobiotechnology is compatible and complementary with the practices and principles of agroecology, we argue here that they do not share the same paradigm or objectives. In addition to problematizing the supposed compatibility between agrobiotechnology and agroecology, we hope that this work can contribute to elaborate a space where new practices, transdisciplinary, multi-agent, collaborative and co-evolutionary technologies emerge, which help to solve many of the most basic and pressing issues of the moment, but also to project a science based on wellbeing, and to build a world where good relations between human beings and their social, cultural and natural environments thrive.*

**Keywords:** Agroecology, Coexistence, Genetically modified organism, Gene editing, CRISPR-Cas

### **Resumo**

*Atualmente, existem setores relacionados com a agrobiotecnologia que promovem a edição de genes como uma técnica compatível e complementar à agroecologia, e como uma estratégia para alcançar a segurança alimentar e mitigar e adaptar-se às alterações climáticas. A edição de genes é capaz de inserir, eliminar ou modificar nucleotídeos de DNA ou RNA em regiões genéticas específicas, apresentando efeitos indesejáveis. Os promotores da edição de genes argumentam que as mutações introduzidas não representam qualquer risco para o ambiente e/ou para a saúde humana, pelo que estes produtos devem ser isentos de regulamentação, avaliação de riscos, rastreabilidade e rotulagem, o que restringiria a liberdade de escolha dos agricultores e dos consumidores. Os pressupostos relativos às mutações introduzidas*

*ignoram os dados atuais sobre modificações não intencionais em genes não visados, rearranjos ou rupturas cromossômicas e outras macromutações. Embora se tenha afirmado que este tipo de agrobiotecnologia é compatível e complementar com as práticas e princípios da agroecologia, argumentamos aqui que não partilham o mesmo paradigma ou objetivos. Para além de problematizar a suposta compatibilidade entre agrobiotecnologia e agroecologia, esperamos que este trabalho possa contribuir para a elaboração de um espaço onde surjam novas práticas, tecnologias transdisciplinares, multi-agentes, colaborativas e co-evolutivas, que ajudem a resolver muitas das questões mais básicas e prementes do momento, mas também a projetar uma ciência baseada no bem-estar, e a construir um mundo onde prosperem boas relações entre os seres humanos e os seus ambientes sociais, culturais e naturais.*

**Palavras-chave:** *Agroecologia, Coexistência, Organismo geneticamente modificado, Edição genética, CRISPR-Cas*

### **En un contexto de emergencia climática,**

de pérdida acelerada de biodiversidad con tasas de extinción de especies nunca antes registradas (Ceballos G, 2020), crisis económica y sanitaria, los sistemas agroalimentarios convencionales se enfrentan actualmente a una presión sin precedentes en todo el mundo (IPES-Food, 2020; Shew et al., 2020). Para satisfacer la demanda mundial de alimentos, la FAO estima que -en comparación con 2012- la producción agrícola deberá aumentar entre un 40 % y un 50 % (FAO, 2018). Además, se prevé que casi 10.000 millones de personas necesitarán alimentos, ambos hitos proyectados para el 2050 (Higgins, 2019). Existe además un amplio consenso entre los científicos en que el sistema alimentario actual es insostenible (Willet et al., 2019; FAO, 2019).

En este contexto, varias biotecnologías de cultivos vegetales han prometido brindar soluciones para, entre otras: mejorar el rendimiento de los cultivos, la resistencia a plagas y malas hierbas, producir alimentos más nutritivos y accesibles, así como reducir del uso de pesticidas, disminuir los costos de producción, lograr una adaptación al calentamiento global, mejorar la eficiencia fotosintética, producir nuevos materiales, lograr la adaptación al estrés biótico y mejorar la salud humana (Ahmar et al., 2021; Barnum et al., 2021; de Vries et al., 2021). Sin embargo, muchas de estas propuestas tecnocientíficas están desvinculadas de los alcances reales de los cultivos biotecnológicos, ya que sólo algunas de las promesas anteriores se han alcanzado parcialmente después de treinta años de la presencia comercial de los primeros desarrollos de la agrobiotecnología en la forma de cultivos transgénicos, mientras que la evaluación de riesgos, impactos y externalidades no consideradas para el ambiente, la biodiversidad, los cultivos y la salud humana han sido, en muchos casos, pasadas por alto, con altos costos ambientales y humanos (Bauer-Panskus et al., 2020;

González-Ortega & Fuentes Ponce, 2022; González-Ortega et al., 2017; Klümper & Qaim, 2014; Napier, 2017; Ureta et al., 2023).

Un grupo de biotecnologías recientes, basadas en técnicas moleculares que implican distintas interacciones ADN-ARN-proteína, y que pueden ser dirigidas a intervenir áreas específicas del genoma (ADN) o epigenoma (ADN/ARN), son capaces de insertar, eliminar o modificar uno o más nucleótidos de ADN o ARN en determinadas regiones del ácido nucleico en cuestión (Metje-Sprink et al., 2020; Mohanta et al., 2017; Sprink et al., 2016) produciendo, en definitiva, mutaciones del material genético (Cong et al., 2013; Kawall et al., 2020). Esta rama de la ingeniería genética ha sido denominada como edición genómica (ADN) o génica (ADN y/o ARN) (Jeong et al., 2023).

En la actualidad, la herramienta de edición genómica más destacada es la denominada CRISPR-Cas9 (por *clustered regularly interspaced short palindromic repeats/ Cas* por *CRISPR associated nuclease protein*, de *Streptococcus pyogenes*). CRISPR-Cas9 se identificó originalmente como un sistema adaptativo de inmunidad fágica en arqueas y bacterias, y se basa en el reconocimiento y la generación de un híbrido de ADN-ARN en secuencias específicas del ADN, lo que permite al sistema escindir y editar el ADN diana (Barrangou et al., 2007). Adaptado como herramienta de ingeniería genética, CRISPR-CasX está programado para modificar sitios específicos de un genoma o epigenoma: ADN, ARN o alterar el paisaje epigenético de la cromatina, con el fin de introducir o alterar un rasgo específico de un organismo (Zhu & Gao, 2020). Existen muchas variantes de la enzima nucleasa Cas, que permiten, por ejemplo, la edición epigenómica (ARN) y que suelen denominarse como Cas"X" (Metje-Sprink et al., 2020; Mohanta et al., 2017; Sprink et al., 2016). Se afirma que la edición génica mediante CRISPR-CasX es una técnica molecular fácil y flexible debido a su componente de orientación, un ARN guía (ARNg) que dirige la endonucleasa CasX a la región de ADN o ARN deseada (Doudna & Charpentier, 2014), abriendo así regiones del genoma previamente inaccesibles mediante las técnicas moleculares clásicas de ingeniería genética. Dada la modularidad y las posibilidades de multiplexación de los sistemas CRISPR-CasX (Knott & Doudna, 2018), es incluso posible modificar múltiples sitios del genoma, que, en consecuencia, regulan la expresión de genes y/o moléculas a la vez (Doudna & Charpentier, 2014) con el fin de modificar el fenotipo. Una descripción detallada del sistema de edición del genoma CRISPR-CasX se revisa en otra parte (Jiang & Doudna, 2017; Langner et al., 2018; Razzaq et al., 2019).

Así, CRISPR-CasX se considera como unas de las tecnologías más prometedoras para el mejoramiento a través de la manipulación molecular de plantas y animales, que podría contribuir en varios aspectos de la agricultura y la producción de alimentos mediante la introducción *in vivo* de cambios precisos y esperados en los genomas o epigenomas de un organismo diana. Todas estas características han sido presentadas por los promotores de la biotecnología, como parte esencial de un concepto de "intensificación sostenible" en la agricultura (Botella, 2019; Clément & Ajena, 2021; Knott & Doudna, 2018; Razzaq et al., 2019; Schenke & Cai, 2020). Dicha intensificación sostenible se sitúa dentro del paradigma agronómico vinculado con la Revolución Verde, donde se amplifica la utilización de insumos -agroquímicos, maquinaria, tecnología y biotecnología- en

aras de volver más eficiente la producción mediante monocultivo y aumentar su rendimiento, sin considerar los costos ambientales y sociales. En este contexto, dada la potencial ganancia económica que se anticipa con la comercialización de organismos editados genéticamente, desde 2013; año de su aparición pública en gran escala como herramienta de modificación genética de eucariontes y procariontes; se ha registrado un aumento significativo del número de estudios sobre aplicaciones de edición génica en todos los reinos de los seres vivos (Modrzejewski et al., 2018).

Esta intensa investigación (pública y corporativa) sobre las posibles aplicaciones de la edición génica en todos los reinos de los seres vivos, continúa con la misma visión reduccionista que se empleó en la ingeniería genética tradicional, es decir, la combinación entre un reduccionismo mecanicista (donde se asume que el todo es la suma simple de sus partes y que por tanto se pueden modificar partes específicas sin alterar al conjunto) junto con un reduccionismo genocentrista (que asume que los seres vivos son la suma de sus genes; Martínez, 2022), lo que desprecia las interacciones complejas entre lo genético y lo epigenético (incluido el efecto del ambiente). Esto es muy notorio en los cultivos vegetales en los que estas técnicas de edición génica han sido denominadas como “Nuevas Tecnologías de Fitomejoramiento” o *New Plant-Breeding Technologies*, en inglés (Kawall et al., 2020).

Los rasgos editados propuestos (resistencia a herbicidas, control de plagas, aumento de rendimiento, mejoras nutricionales, entre otras) están orientados al mercado, siendo los más comunes los relacionados con rasgos que facilitan el manejo agropecuario a gran escala de plantas y animales, seguidos por los de interés para el consumidor o cambios en la composición bioquímica. En general, la biotecnología ha sido desarrollada por ingenieros genéticos y aplicada por biotecnólogos, biólogos moleculares, agrónomos y otros técnicos, siguiendo el paradigma positivista de la Revolución Verde. En este contexto, la edición génica es actualmente uno de los principales componentes de la llamada “tecnología de precisión” en agricultura, que se complementa con la “agricultura digital” (también denominada “agricultura ambientalmente inteligente”) (Montenegro de Wit, 2022). Estos conceptos se introducen en los debates actuales sobre la sostenibilidad de la agricultura, sin considerar análisis cuidadosos sobre las implicaciones sociales, económicas y ecológicas de estas propuestas tecnológicas. Tampoco realizan evaluaciones detalladas sobre la situación de los recursos genéticos en el contexto de la crisis global por pérdida acelerada de biodiversidad, pero sí que preservan y reproducen los desequilibrios de poder, beneficiando a los defensores de estas tecnologías: las grandes corporaciones biotecnológicas de semillas y agroquímicos, que ahora se están fusionando con empresas informáticas y de datos (Clapp & Ruder, 2020).

Además, la edición del genoma se considera actualmente entre varios enfoques para privilegiar las innovaciones tecnológicas y orientadas a la productividad con el fin de mejorar el uso eficiente de los recursos, reduciendo al mismo tiempo los impactos ambientales y sanitarios negativos de los sistemas alimentarios (FAO, 2019). También se ha promovido como la última herramienta

para los programas de fitomejoramiento sin externalidades en los cultivos, en la biodiversidad y sin riesgos para la salud humana (Agapito-Tenfen, S, et al., 2018). Bajo estos supuestos, la modificación genética basada en las CRISPR-CasX se ha asociado con alternativas de redomesticación de cultivos, propiedades nutricionales alteradas (mejoradas), como estrategia para políticas de adaptación al cambio climático a través de la introducción de resistencia a sequías o plagas y aumento del rendimiento (Clapp & Ruder, 2020), todo ello en el mismo marco malthusiano que subraya la necesidad de una producción agrícola masiva para alimentar al mundo (Sullivan, 2023). Todas estas propuestas se enmarcan en las crisis actuales en las que están inmersos los sistemas alimentarios, con sistemas político-económicos que promueven la sobreexplotación de los recursos de la biodiversidad (ambiente, territorio, cultura, semillas, mano de obra, entre otros) hacia la satisfacción de los mercados internacionales. Adicionalmente, los acuerdos de libre comercio entre países se solidifican con regulaciones domésticas (i.e. leyes de semillas y biodiversidad) dirigidas a uniformizar y estandarizar las variedades de semillas, promoviendo los derechos de los fitomejoradores por encima de los agricultores y campesinos, patentando los recursos biológicos (GRAIN, 2021; Montenegro de Wit, 2022).

En este contexto, aunque el principio de la modificación génica mediante CRISPR-CasX es consistente con la definición de organismo vivo modificado (OVM) según el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (CBD, 2000), se ha argumentado de manera positiva que, la edición génica mimetiza y, por tanto es equivalente a las mutaciones que ocurren de manera natural en todos los seres vivos, pero al ser una edición dirigida, puede reducir el tiempo necesario para producir una nueva variedad o raza portadora de rasgos deseados y sin recurrir a la transgénesis (He & Zhao, 2020), lo que evitaría el eventual rechazo público de la modificación genética, en contraste con la primera generación de organismos modificados genéticamente (OMGs, transgénicos) (Araki & Ishii, 2015). Así, bajo el supuesto de “naturalidad” de las mutaciones inducidas con CRISPR-CasX, hay un intenso cabildeo para que estos organismos no entren dentro de la definición de OVM y por tanto, no sean ni evaluados, ni regulados (Wolt, 2019).

Aunque la utilización de la edición génica ha suscitado debates éticos entorno a algunas de sus aplicaciones potenciales, en particular lo referente a su potencial para modificar genéticamente a humanos, así como a la posibilidad de dar paso a procesos dirigidos de extinción de especies o poblaciones salvajes de organismos “indeseables”; mosquitos vectores de enfermedades; plantas invasoras, etc; a través de los llamados "impulsores génicos", estos avances están, por el momento, predominantemente en la etapa de prueba de concepto.

Adicionalmente, el reduccionismo genocentrista y mecanicista de las diferentes agro biotecnologías enfocadas en la modificación directa del material genético de los cultivos como mecanismo para llevar a cabo procesos de fitomejoramiento, han sido enfocados en optimizar el modelo agrícola de la Revolución Verde, lo que contrasta con la visión multiescala, de sistemas complejos y de sustentabilidad de los agroecosistemas alimentarios que propone la agroecología como ciencia (Gliessman, 2018). Además, la agroecología ha evolucionado en una práctica con una visión transdisciplinaria y contextualizada

de manejo de los agroecosistemas, que aspira a eliminar las potenciales asimetrías epistémicas entre especialistas académicos, agricultores y campesinos, con el fin de co-producir conocimientos. En este proceso, la agroecología ha devenido en un movimiento social, donde se cuestionan las relaciones asimétricas de poder entre los sistemas de producción, las clases sociales y los estados (Gliessman, 2018). En sus fundamentos, como ciencia, como práctica y como movimiento social, la agroecología debiera realizarse en relación con las comunidades rurales, indígenas y los agricultores trabajadores, convirtiéndose en una forma de resistencia a proyectos como los del Banco Mundial para la mejora agrícola, mediante prácticas transdisciplinarias, y descentrando a la ciencia como ámbito exclusivo de producción de conocimiento (Gliessman, 2014; Montenegro de Wit, 2022). Además, como argumentaron Altieri y Toledo, "la agroecología aporta los principios para que las comunidades rurales alcancen la soberanía alimentaria, pero también la soberanía energética y tecnológica en un contexto de resiliencia" (Altieri, 2011). Por tanto, dadas sus aproximaciones y aspiraciones, la agroecología tiene una larga y tensa relación con la biotecnología moderna (Montenegro de Wit, 2022), en particular en cuanto a la instrumentalización de ésta última como mecanismo de despojo y concentración de poder.

Hasta hace bien poco, las instituciones académicas y los actores políticos que han dirigido la política agrícola en todo el mundo no han reconocido a la agroecología, ni como un ámbito de investigación científica legítimo ni como una práctica y movimiento social (Wezel et al., 2009, Giraldo & Rosset, 2017). En los últimos años, esta situación ha cambiado relativamente: la FAO y algunas universidades se han involucrado en el tema, aunque, al final, los escenarios no han cambiado sustancial y proporcionalmente a la situación de crisis sistémica que vivimos (Giraldo & Rosset, 2019; Montenegro de Wit, 2020, 2022; Sullivan, 2023).

A pesar de las visiones contrastantes entre los sistemas agropecuarios basados en el monocultivo, donde los enfoques agrobiotecnológicos exacerban en los hechos la pérdida de biodiversidad (mediante el uso de organismos genéticamente modificados (OGMs) tolerantes a herbicidas de amplio espectro que contribuyen a reducir la diversidad vegetal y animal donde son utilizados), y los sistemas agroecológicos que activamente estimulan la diversidad biológica y cultural, algunos autores han propuesto que la edición génica y la agroecología pueden formar parte de un conjunto de innovaciones sostenibles, complementarias, diversas e inclusivas para la agricultura y la alimentación (Montenegro de Wit, 2022). Uno de los argumentos que, según los promotores de las nuevas biotecnologías, permiten sostener que no hay incompatibilidad entre el uso de cultivos editados genéticamente y la agroecología, es el principio de naturalidad que se asume que cumplen los OGMs generados por CRISPR-CasX y tecnologías similares. Según ellos, estos productos son sustancialmente equivalentes a las plantas naturales, ya que las modificaciones genéticas producidas debido a la edición génica imitarían los procesos que ocurren de forma natural (mutaciones del ADN) y sus productos serían indistinguibles de aquellos originados por mutaciones naturales que pueden surgir de forma espontánea o a través de la cría convencional (Wolt, 2019). Se argumenta que la tecnología de edición génica "cambia sólo unos pocos nucleótidos en el ADN de la planta", y que

"las plantas resultantes no pueden ser estigmatizadas como transgénicas" (Agapito-Tenfen et al., 2018). Estas posturas asumen además que, los riesgos derivados de las aplicaciones emergentes de modificación genética serán similares, iguales o menos significativos que los riesgos generados por los productos convencionales (naturales) (Agapito-Tenfen et al., 2018). Sin embargo, en las solicitudes de patentes, los mismos actores argumentan que sus desarrollos son tecnologías o productos innovadores (Hilbeck et al., 2015).

El argumento de "innovación" utilizado en las solicitudes de patentes, es de hecho consistente con la noción de que los procesos y productos de las técnicas de edición génica son sustancialmente diferentes de los de la primera generación de organismos modificados genéticamente (por ejemplo los llamados "transgénicos"). Estas aplicaciones de la ingeniería genética amplían el espectro de nuevas combinaciones genéticas, por lo que deben ampliarse los protocolos de evaluación y gestión de riesgos, adaptando también a los métodos analíticos emergentes para evaluar los posibles resultados particulares de la modificación genética introducida mediante edición (Agapito-Tenfen et al., 2018). Un creciente número de publicaciones revelan cambios genéticos no intencionales y no deseados, diferentes de los que resultan de las mutaciones naturales o de la reproducción convencional, ya que la edición de genes sobrepasa los límites de la organización natural (convencional) del genoma (Aviva et al., 2023; Modrzejewski et al., 2019). Además, los cambios pueden provocar riesgos no previstos con antelación, ya que las biotecnologías de edición génica permiten modificar los genomas de manera exacerbada, y estas aplicaciones pueden llegar a superar los mecanismos celulares responsables de la reparación del ADN y el mantenimiento de la homeostasis celular (Chehelgerdi et al., 2024). En este contexto, y dado que la edición de genes es una biotecnología específica dirigida, resulta engañoso plantear que la edición del genoma mejora o aumenta la variación genética o la diversidad de las especies (NAS, 2017). Además, considerando que estas biotecnologías tienen un potencial de alteración de los ecosistemas, es esencial tener en cuenta que, los efectos y los riesgos no se escalan linealmente en los protocolos de evaluación de riesgos (Heinemann et al., 2021). El uso de la edición génica en medicina experimental, y sobre todo los resultados recientes en este campo, podrían ser una referencia pertinente para el análisis de riesgo por el uso de CRISPR-CasX en los cultivos alimentarios. En un principio, las nucleasas de diseño se concibieron como herramientas prometedoras para las terapias génicas (sustitución genética terapéutica de trastornos monogénicos con el fin de reparar o compensar un gen defectuoso; Amendola et al., 2022), pero actualmente se ha extendido el uso de la edición de genes nucleares y mitocondriales, así como el ARN. En este contexto de uso se han puesto en evidencia sus limitaciones y efectos no deseados, como se muestra en publicaciones recientes: grandes deleciones, reordenamientos, así como cromotripsis en muchos modelos experimentales, tales como cigotos de ratón, embriones humanos, células madre embrionarias humanas y de ratón y células hematopoyéticas humanas (Amendola et al., 2022). Los efectos inesperados producidos por la edición génica en las células son tan drásticos que ahora se denominan CRISPRtripsis (Amendola et al., 2022).

La edición génica se presenta como una herramienta tecno científica para tratar de resolver los acuciantes problemas sanitarios, alimentarios e incluso climáticos de la humanidad, y apoya un supuesto paradigma de "intensificación sostenible", avanzando en una "Segunda Revolución Verde", para la que la intensificación se considera vital no sólo para la producción de alimentos, sino para la modernización y el desarrollo económico, pero bajo la cual la naturaleza sigue separada de la agricultura y las prácticas agrícolas (Giraldo & Rosset, 2019, Montenegro de Wit, 2020, 2021). Se subsume discursivamente a la edición génica en una intensificación sostenible al equiparar, por ejemplo, la utilización de OGMs que produzcan su propio insecticida, con un proceso que aumenta la sostenibilidad de los sistemas agrícolas mediante la reducción del uso de pesticidas químicos, siendo uno de los varios enfoques que privilegian las innovaciones tecnológicas y orientadas a la productividad, con el fin de mejorar la eficiencia de los recursos al tiempo que se reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud de los sistemas alimentarios actuales (HLPE, 2019; Montenegro de Wit, 2020).

A partir de la premisa de la necesidad de aumentar el rendimiento agrícola por unidad de tierra (Sullivan 2023, Pretty et al., 2018), la intensificación sostenible no cuestiona ni cambia las economías políticas en las que están inmersos los sistemas alimentarios extractivos reales. En contraste, los enfoques agroecológicos contrahegemónicos favorecen "visiones territorialmente específicas, teniendo en cuenta las condiciones ambientales, sanitarias, sociales y culturales de un lugar determinado" (HLPE 2019). Estas aproximaciones, "otorgan un lugar central a las dimensiones sociales, culturales y políticas de las transiciones hacia sistemas alimentarios sostenibles, a las dinámicas de poder y a las cuestiones de gobernanza." (HLPE 2019). La falsa promesa de la democratización de la edición génica (a menudo presentada, desde el punto de vista tecnocientífico, como una biotecnología barata/asequible, fácil de usar/accesible, "libre" de regulación y propiedad intelectual que permite que cualquiera pueda utilizarla, bajo la mentalidad de "hágalo usted mismo" ("Do it yourself" o DIY en inglés; Keulartz y van den Belt, 2016). Esta promesa choca con la realidad de que, de hecho, el capitalismo agrario suele impedir que los usuarios tengan conocimiento de cómo se diseñan, fabrican e implementan sus tecnologías, por lo que la inaccesibilidad o la opacidad de los datos se convierte en una poderosa forma de impedir ciertas formas de autoorganización social (Harvey, 2003; Giraldo & Rosset, 2017). La falta de acceso epistémico auténtico se instancia cuando vemos la importante distinción entre: acceso a la información y legibilidad/acceso al significado, la falta de acceso al material y al conocimiento de utilidad práctica, y el acceso desigual a la infraestructura/recursos. En ausencia de regulación y gobernanza socialmente acordadas, dicha democratización es, en realidad, una socialización del riesgo (Montenegro de Wit, 2020). Esto es precisamente lo que la agroecología plantea: epistemes complementarios y metodologías horizontales, y en su marco, la tecnología sólo es prometedora socialmente cuando se inserta en una ontología de la renovación (Montenegro de Wit, 2020). Las prácticas agroecológicas contextualizadas, tales como el reciclaje, la promoción de los servicios ecosistémicos y las prácticas intensivas en conocimiento, frenan la dependencia de insumos ajenos al territorio, desafiando fuertemente a la (bio)tecnología industrial (Altieri 1995; Kremen y Miles 2012, Montenegro de Wit, 2022).

La aceptación o adopción de la edición génica como complemento a la agroecología auspiciaría su comercialización sin los análisis de riesgo o las consideraciones sobre impactos socioeconómicos potenciales pertinentes, lo cual apuntalaría al capital agrícola, replicando el modelo orientado a tener los menores costos de producción y mayor productividad, pero también puede ser una excelente forma de controlar un territorio que podría ser fuente de cuantiosas rentas (Giraldo & Rosset 2017). Considerando que el flujo de valor en la biotecnología vegetal es extractivo, esto podría lograrse dentro de un marco de "sustitución de insumos", lo que profundiza la dependencia de proveedores externos de insumos y se corre el riesgo de aumentar el endeudamiento, amenazando con la preservación de la dependencia aún más de las personas a la tecnología y preservar la explotación (Giraldo & Rosset 2017, Rosset y Altieri 1997; Khadse et al. 2017; Montenegro de Wit, 2020). Un ejemplo de esto es la tendencia creciente a sustituir los insumos químicos por biotecnológicos (Joga et al., 2016).

Como afirma Montenegro de Wit (2022), la agroecología puede ser (como se le atribuye a la edición génica) de naturaleza ricamente experimental e impulsada por hipótesis, basada en el lugar/territorio, culturalmente fundamentada e inmersa en la vida cotidiana. En lugar de aplicar "soluciones/innovaciones tecnológicas" o incluso "*techno-fixes*" para los errores o efectos no deseados provocado por la propia tecnología (Johnston 2018, Sullivan 2023), gran parte de la evidencia agroecológica se produce a través de métodos y teorías que intencionadamente dificultan la división entre legos y expertos, incluyendo la historia oral, la ciencia ciudadana y comunitaria, la "investigación-acción participativa" y/o las formas de conocimiento indígenas y tradicionales. En lugar de buscar el dominio sobre la naturaleza, estos métodos buscan intencionadamente aprender con y desde la incertidumbre probatoria de la naturaleza, y sus practicantes son agentes activos en la co creación del conocimiento medicinal, alimentario y territorial a través de relaciones de cuidado, trabajo, metabolismo y coevolución (Montenegro de Wit, 2022). Estos principios incluyen, entre otros, la promoción de la biodiversidad, la sinergia entre la producción de alimentos y la función de los ecosistemas, la creación conjunta de conocimientos, la protección de los medios de vida rurales, el apoyo a las tradiciones culturales y alimentarias e incluso la reducción de los insumos (HLPE 2019). La implementación y desarrollo de la biotecnología moderna en la investigación agrícola ha tenido como efecto el subdesarrollar la investigación, la ciencia y la innovación agroecológicas desde la década de 1980 (Buttel 2005; Warner et al., 2011), mientras tanto concentra sistémicamente el poder corporativo, gubernamental y epistémico (IPESFood 2016; Gliessman 2020), exacerbando en lugar de mitigar las desigualdades sociales existentes (Stone y Glover 2017, Montenegro de Wit, 2022).

De hecho, muchos estudiosos de la agroecología y movimientos sociales sostienen que las biotecnologías modernas perturban, marginan y/o entran en conflicto con los enfoques agroecológicos (Vanloqueren y Baret 2009; Holt-Giménez y Altieri 2013; Levidow et al., 2014), ya que varios principios agroecológicos clave son incumplidos o violados activamente por los sistemas sociotécnicos de los que emerge y que refuerza la biotecnología. La agroecología no

se reduce al manejo de plagas o al policultivo, sino que aborda la naturaleza impredecible de los sistemas biológicos complejos, desde su papel como ciencia sistémica, práctica y movimiento social (Isaac et al., 2018; Méndez et al., 2013) y, tal como la conocemos, no se basa en recetas o protocolos, sino en principios aplicados de manera diferente a cada realidad (Giraldo y Rosset 2017). Haciendo hincapié en la heterogeneidad, la resiliencia, la inter/transdisciplinariedad académica y las interacciones ecológicas entre los agricultores y las zonas no cultivadas (Fischer et al., 2008), la agroecología emerge en sí misma como una barrera a la mercantilización y capitalización de la agricultura por lo que, a pesar de muchos intentos, es relativamente invulnerable a los innegables intentos de cooptación (Giraldo y Rosset, 2017).

Esperamos que este trabajo haya contribuido a la reflexión, que permita dar paso a espacios donde puedan surgir nuevas tecnologías transdisciplinares, multiagentes, colaborativas y coevolutivas que ayuden a resolver muchas de las cuestiones más básicas y acuciantes del momento, pero también a proyectar una ciencia basada en el bienestar, y a construir un mundo donde prosperen las buenas relaciones entre los seres humanos y sus entornos sociales, culturales y naturales, y donde quepan todos los mundos.

#### Agradecimientos

Parte de las ideas para este artículo surgieron del Webinar: Abordaje multidisciplinario de la edición génica: Miradas desde la Ciencia, Tecnología y la Sociedad, coordinado por los autores y llevado a cabo en línea desde la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco el 29 de junio, 6 y 13 de julio de 2022. A.P-N. y E.G-O. cuentan con financiamiento de proyectos CONAHCYT-F003 322520, 322731 y LNC-2023-76.

#### Referencias

- Ahmar, S., Mahmood, T., Fiaz, S., Mora-Poblete, F., Shafique, M. S., Chattha, M. S., & Jung, K. H. (2021). Advantage of Nanotechnology-Based Genome Editing System and Its Application in Crop Improvement. *Front Plant Sci*, 12, 663849. doi:10.3389/fpls.2021.663849
- Agapito-Tenfen, S. Z., Okoli, A. S., Bernstein, M. J., Wikmark, O. G., & Myhr, A. I. (2018). Revisiting Risk Governance of GM Plants: The Need to Consider New and Emerging Gene-Editing Techniques. *Front Plant Sci*, 9, 1874. doi:10.3389/fpls.2018.01874
- Altieri, M.A. (1995). *Agroecology: The science of sustainable agriculture*, 2nd ed. London: Westview Press.
- Altieri, M.A. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612. doi:10.1080/03066150.2011.582947

- Amendola, M., Brusson, M., & Miccio, A. (2022). CRISPRthripsis: The Risk of CRISPR/Cas9-induced Chromothripsis in Gene Therapy. *Stem Cells Translational Medicine*, 11(10), 1003-1009. doi:10.1093/stcltm/szac064
- Aviva, S., Fabrizio, M., Or, G., Cathy, M.-B., Shdema, F.-H., Tal, D.-M., . . . Avraham, A. L. (2023). A CRISPR-induced DNA break can trigger crossover, chromosomal loss and chromothripsis-like rearrangements. *bioRxiv*. doi:10.1101/2023.05.22.541757
- Araki, M., & Ishii, T. (2015). Towards social acceptance of plant breeding by genome editing. *Trends Plant Sci*, 20(3), 145-149. doi:10.1016/j.tplants.2015.01.010
- Barnum, C. R., Endelman, B. J., & Shih, P. M. (2021). Utilizing Plant Synthetic Biology to Improve Human Health and Wellness. *Front Plant Sci*, 12, 691462. doi:10.3389/fpls.2021.691462
- Barrangou, R., Fremaux, C., Deveau, H., Richards, M., Boyaval, P., Moineau, S., . . . Horvath, P. (2007). CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science*, 315(5819), 1709-1712. doi:10.1126/science.1138140
- Bauer-Panskus, A., Miyazaki, J., Kawall, K., & Then, C. (2020). Risk assessment of genetically engineered plants that can persist and propagate in the environment. *Environmental Sciences Europe*, 32. doi:10.1186/s12302-020-00301-0
- Benbrook, C. M. (2012). Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. -- the first sixteen years. *Environ Sci Eur*, 24(24). doi:10.1186/2190-4715-24-24
- Botella, J. (2019). Now for the hard ones: is there a limit on CRISPR genome editing in crops? *Journal of Experimental Botany*, 70(3), 734-737. doi:10.1093/jxb/erz007
- Ceballos G, Ehrlich PR, Raven PH. Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2020 Jun 16;117(24):13596-13602. doi: 10.1073/pnas.1922686117. Epub 2020 Jun 1. PMID: 32482862; PMCID: PMC7306750
- Chehelgerdi, M., Chehelgerdi, M., Khorramian-Ghahfarokhi, M., Shafieizadeh, M., Mahmoudi, E., Eskandari, F., Rashidi, M., Arshi, A., & Mokhtari-Farsani, A. (2024). Comprehensive review of CRISPR-based gene editing: mechanisms, challenges, and applications in cancer therapy. *Molecular cancer*, 23(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s12943-023-01925-5>
- Clapp, J., & Ruder, S.-L. (2020). Precision Technologies for Agriculture: Digital Farming, Gene-Edited Crops, and the Politics of Sustainability. *Global Environmental Politics*, 20(3), 49-69. doi:10.1162/glep\_a\_00566
- Clément, C., & Ajena, F. (2021). Paths of least resilience: advancing a methodology to assess the sustainability of food system innovations - the case of CRISPR Agroecology and Sustainable Food Systems, 45(5), 637-653. doi:10.1080/21683565.2021.1890307

- Cong, L., Ran, F. A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., . . . Zhang, F. (2013). Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, 339(6121), 819-823. doi:10.1126/science.1231143
- de Vries, L., Guevara-Rozo, S., Cho, M., Liu, L. Y., Rennekar, S., & Mansfield, S. D. (2021). Tailoring renewable materials via plant biotechnology. *Biotechnol Biofuels*, 14(1), 167. doi:10.1186/s13068-021-02010-z
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). Genome editing. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096. doi:10.1126/science.1258096
- FAO. (2016) Summary Report of the FAO International Symposium “The Role of Agricultural Biotechnologies in Sustainable Food Systems and Nutrition. Roma: FAO.
- FAO. (2018). The Future of Food and Agriculture. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>
- FAO. (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. . Recuperado de Rome, Italy.: <https://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>
- Fischer, J., B. Brosi, G.C. Daily, P.R. Ehrlich, R. Goldman, J. Goldstein, D.B. Lindenmayer, et al., (2008). Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (7): 380–385. <https://doi.org/10.1890/070019>.
- Giraldo F. O. & Rosset P. M. (2017). Agroecology as a territory in dispute: between institutionality and social movements, *The Journal of Peasant Studies*, DOI: 10.1080/03066150.2017.1353496
- Gliessman, G (2014). *The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press. (3rd Edition ed.). ISBN. 9780429153709.
- Gliessman, G. (2018). Defining agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 42 (6): 599–600. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329>
- Gliessman, S.R. (2020). Transforming food and agriculture systems with agroecology. *Agriculture and Human Values* 37 (3): 547–548. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10058-0>.
- González-Ortega, E., Fuentes Ponce, M. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38(54197). doi:10.20937/rica.54197
- González-Ortega, E., Piñeyro-Nelson, A., Gómez-Hernández, E., Monterrubio-Vázquez, E., Arleo, M., Dávila-Velderrain, J., Martínez-Debat, C., Álvarez-Buylla, E. R. (2017). Pervasive presence of transgenes and glyphosate in maize-derived food in Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(9-10), 1146-1161. doi:10.1080/21683565.2017.1372841

- GRAIN. (2021). Trade Agreements privitising biodiversity. <https://grain.org/en/article/6701-trade-agreements-privatising-biodiversity>.
- Harvey, D. (2003). The “new” imperialism: accumulation by dispossession. *Socialist Register*, 40: 63–87.
- He, Y., & Zhao, Y. (2020). Technological breakthroughs in generating transgene-free and genetically stable CRISPR-edited plants. *aBIOTECH*, 1(1), 88-96. doi:10.1007/s42994-019-00013-x
- Heinemann, J. A., Paull, D. J., Walker, S., & Kurenbach, B. (2021). Differentiated impacts of human interventions on nature : Scaling the conversation on regulation of gene technologies . *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9(1). doi:10.1525/elementa.2021.00086
- Hilbeck, A., Binimelis, R., Defarge, N., Steinbrecher, R., Székács, A., Wickson, F., Wynne, B. (2015). No scientific consensus on GMO safety. *Environ Sci. Eur.* doi: 10.1186/s12302-014-0034-1
- Hilbeck, A., & Tisselli, E. (2020). The emerging issue of “digitalization” in agriculture. In H. Herren, B. Haerlin and IAASTD+10 Advisory Group, *Transformation of Our Food Systems: The Making of a Paradigm Shift*. Berlin and Zurich: Foundation on Future Farming and Biovision.
- Higgins, H. (2019). *Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions*. World Resources Institute. Recuperado de <https://www.wri.org/insights/podcast-creating-sustainable-food-future>.
- HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). (2019). *Agroecological approaches and other innovations for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition|HLPE Report 14*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>.
- Holt-Giménez E & Altieri MA. (2013). Agroecology, food sovereignty and the new green revolution. *Journal of Sustainable Agriculture* 37 (1): 90–102. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.716388>.
- Ickowitz, A, Powell, B, Rowland, D, Jones, A and Sunderland, T. (2019). Agricultural intensification, dietary diversity, and markets in the global food security narrative. *Global Food Security* 20: 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.11.002>
- IPES-Food. (2020). *International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. COVID-19 and the crisis in food systems: Symptoms, causes, and potential solutions*. Recuperado de: [https://www.ipesfood.org/\\_img/upload/files/COVID-19\\_CommuniqueEN%283%29.pdf](https://www.ipesfood.org/_img/upload/files/COVID-19_CommuniqueEN%283%29.pdf)
- Isaac, Marney E., S. Ryan. Isakson, Bryan Dale, Charles Z. Levkoe, Sarah K. Hargreaves, V. Ernesto. Méndez, Hannah Wittman, Colleen Hammelman, Jennifer C. Langill, Adam R. Martin, Erin Nelson, Michael Ekers, Kira A. Borden, Stephanie Gagliardi, Serra Buchanan, Sarah Archibald, and Gálvez

- Ciani, Astrid. (2018). Agroecology in Canada: Towards an integration of agroecological practice, movement, and science. *Sustainability* 10: 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10093299>.
- Joga, M. R., Zotti, M. J., Smagghe, G., & Christiaens, O. (2016). RNAi Efficiency, Systemic Properties, and Novel Delivery Methods for Pest Insect Control: What We Know So Far. *Frontiers in physiology*, 7, 553. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00553>
- Jeong, S. H., Lee, H. J., & Lee, S. J. (2023). Recent Advances in CRISPR-Cas Technologies for Synthetic Biology. *Journal of microbiology (Seoul, Korea)*, 61(1), 13–36. <https://doi.org/10.1007/s12275-022-00005-5>
- Jiang, F., & Doudna, J. A. (2017). CRISPR-Cas9 Structures and Mechanisms. *Annu Rev Biophys*, 46, 505-529. doi:10.1146/annurev-biophys-062215-010822
- Johnston, S F. 2018. The technological fix as social cure-all: Origins and implications. *IEEE Technology and Society Magazine* 37: 47–54. <https://doi.org/10.1109/MTS.2018.2795118>.
- Kawall, K., Cotter, J., & Then, C. (2020). Broadening the GMO risk assessment in the EU for genome editing technologies in agriculture. *Environ. Sci. Europe*. 32, 106. Doi: 10.1186/s12302-020-00361-2
- Keulartz, J., & van den Belt, H. (2016). DIY-Bio—economic, epistemological and ethical implications and ambivalences. *Life sciences, society and policy* 12: 1-19. Doi: 10.1186/s40504-016-0039-1
- Klein J. (1990). *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*. Wayne State University Press.
- Klerkx, Laurens, Emma Jakku, and Pierre Labarthe. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS—Wageningen Journal of Life Sciences* 90–91: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>.
- Klümper, W., & Qaim, M. (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLoS One*, 9(11), e111629. doi:10.1371/journal.pone.0111629
- Metje-Sprink, J., Sprink, T., & Hartung, F. (2020). Genome-edited plants in the field. *Curr Opin Biotechnol*, 61, 1-6. doi:10.1016/j.copbio.2019.08.007
- Knott, G. J., & Doudna, J. A. (2018). CRISPR-Cas guides the future of genetic engineering. *Science*, 361(6405), 866-869. doi:10.1126/science.aat5011
- Kremen, C., and A. Miles. 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming Systems: Benefits, externalities, and trade-Offs. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Langner, T., Kamoun, S., & Belhaj, K. (2018). CRISPR Crops: Plant Genome Editing Toward Disease Resistance. *Annu Rev Phytopathol*, 56, 479-512. doi:10.1146/annurev-phyto-080417-050158

- Levidow, L. (1998). Democratizing technology—or technologizing democracy? Regulating agricultural biotechnology in Europe. *Technology in Society*, 20, 211-226.
- Levidow L., Pimbert M., & Vanloqueren G. (2014). Agroecological research: Conforming—Or transforming the dominant agro-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38 (10): 1127–1155. <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.951459>.
- Martínez, S.F. (2022). Reduccionismo en biología: implicaciones para la relación ciencia-sociedad. En: “Diccionario de biología evolutiva para las ciencias sociales y las humanidades”, Jorge Galindo y Maximiliano Martínez (coords.). Ciudad de México, UAM-Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias Sociales y Humanidades. p.494-502.
- Méndez, V. E., Bacon, C. M., and Cohen, R. 2013. Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(1): 3–18. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.736926>.
- Modrzejewski, D., Hartung, F., Sprink, T., Krause, D., Kohl, C., & Wilhelm, R. (2018). What is the available evidence for the range of applications of genome-editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects: a systematic map. *Environmental Evidence*, 7 (18). doi: 10.1186/s13750-018-0130-6
- Mohanta, T. K., Bashir, T., Hashem, A., Abd Allah, E. F., & Bae, H. (2017). Genome Editing Tools in Plants. *Genes (Basel)*, 8(12). doi:10.3390/genes8120399
- Montenegro de Wit, M. (2020). Democratizing CRISPR? Stories, practices, and politics of science and governance on the agricultural gene editing frontier. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 8(9). doi:10.1525/elementa.405
- Montenegro de Wit, M. (2022). Can agroecology and CRISPR mix? The politics of complementarity and moving toward technology sovereignty. *Agriculture and Human Values*, 39, 733–755. doi:10.1007/s10460-021-10284-0
- Napier, J. A., Haslam, R. P., Tsalavouta, M., & Sayanova, O. (2019). The challenges of delivering genetically modified crops with nutritional enhancement traits. *Nature Plants*. 5(6):563-567. doi: 10.1038/s41477-019-0430-z.
- NAS. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. (2017). Preparing for Future Products of Biotechnology. Recuperado de: <https://nap.nationalacademies.org/read/24605/chapter/1#ii>. Washington, DC.: doi: 10.17226/24605
- Pretty, J, Benton, TG, Bharucha, ZP, Dicks, LV, Flora, CB, Godfray, HCJ, Goulson, D, Hartley, S, Lampkin, N, Morris, C and Pierzynski, G. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nat Sustain.* 1(8): 441–446. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
- Razzaq, A., Saleem, F., Kanwal, M., Mustafa, G., Yousaf, S., Imran Arshad, H. M., . . . Joyia, F. A. (2019). Modern Trends in Plant Genome Editing: An Inclusive

- Review of the CRISPR/Cas9 Toolbox. *Int J Mol Sci*, 20(16). doi:10.3390/ijms20164045
- Rosset, P.M. & Altieri M.A. (1997). Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources* 10, no. 3: 283–95.
- Schenke, D., & Cai, D. (2020). Applications of CRISPR/Cas to Improve Crop Disease Resistance: Beyond Inactivation of Susceptibility Factors. *iScience*, 23(9), 101478. doi:10.1016/j.isci.2020.101478
- Shew, A. M., Tack, J. B., Nalley, L. L., Chaminuka, P. (2020). Yield reduction under climate warming varies among wheat cultivars in South Africa. *Nat Commun*, 11(1), 4408. doi:10.1038/s41467-020-18317-8
- Sprink, T., Eriksson, D., Schiemann, J., & Hartung, F. (2016). Regulatory hurdles for genome editing: process- vs. product-based approaches in different regulatory contexts. *Plant Cell Rep*, 35(7), 1493-1506. doi:10.1007/s00299-016-1990-2
- Stone, G.D. & Glover D. (2017). Disembedding grain: Golden rice, the green revolution, and heirloom seeds in the Philippines. *Agriculture and Human Values* 34 (1): 87–102. <https://doi.org/10.1007/s10460-016-9696-1>.
- Sullivan, S. (2023). Ag-tech, agroecology, and the politics of alternative farming futures: The challenges of bringing together diverse agricultural epistemologies. *Agric Hum Values*, 40, 913-928. doi:10.1007/s10460-023-10454-2
- Ureta, C., González, E. J., Piñeyro-Nelson, A., Couturier, S., González-Ortega, E., & Álvarez-Buylla, E. R. (2023). A data mining approach gives insights of causes related to the ongoing transgene presence in Mexican native maize populations. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(2), 188-211. doi:10.1080/21683565.2022.2146252
- Vanloqueren G. & Baret P.V. (2009). How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy* 38 (6): 971–983. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.02.008>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., Afshin, A., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet (London, England)*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wittman, Hannah, Dana James, and Zia Mehrabi. (2020). Advancing food sovereignty through farmer-driven digital agroecology. *International Journal of Agriculture and Natural Resources* 47:235–248. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2299>.

Wolt, J. D. (2019). Current risk assessment approaches for environmental and food and feed safety assessment. *Transgenic Res*, 28(Suppl 2), 111-117. doi:10.1007/s11248-019-00140-7

Zhu, H., Li, C., & Gao, C. (2020). Applications of CRISPR-Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 21(11), 661-677. doi:10.1038/s41580-020-00288-9