

Argumentos para una moratoria global a los impulsores genéticos derivados de ingeniería genética¹

Un impulsor genético es una técnica capaz de alterar o eliminar intencionalmente una especie silvestre, sin respeto por las fronteras nacionales. La CDB reconoce, a través de su Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología, el principio del consentimiento previo e informado para el movimiento transfronterizo de organismos vivos modificados liberados en el ambiente. Sin embargo, los impulsores genéticos están diseñados deliberadamente para difundirse y persistir, sin respetar frontera nacional alguna y sin que hasta la fecha exista un proceso internacionalmente acordado para la gobernanza efectiva de los impactos transfronterizos que podrían surgir de la liberación de un impulsor genético. Dada esta seria falta regulatoria, y teniendo en cuenta los graves riesgos ecológicos y sociales que su liberación podría acarrear, la respuesta adecuada de la CDB es una moratoria a la investigación aplicada, desarrollo y liberación de impulsores genéticos producto de ingeniería genética.

¿Qué son los impulsores genéticos?

Los impulsores genéticos son una tecnología de ingeniería genética experimental cuyo objetivo es la diseminación agresiva de un rasgo específico de ingeniería genética en una especie o población en la naturaleza. Normalmente, un organismo genéticamente modificado (OGM) liberado en el ambiente transmitiría sus rasgos de ingeniería genética (por ejemplo, la resistencia a herbicida) sólo a cerca de la mitad de su descendencia.¹ Los impulsores genéticos están diseñados para que los rasgos de ingeniería genética sean transmitidos a toda o a casi toda la descendencia (aunque es improbable que sean cien por ciento efectivos).² Si un impulsor genético fuese exitoso, los rasgos de diseño genético seleccionados se difundirían y se convertirían en dominantes en poblaciones silvestres en sólo unas cuantas generaciones de la especie, o podrían hasta provocar su extinción. Hasta ahora, esos impulsores genéticos artificiales han sido desarrollados empleando un nuevo sistema de "edición genética" conocido como CRISPR-Cas9.

¿Qué usos podrían darse a los impulsores genéticos?

Los impulsores genéticos pueden ser introducidos deliberadamente en especies consideradas invasoras para erradicarlas del ambiente, con propósitos de conservación, o bien en especies de hierbas para eliminarlas de los campos de cultivo. Podrían ser introducidos para exterminar cosechas y plagas del ganado y debilitar la resistencia a herbicidas de las llamadas "supermalezas". Diversos grupos de investigación alcanzaron notoriedad al proponer la introducción de mosquitos con impulsores genéticos para suprimir o extinguir la especie que trasmite la malaria.³ Los impulsores genéticos podrían ser también usados con fines militares, como armas biológicas o para suprimir cosechas de alimentos en países considerados "enemigos".

¿Qué tan rápido están siendo desarrollados los impulsores genéticos?

A inicios de 2014 se anunció el primer impulsor genético funcional desarrollado con CRISPR.⁴ A partir de entonces, cientos de millones de dólares de fondos privados, filantrópicos y militares han sido dedicados a acelerar el desarrollo de impulsores genéticos.⁵ Aunque algunos desarrolladores estiman que aún están como mínimo a una década de obtener capacidad para liberar impulsores genéticos en el ambiente,⁶ otros proponentes plantean la liberación experimental de impulsores genéticos ya para

¹ Resumen preparado por el Grupo de trabajo de la sociedad civil sobre impulsores genéticos

2020.⁷ Hasta ahora, los impulsores genéticos han sido introducidos en ratones, moscas de la fruta, mosquitos, levadura y nemátodos.

Las tentaciones de los impulsores genéticos

Algunos políticos pueden sentirse tentados a usar impulsores genéticos, puesto que éstos parecen ofrecer una salida rápida a problemas complejos. Investigadores y corporaciones trasnacionales se entusiasman por el poder que los impulsores genéticos ofrecen y su potencial para incrementar sus ganancias.

Las aplicaciones técnicas de los impulsores genéticos han sido publicitadas mediante ambiciosas afirmaciones sobre supuestas “soluciones” prontas para usar, pero las muchas fallas de otras “soluciones” tecnológicas de ingeniería genética en el pasado dejan en claro la necesidad de enfoques precautorios e investigaciones más profundas sobre los impactos biológicos que conllevan.

BRECHA EN LA GOBERNANZA: NECESIDAD DE UNA MORATORIA

Al momento, no existe un proceso internacionalmente acordado para la efectiva gobernanza de los impactos transfronterizos que muy probablemente ocurrirán con la liberación de impulsores genéticos. Esta es una enorme brecha con efectos potencialmente muy graves. La CDB ha reconocido los riesgos ecológicos, culturales y socioeconómicos que representan los organismos vivos genéticamente modificados (OVM). El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, establece el principio de consentimiento previo, libre e informado para los movimientos transfronterizos de OVMs que son liberados al ambiente. Esto impone un deber a la parte exportadora de OVMs que debe solicitar el consentimiento previo del país de destino.

Esos procedimientos están diseñados para cubrir movimientos transfronterizos *deliberados* a través de la frontera de una nación. Claramente, estos procedimientos son inadecuados para cubrir el flujo irrestricto de un OVM que no respete fronteras, lo cual es inherente al uso de los impulsores genéticos. Como los impulsores genéticos están contruidos deliberadamente para alterar una especie y las especies se extienden y cruzan las fronteras políticas, los efectos transfronterizos tenderán a ser inevitables en muchos países.

Así, si un país propusiese la liberación de un impulsor genético en su territorio, la consecuencia sería que todos los países potencialmente afectados deberían ser parte del proceso de deliberación previa, en el marco de un régimen procedimental que aún no existe. Debido a esta importante brecha en la gobernanza y a los graves efectos ecológicos y sociales que la liberación de un impulsor genético podría ocasionar, la respuesta adecuada de la CDB debe ser una moratoria a la liberación de impulsores genéticos producidos con ingeniería genética.

Un amplio espectro de organizaciones de la sociedad civil internacional recomiendan a la Convención de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica que establezca una moratoria inmediata a la investigación aplicada, desarrollo y liberación de impulsores genéticos de diseño.

INCAPACIDAD PARA EVALUAR ADECUADAMENTE LOS EFECTOS

La ausencia de un procedimiento acordado para considerar la liberación de impulsores genéticos en el ambiente es sólo el primer obstáculo para un acuerdo funcional de gobernanza global en este tema. Existe un vacío casi igualmente grande en cuál sería el proceso que imprescindiblemente se debe tener en cuenta para sustentar un acuerdo de este tipo. Actualmente, la capacidad de predecir los efectos que podría desatar un impulsor genético es muy limitada, y ésta es una información clave para considerar su liberación.

Los efectos de los impulsores genéticos son difíciles de predecir

El rango completo de impactos ecológicos de los impulsores genéticos es desconocido, pero es muy probable que sean complejos y difíciles de predecir. Las especies pueden no responder como se espera y podrían, en cambio, desarrollar mutaciones que, a su vez, representarían problemas nuevos. La erradicación de una sola especie o la alteración de su comportamiento puede afectar a especies simbióticas o competidoras, la estructura de las comunidades poblacionales, las redes alimentarias, la polinización, la predación, los ciclos de nutrientes, resultando la pérdida de biodiversidad y de funciones ecosistémicas. Los patógenos y los parásitos podrían cambiar de anfitriones y podrían abrirse nuevos nichos ecológicos que, a su vez, podrían invitar a nuevas (o más) especies invasoras.⁸ La suposición de que los impulsores genéticos se comportarán y funcionarán como se planea en el laboratorio, ignora y niega la complejidad y el dinamismo de los sistemas naturales y la evolución. Los impulsores genéticos representan, en general, una seria amenaza a la resiliencia de los ecosistemas.

Dado el estado actual del conocimiento, no es posible predecir adecuadamente la cascada de impactos ecológicos que podrían resultar de la liberación de impulsores genéticos en sistemas silvestres (incluyendo cambios estocásticos y no lineales). Adicionalmente, los lugares donde los impulsores genéticos están diseñados para diseminarse agresivamente, esto es, en zonas silvestres, los cambios que éstos pueden detonar no podrán ser contenidos localmente.

Existen considerables vacíos en el conocimiento relacionado con la eficacia de los impulsores genéticos, tanto en el organismo objetivo como en el ambiente, a lo largo del tiempo y a través de diversos antecedentes genéticos. Es esencial considerar también cómo los impulsores genéticos se propagarán a través de una población determinada y cómo afectarán no sólo a las especies objetivo, sino a la comunidad ecológica completa. Puesto que el objetivo de los organismos modificados con impulsores genéticos es que se esparzan en el ambiente, existe una sensación generalizada entre los investigadores de que pueden tener efectos dañinos para otras especies o ecosistemas. Por ejemplo, el uso de un impulsor genético para suprimir a la población de una hierba no nativa puede conducir a consecuencias inesperadas como la pérdida del hábitat para especies nativas o, incluso, el establecimiento de una segunda especie invasora más resiliente.

Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, junio de 2016⁹

Los riesgos de bioseguridad y la impredecibilidad de los impulsores genéticos son mayores que los de los OGMs "clásicos"

Hasta ahora, la práctica de la bioseguridad ha consistido en limitar la liberación incontrolada de OGMs para prevenir su persistencia en el ambiente. Por contraste, los impulsores genéticos están diseñados no sólo para persistir en la naturaleza, sino para difundirse e inundar a las especies silvestres. Si un impulsor genético es liberado en zonas naturales, el organismo con impulsor genético estará sujeto a mutaciones y a presiones evolutivas, lo mismo que las especies silvestres en su esfuerzo por "resistir" el impulsor genético "invasor". De un modo u otro, el impulsor genético puede fracasar en su funcionamiento, o las mutaciones resultantes pueden persistir y extenderse a través de una población. Adicionalmente, la comprensión de la tecnología subyacente de edición genética CRISPR-Cas9 es todavía limitada. Al parecer ésta también puede ocasionar efectos fuera del objetivo (es decir, rupturas o inserciones no intencionales en el genoma de la especie alterada).¹⁰ Estos efectos podrían causar, a su vez, fenotipos inesperados y otras expresiones genéticas y comportamientos en las especies objetivo. Al introducir las "tijeras" moleculares de la tecnología CRISPR-Cas9 en el genoma, programadas para que su acción se repita a lo largo de varias generaciones, el riesgo de cortes fuera del blanco y otros efectos impredecibles puede ser magnificado. A este punto, es contrario a la evidencia científica presentar a los impulsores genéticos como un mecanismo confiable con un resultado predecible en el tiempo. Los impulsores genéticos serán elementos genéticos vivientes y cambiantes replicándose fuera del control humano y de su capacidad de predicción.

Puesto que la tecnología de impulsores genéticos CRISPR-Cas9 permanece plenamente funcional en la cepa mutada después de ser creada, la probabilidad de mutaciones fuera de objetivo también permanece y la probabilidad se incrementa con cada generación, antes y después de la liberación en el ambiente.

Bruce L. Webber *et al.* (CSIRO Australia) en PNAS, agosto de 2015¹¹

La liberación de impulsores genéticos puede ser irreversible y pasar de una a otra especie

La pobre capacidad de predecir los efectos no puede ser superada por medio de un enfoque adaptativo de manejo, puesto que no existe actualmente una función que “deshaga” y retire los impulsores genéticos de ambientes silvestres. Las propuestas para liberar “impulsores de reversión”¹² o para limitar la diseminación de los impulsores genéticos por medio de sistemas teóricos de “impulsores locales”¹³ son altamente especulativas. Dado que están sujetas a presiones evolutivas y limitaciones ecológicas, su confiabilidad es muy cuestionable. En algunos casos, los impulsores genéticos pueden extenderse más allá de la especie objetivo (por ejemplo, hacia especies estrechamente relacionadas).¹⁴ Cualquier suposición en el sentido de que los impulsores genéticos no saltarán de una especie a otra es intrínsecamente no confiable y no está sustentada en evidencia científica. De nuevo, la experiencia con los OGMs ha demostrado que la transferencia horizontal de genes es mucho más frecuente de lo que se pensó en un inicio.

Es particularmente imperativo usar la precaución al considerar el desarrollo de un “impulsor de reversión” ... en tanto podría ser imposible emplear efectivamente esta estrategia sin incurrir en fallas de objetivo, o restablecer completamente a los ecosistemas de los efectos ecológicos y en el ambiente ocasionados por el impulsor genético original.

Academia de Ciencias de Estados Unidos, junio de 2016¹⁵

A la luz de las dificultades para predecir los efectos que podrían resultar de la liberación de los impulsores genéticos, sería prematuro comenzar negociaciones, dentro de la CDB, sobre cualquier procedimiento que considere una propuesta de liberación de los impulsores genéticos. Comprometer recursos para encontrar un procedimiento para la evaluación antes de alcanzar una capacidad confiable para hacer dicha evaluación equivaldría a poner la carreta delante del caballo. Además crearía incentivos para que los negociadores tengan que mostrar progresos, mediante la aceptación de sistemas para la evaluación tecnológica que son deficientes, pero especialmente, muy peligrosos en el contexto de los impulsores genéticos.

AUSENCIA DE ESTÁNDARES ACORDADOS

Aparte de las incertidumbres fundamentales en la bioseguridad de los impulsores genéticos, existe también una ausencia de estándares acordados para la investigación aplicada y el desarrollo de los impulsores genéticos.

No se han desarrollado reglas de contención seguras para los impulsores genéticos

Las reglas existentes para la contención de los OGMs presuponen que aquellos que logren escapar a la contención tendrán baja persistencia en el ambiente. Aún así, las tasas de contaminación genética en los cultivos agrícolas y especies de malezas por OGMs muestra que incluso esta suposición es incorrecta. Pese a ello, los desarrolladores de impulsores genéticos afirman que, en el futuro, podría haber medios técnicos y geográficos para contener eficazmente los organismos modificados con impulsores genéticos; estas afirmaciones hipotéticas deben ser

rigurosamente examinadas y probadas. Es necesario establecer acuerdos internacionales que impongan estrictas reglas para el manejo en laboratorio y contención de todos los impulsores genéticos y tales acuerdos deben ser puestos en práctica antes de que avancen incluso las investigaciones en laboratorio con impulsores genéticos.

No existen procedimientos ni prácticas de supervisión

Un aspecto crítico de cualquier propuesta de liberación de impulsores genéticos al ambiente sería el desarrollo de procedimientos internacionalmente aceptados para monitorear los impactos y la diseminación de los impulsores genéticos en ambientes naturales. Estos procedimientos tendrían que incluir el desarrollo de medios prácticos para detectar organismos modificados con impulsores genéticos en poblaciones silvestres, la obtención de acuerdos respecto al rango de efectos que deberían ser vigilados y, muy importante, las metodologías a ser empleadas. Sin una investigación detallada de estos tópicos, no sería práctico ni productivo iniciar la formulación de acuerdos. Se requiere también investigación sobre la responsabilidad por los costos del monitoreo y cómo deben ser distribuidos esos costos, además de establecer reglas claras sobre cómo incorporar el aspecto de la responsabilidad jurídica.

GRAVES PREOCUPACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y DE SEGURIDAD

Los impactos potenciales de los impulsores genéticos pueden tener alcances tan profundos que, dependiendo dónde se dirijan, podrían tener graves consecuencias sociales, económicas y de seguridad.

La liberación de impulsores genéticos representa una amenaza para la seguridad alimentaria y los derechos de los agricultores y campesinos

La liberación de impulsores genéticos podría afectar el abasto de alimentos, al suprimir la polinización accidental o intencionalmente, mediante la alteración de redes alimentarias, o bien, al saltar los impulsores genéticos de especies silvestres a especies cultivadas, pero también al crear o abrir la vía para la aparición de nuevas especies invasoras. Los impulsores genéticos podrían ser usados, deliberadamente, para propósitos hostiles contra la agricultura de ciertas regiones, o por entidades corporativas para, así, ganar ventajas de mercado a costa de afectar cultivos de pequeños agricultores.

Los impulsores genéticos pueden tener propósitos de uso dual (militar), incluso como armas biológicas

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA), del ejército de Estados Unidos es actualmente una de las entidades que más recursos financieros destina a la investigación y el desarrollo de impulsores genéticos. Su proyecto "Genes Seguros" [*Safe-Genes*] reconoce explícitamente que los impulsores genéticos representan "riesgos biológicos" que pueden ser usados por "actores irresponsables que podrían liberar organismos modificados accidental o intencionalmente".¹⁶ Los usos hostiles de los impulsores genéticos incluyen, por ejemplo, aumentar la diseminación de parásitos o insectos genéticamente modificados o la liberación de impulsores genéticos para suprimir las cosechas de cultivos de polinización abierta mediante la reducción o eliminación de la producción de frutos o semillas. El desarrollo de impulsores genéticos "localizados" ofrece, en particular, un potencial para una proliferación más focalizada. Dada su capacidad para reconfigurar ecosistemas, los impulsores genéticos aparecen como un tema relevante para el Tratado ENMOD (Convención sobre la Prohibición del Uso Militar o Cualquier Otro Uso Hostil de Técnicas de Modificación Ambiental), de 1977.¹⁷

“Técnicas de modificación ambiental” hace referencia a cualquier técnica para cambiar —por medio de la manipulación deliberada de procesos naturales— las dinámicas, composición o estructura de la Tierra, incluyendo su biota.

Tratado ENMOD (Convención de Naciones Unidas sobre la Prohibición del Uso Militar o Cualquier Otro Uso Hostil de Técnicas de Modificación Ambiental), de 1977

Los impulsores genéticos podrían ser usados para aumentar los monopolios, lo cual significa una amenaza económica y para los modos de vida tradicionales.

Las solicitudes de patente sobre impulsores genéticos CRISPR incluyen propuestas para manipular especies de hierbas invasoras (“malezas”) agrícolas para que sean más susceptibles a agroquímicos propiedad de las empresas (por ejemplo, el herbicida Roundup (glifosato) de Monsanto).¹⁸ El propósito de usar un impulsor genético para ello, sería poder continuar o incrementar las ventas de agrotóxicos producidos por las empresas de agronegocios. Los impulsores genéticos asociados con una fuerte protección de propiedad intelectual podrían ser aprovechados para ejercer control sobre otros aspectos de la biodiversidad que brindan importantes funciones ecosistémicas para la agricultura (por ejemplo, los polinizadores u otras especies benéficas). Una diseminación agresiva de organismos modificados con impulsores genéticos podría tener impactos negativos severos en la integridad de los sistemas agrícolas orgánicos y agroecológicos.

Los impulsores genéticos son presentados como “balas de plata” tecnológicas, para conservación y control de enfermedades, lo cual desvía la atención y recursos necesarios de verdaderas soluciones.

Los impulsores genéticos parecen estar siendo desarrollados para usar principalmente en agricultura y sector militar, pero hay todo un aparato propagandístico dedicado también a presentarlos como “soluciones” sencillas y rápidas para problemas complejos de conservación de especies y enfermedades como malaria y zika. Enfocarse en la eliminación de vectores nunca ha solucionado estos problemas. Existe una larga historia de intentos previos fallidos de eliminar vectores infecciosos y especies invasoras por medio de innovaciones tecnológicas “salvadoras”, incluyendo la diseminación en gran escala de sustancias químicas como el DDT¹⁹, o la liberación intencional de depredadores biológicos.²⁰ La realidad muestra que el control exitoso de la malaria se da fundamentalmente cuando se actúa sobre el contexto, factores sociales y provisión de servicios de salud, no aplicando “soluciones” tecnológicas.²¹

LA DIMENSIÓN ÉTICA

El cambio y la erradicación de especies enteras genera grandes preocupaciones éticas.

Los desarrolladores de impulsores genéticos se autoadjudican autoridad para “esculpir la evolución”,²² diseñar ecosistemas y alterar especies enteras, pero la mayoría consideramos tales actitudes como inaceptables. La ingeniería genética provoca fuertes debates éticos y desde la perspectiva de otras cosmovisiones, respecto al derecho de los científicos y las empresas para alterar la vida. Muchas culturas, especialmente indígenas y tradicionales, enfatizan la sacralidad intrínseca y la integridad de los seres vivos y del tejido de la vida, pero sus tierras y aguas pueden ser igualmente afectadas, sin que siquiera puedan considerarlo, por la liberación de impulsores genéticos. Los gobiernos del CBD tienen la obligación de respetar y proteger el conocimiento de los pueblos indígenas relevante para la conservación de la biodiversidad,²³ de consultarlos antes de tomar decisiones que podrían afectar las tierras y aguas de pueblos indígenas y comunidades locales,²⁴ y de asegurar que las evaluaciones de impactos de las aplicaciones de biología sintética, como los impulsores genéticos, incluyan la plena participación de los pueblos indígenas y las comunidades locales.²⁵

DECLARACIONES CIENTÍFICAS Y OFICIALES EN APOYO DEL PRINCIPIO PRECAUTORIO

Ecologistas: “Advertimos que sin un marco regulatorio que ofrezca mecanismos claros y transparentes para analizar las implicaciones de los impulsores genéticos con CRISPR-Cas9, esta llamada “bala de plata” podría convertirse en una amenaza para la conservación”.

Fuente: Bruce L Webber *et al.* (CSIRO Australia) en *PNAS*, agosto de 2015.

Expertos del CDB: “Las aplicaciones que están dirigidas a alterar y remplazar las poblaciones naturales (por ejemplo, los sistemas de impulsores genéticos) pueden tener efectos adversos a nivel de los ecosistemas y respecto a los otros dos objetivos de la Convención”.

Fuente: CBD AHTEG sobre biología sintética, septiembre de 2015.

UNEP/CBD/SYNBIO/AHTEG/2015/1/3, p. 9.

UICN: “Hace un llamado al Director General y a las Comisiones para que, con urgencia evalúen las implicaciones de los impulsores genéticos y las técnicas relacionadas, así como sus potenciales impactos en la conservación y en el uso sustentable de la diversidad biológica y en el reparto equitativo de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos, con el fin de desarrollar una guía de la UICN sobre este tema, y para que se abstenga de apoyar o endosar investigaciones, incluyendo pruebas de campo, sobre el uso de impulsores genéticos para la conservación u otros propósitos, hasta que esa evaluación haya sido realizada”.

Fuente: *UICN, Moción 095 (aprobada) – Hawaii, septiembre de 2016.*

Conservacionistas y científicos: “Dados los obvios peligros que entraña la liberación irreversible de genes genocidas en el mundo natural, y las obvias implicaciones éticas de emprender tal acción, llamamos a detener todas las propuestas para el uso de las tecnologías de conductores genéticos, y especialmente para su uso en conservación”

Fuente: *Llamado a la conservación con conciencia. Declaración emitida por 30 líderes internacionales en conservación y científicos, incluyendo la Dra. Jane Goodall, el Dr. David Suzuki y la Dra. Vandana Shiva. Hawaii, septiembre de 2016.*

NOTAS:

¹ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. doi:10.17226/23405.

² Andrew Hammond *et al.* "A CRISPR-Cas9 gene drive system targeting female reproduction in the malaria mosquito vector *Anopheles gambiae*". *Nature biotechnology* 34, n. 1 (2016): 78-83.

³ Antonio Regalado, "The Extinction Invention". *Technology Review* 13 de abril de 2016. Disponible en Internet: <https://www.technologyreview.com/s/601213/the-extinction-invention/>.

⁴ Gantz VM y Bier E. "The mutagenic chain reaction: a method for converting heterozygous to homozygous mutations". *Science*, New York, 2015, 348 (6233): 442-444. doi:10.1126/science.aaa5945.

⁵ Por ejemplo, la Fundación Bill y Melinda Gates ha comprometido 75 millones de dólares para la investigación y desarrollo de impulsores genéticos; la Fundación Tata ha comprometido 70 millones y la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) tiene vigentes al menos dos convocatorias para investigación sobre impulsores genéticos: "Genes seguros" e "Insectos aliados".

⁶ Comunicación personal con el Dr. Kevin Esvelt, del grupo "Esculpiedo la evolución", del MIT, septiembre de 2016.

⁷ Proyecto GBIRd (Biocontrol genético de roedores invasores), dirigido por Island Conservation International. Los detalles pueden consultarse en: <http://www.islandconservation.org/program-coordinator/>.

⁸ Bruce L Webber *et al.*, "Opinion: is CRISPR-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat?" *PNAS*, v. 112, n. 34, 10565-10567, 25 de agosto de 2015.

⁹ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. doi:10.17226/23405.

¹⁰ Bruce L Webber *et al.*, "Opinion: is CRISPR-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat?" *PNAS*, v. 112, n. 34, 10565-10567, 25 de agosto de 2015.

¹¹ *Ibid.*

¹² K. A. Oye *et al.* "Regulating gene drives". *Science*, v. 345, 08 de agosto de 2014, p. 626. doi: 10.1126/science.1254287.

¹³ Kevin Esvelt, "'Daisy drives' will let communities alter wild organisms in local ecosystems". <https://medium.com/mit-media-lab/daisy-drives-will-let-communities-alter-wild-organisms-inlocal-ecosystems-cb626c5a9f38#.91i6eyhc0>.

¹⁴ Bruce L Webber *et al.*, "Opinion: is CRISPR-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat?" *PNAS*, v. 112, n. 34, 10565-10567, 25 de agosto de 2015.

¹⁵ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. doi:10.17226/23405.

¹⁶ Página electrónica de la DARPA. "Setting a Safe Course for Gene Editing Research". 07 de septiembre de 2016. Disponible en Internet: <http://www.darpa.mil/news-events/2016-09-07>.

¹⁷ Convención de Naciones Unidas sobre la Prohibición del Uso Militar o Cualquier Otro Uso Hostil de Técnicas de Modificación Ambiental, 1977. Disponible en Internet: <http://www.un-documents.net/enmod.htm>.

¹⁸ Patente WIPO n. WO 2015105928 A1, "RNA Guided Gene Drives" ["Impulsores genéticos guiados por RNA"].

¹⁹ Pesticide Action Network, "The DDT Story". Disponible en Internet: <http://www.panna.org/resources/ddt-story>.

²⁰ Carol Kaesuk Yoon, "When Biological Control Gets Out of Control". *New York Times*, 06 de marzo de 2001. Disponible en Internet: <http://www.nytimes.com/2001/03/06/science/when-biological-control-gets-out-of-control.html>.

²¹ Anne Platt McGinn. "Malaria, Mosquitoes, and DDT". *Worldwatch Magazine*, mayo-junio de 2002, v. 15, n. 3. Disponible en Internet: <http://www.worldwatch.org/node/517>.

²² El grupo del MIT que investiga sobre impulsores genéticos se autodenomina Grupo "Esculpiendo la evolución". Cf. <http://www.sculptingevolution.org>.

²³ El artículo 8J de la Convención sobre Diversidad Biológica establece: "Con arreglo a su legislación nacional, respetará, preservará y mantendrá los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades indígenas y locales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica y promoverá su aplicación más amplia, con la aprobación y la participación de quienes posean esos conocimientos, innovaciones y prácticas, y fomentará que los beneficios derivados de la utilización de esos conocimientos, innovaciones y prácticas se compartan equitativamente;". Disponible en Internet: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.

²⁴ Decisión VII/16 de la COP 7 de la Convención sobre Diversidad Biológica, adoptada en Akwé: Sobre los lineamientos voluntarios para la realización de evaluaciones de impacto cultural, ambiental y social de proyectos de desarrollo propuestos para ubicarse en, o que tendrán impacto sobre tierras sagradas y en tierras y aguas tradicionalmente ocupadas o usadas por comunidades indígenas y locales (pp. 10-27). Disponible en Internet: <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-07>.

²⁵ La Decisión UNEP/CBD/COP/DEC/XII/24 3c de la Convención de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica insta a las partes a: "Realizar evaluaciones científicas relativas a los organismos, componentes y productos resultantes de técnicas de biología sintética con respecto a los posibles efectos para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo en cuenta los riesgos para la salud humana y abordando, según proceda, y de conformidad con la legislación nacional y/o regional, otras cuestiones tales como la seguridad alimentaria y consideraciones socioeconómicas con, según corresponda, la plena participación de las comunidades indígenas y locales;". Disponible en Internet: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-12/cop-12-dec-24-es.pdf>. - ***