

Qué significa la biología sintética para  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**





Construcción Internacional  
de Capacidades para la  
Evaluación y Gobernanza  
de la Biología Sintética



vigilar al poder  
monitorear la tecnología  
fortalecer la diversidad

TWN  
Third World Network

## ¿Qué significa la biología sintética para América Latina y el Caribe?

2018

**Acerca del African Centre for Biodiversity:** El ACB (Centro Africano para la Biodiversidad) <http://acbio.org.za/en>, está comprometido con la lucha contra las inequidades en los sistemas alimentarios y agrícolas en África, con el derecho de los pueblos a una alimentación saludable y culturalmente apropiada, producida con métodos ecológicamente seguros y sustentables, y con el derecho de los pueblos a definir sus propios sistemas agrícolas y alimentarios. El 7 de abril de 2015, el Centro Africano para la *Bioseguridad* cambió oficialmente su nombre a Centro Africano para la Biodiversidad. Este cambio de nombre se acordó en una consulta interna para reflejar el mayor campo de nuestro trabajo a lo largo de los últimos años. Toda publicación del ACB anterior a esta fecha conservará nuestro viejo nombre y deberá ser citada de ese modo.

**Acerca del Grupo ETC:** El Grupo ETC [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org), trabaja para enfrentar problemas socioeconómicos y ecológicos derivados de las nuevas tecnologías que podrían afectar a las poblaciones vulnerables del mundo. Opera en la escala política global y colabora con organizaciones de la sociedad civil y movimientos sociales, especialmente en África, Asia y América Latina. El Grupo ETC tiene su sede en Val David, Canadá y Davao, Filipinas, con oficinas en la Ciudad de México y Guelph, Canadá.

**Acerca de la Red del Tercer Mundo:** La Red del Tercer Mundo, TWN, ([www.twn.my](http://www.twn.my)) es una red internacional, independiente y sin fines de lucro, de organizaciones e individuos involucrados en temas relacionados con el desarrollo sustentable, el Sur global y las relaciones Sur-Norte. El objetivo de TWN es profundizar la comprensión de los dilemas del desarrollo y los retos que enfrentan los países en desarrollo, así como contribuir a cambios de las políticas para alcanzar un desarrollo justo, equitativo y sustentable. El secretariado internacional de TWN se localiza en Penang (Malasia), con oficinas en Kuala Lumpur (Malasia) y Ginebra (Suiza). Hay investigadores de la Red en Beijing, Delhi, Jakarta, Manila y Nueva York. El secretariado regional de la Red en América Latina está en Montevideo (Uruguay) y el secretariado regional africano está en Accra (Ghana).

Este documento fue producido como parte del proyecto “Construcción Internacional de Capacidades para la Evaluación y Gobernanza de la Biología Sintética”, BICSBAG, por sus siglas en inglés. Las contrapartes del proyecto agradecen y reconocen el apoyo financiero de SwedBio, del Centro de Resiliencia de Estocolmo, la Frontier Coop Foundation y el CS Fund para la producción de estos materiales.

Visite [www.synbiogovernance.org](http://www.synbiogovernance.org) para más información y traducciones.

Diseño: Cheri Johnson

Traducción al castellano: Octavio Rosas Landa y Samuel Rosado



## Construcción Internacional de Capacidades para la Evaluación y Gobernanza de la Biología Sintética

# ¿Qué significa la biología sintética para América Latina y el Caribe?

## Introducción

Después de veinte años de experimentar con organismos transgénicos en el mundo real, la industria global de la biotecnología está impulsando una nueva plataforma de técnicas de ingeniería genética que son abordadas por el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) de la ONU bajo el concepto de *biología sintética*.

Con estas nuevas técnicas —que incluyen síntesis y edición genética e impulsores genéticos— se están produciendo y colocando en el mercado sabores, fragancias e ingredientes artificiales para la industria alimentaria y cosmética así como nuevos organismos diseñados o editados genéticamente para incidir en la agricultura y los ecosistemas silvestres.

Esta nueva ola de “transgénicos 2.0”, considerada por los gobiernos de la OCDE “innovación disruptiva”, tendrá impredecibles efectos ambientales, sociales y culturales en América Latina y el Caribe. Los gobiernos y la sociedad civil están tratando de identificar y evaluar urgentemente los impactos potenciales de la nueva ola de la biología sintética antes de que rompa en las costas latinoamericanas y caribeñas.

La industria de la biología sintética amenaza las economías tradicionales y los modos de vida que dependen de productos naturales, pone en cuestión los frágiles regímenes de bioseguridad existentes y abre nuevos caminos para la biopiratería digital. Este documento de contexto reflexiona sobre las lecciones aprendidas por los países de América Latina y el Caribe con la primera generación de transgénicos e identifica algunos temas emergentes para el subcontinente, a medida que la nueva ola de la biología sintética avanza hacia el primer plano.

## De los transgénicos 1.0 a los transgénicos 2.0: La primera generación de ingeniería genética en la región

Si bien las sociedades y los elaboradores de políticas de América Latina y el Caribe recién comienzan a comprender y a evaluar la biología sintética, ya existe una experiencia significativa respecto a la primera generación de la ingeniería genética de la cual extraer enseñanzas precautorias. Actualmente, América Latina es el segundo mayor productor global de organismos transgénicos en la agricultura después de Estados

Unidos y Canadá y su producción se concentra en Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia. Otros países como México, Colombia, Honduras y Panamá también han otorgado algunos permisos para la siembra comercial de cultivos transgénicos, mientras que Chile y Costa Rica permiten la producción de semillas genéticamente modificadas para exportación, pero no para la siembra local. De manera significativa, sin embargo, 27 países de



América Latina y El Caribe han decidido no permitir la siembra de transgénicos.

Esta precaución adoptada por la mayoría de los países de la región se basa probablemente en la experiencia de observar a sus vecinos. Desde la primera generación de transgénicos, la soya tolerante al glifosato y el maíz de rasgos apilados (BT y tolerancia a pesticidas) son los cultivos dominantes, seguidos de algodón y canola. También se han hecho pruebas de poca escala con alfalfa, trigo y piña. Brasil ha aprobado los árboles transgénicos y, junto con Panamá y las Islas Caimán, ha realizado pruebas con mosquitos transgénicos.<sup>1</sup> La siembra de soya tolerante al glifosato domina el panorama: el primer cultivo transgénico a escala global (y que se sigue plantando en la mayor cantidad de hectáreas), apareció en la década de 1990 y rápidamente tuvo un impacto profundo en el Cono Sur, extendiéndose sobre 54 millones de hectáreas en cinco países. En la mayoría de los casos se introdujo ilegalmente, violando toda consideración de bioseguridad. Empresas y productores grandes contrabandearon semillas transgénicas a sus países para forzar una situación *de facto* en la región que Syngenta denominó “República Unida de la Soya”.<sup>2</sup> Como lo predijeron los críticos en su momento, el uso de agroquímicos se incrementó de 10 a 20 veces después de que se plantaron los transgénicos

por primera vez en 1996. Actualmente, Brasil y Argentina se encuentran entre los primeros cinco usuarios globales de agroquímicos, resultado directo del cultivo de transgénicos tolerantes a herbicidas. Actualmente, 550 millones de litros de glifosato (ahora clasificados por la Organización Mundial de la Salud como “probablemente carcinogénicos para los seres humanos”) se aplican cada año a la soya transgénica.<sup>3</sup> Prácticamente toda la producción de soya y maíz transgénicos se exporta y se destina a la alimentación animal.

Los efectos de largo plazo son muy claros: tanto en Argentina como en Brasil, distintos estudios han encontrado residuos de glifosato en el agua de consumo humano, en la leche materna y en la orina y sangre humanas, particularmente en áreas rurales y ciudades cercanas a las plantaciones.<sup>4</sup> En Argentina, evaluaciones de salud pública realizadas en varios años en las áreas de producción más intensiva, muestran un dramático aumento de todos los tipos de cáncer y de malformaciones congénitas en recién nacidos.<sup>5</sup> En los cinco países se ha exacerbado la concentración de la tierra en pocas manos vinculada a la siembra masiva de transgénicos; la desaparición de miles de pequeñas unidades productivas campesinas y el consecuente desplazamiento de sus pobladores. La siembra de transgénicos es también la principal causa de la deforestación en la región.<sup>6</sup>



A pesar de 20 años de promesas de la industria sobre su “beneficio público”, todos los cultivos transgénicos sembrados en la región provienen de semillas propiedad de unas cuantas empresas transnacionales (Monsanto-Bayer, Syngenta, DuPont-Dow). Esto ha precipitado cambios en las leyes sobre semillas y propiedad intelectual de cada país, para proteger los intereses comerciales de esas corporaciones. Las empresas también han logrado —a través de la dependencia creada a los transgénicos en varios sectores— una enorme influencia en las políticas públicas agrícolas y en la regulación en materia de bioseguridad, alianzas peligrosas de las que hay mucha documentación.<sup>7</sup> En Brasil, ha habido repetidos intentos por legalizar las semillas suicidas o tecnología *Terminator*, que volverían a los agricultores completamente dependientes de las corporaciones.

En el caso del maíz transgénico, una preocupación adicional ha sido la contaminación de las variedades de maíces nativos y tradicionales en su centro de origen, Mesoamérica. Una vez más, tal contaminación fue prevista y desestimada. En México, la oposición pública al maíz transgénico, proveniente de amplios sectores sociales (científicos, campesinos e indígenas, artistas, ambientalistas y consumidores) lleva más de una década. A partir de una demanda legal colectiva

contra los permisos de siembra comercial de maíz transgénico, su cultivo está prohibido por una orden judicial pendiente de resolución.

### **Lecciones aprendidas e implicaciones de la primera ola de transgénicos**

A pesar de las promesas de mejorar la nutrición y resolver el hambre, la primera generación de OGMs en América Latina y el Caribe no fue desarrollada para la alimentación humana, sino animal, y predominantemente para exportación, no para consumo interno. Los beneficios fueron a parar a las arcas de las empresas transnacionales y los grandes terratenientes, pero los impactos negativos se manifestaron en la salud pública, el medio ambiente, la economía campesina y los consumidores. En los cinco países con mayor presencia de la industria biotecnológica, se han debilitado notablemente las regulaciones sobre bioseguridad, protección precautoria a los consumidores y la biodiversidad, lo que ha establecido un mal precedente y ha debilitado las bases para una política regulatoria que enfrente adecuadamente la siguiente generación de biotecnologías. Los países latinoamericanos y caribeños necesitan reflexionar críticamente respecto a las promesas con que se promueve la segunda ola de ingeniería genética: la biología sintética.



## Biología sintética y biosíntesis

Mientras llega la segunda ola de la biotecnología, los primeros frutos comerciales de la biología sintética son todo menos *frutos*: ingredientes de una sola molécula, producidos con microbios en grandes recipientes, que representan enormes riesgos para las economías regionales y el uso sustentable de la biodiversidad. Cada vez más corporaciones e investigadores utilizan herramientas de biología sintética para producir reemplazos de ingredientes antes obtenidos de productos naturales. Su objetivo es producir sabores, fragancias, aceites y endulzantes de alto valor comercial mediante microbios alterados genéticamente, en lugar de recurrir a la importación de ingredientes vegetales o a la síntesis química convencional. Para fabricar el compuesto deseado, las empresas diseñan nuevas rutas genéticas en microorganismos como algas marinas y levaduras. Alteran el ADN

para que cuando el microorganismo se alimente de azúcar o gas natural excrete los compuestos antes derivados de cultivos naturales. En términos sucintos, al producir un compuesto en un tanque de fermentación industrial, se reduce la necesidad de producir la planta o la sustancia natural de la que se obtiene el ingrediente deseado. Esto produce un impacto directo sobre el uso de la biodiversidad.

Actualmente, los microorganismos que se usan para producir sustitutos de derivados botánicos mediante biología sintética se alimentan con azúcar u otra forma de biomasa. Producir el mismo volumen de productos botánicos convencionales que circulan ahora, mediante biología sintética, requeriría la extensión dramática de monocultivos de gran escala para obtener las materias primas con que se alimentarían los microorganismos. Otra opción que se está explorando es alimentar a las algas y levaduras con metano barato obtenido mediante *fracking* o de las minas de carbón, con los muy conocidos impactos negativos en los suelos, los ecosistemas y la biodiversidad.

La sustitución de ingredientes mediante biología sintética representa grandes riesgos económicos y sociales para las economías de América Latina y el Caribe. Afectaría la demanda de productos naturales en los mercados de exportación, de lo que dependen innumerables economías locales, nacionales o regionales; se impactaría el empleo, la cultura y los tejidos sociales en general cuando la producción de esos nuevos productos se traslade a países industrializados que tienen la tecnología para desarrollarlos.

Ya hay docenas de compuestos de origen biosintético entre los que se incluyen sabores, fragancias, combustibles, farmacéuticos, textiles, endulzantes, químicos de uso industrial e ingredientes alimentarios con sabor, olor y comportamiento similar al de los compuestos de origen natural. Recomendamos consultar la base de datos *GMOs 2.0 Ingredients Database*,<sup>8</sup> con información de 350 compuestos biosintetizados, muchos de los cuales ya están en alimentos, cosméticos y suplementos dietéticos en el mercado. Para profundizar, consulte el documento *Biología sintética y biosíntesis mediante inteligencia artificial*.

## América Latina y el Caribe como fuente de productos naturales

América Latina es rica en biodiversidad. Históricamente ha sido fuente de muchos productos botánicos altamente codiciados, incluyendo especias, saborizantes, cosméticos y aceites esenciales. Las especias en particular requieren de procesos y conocimientos muy especializados cultivarse y procesarse. La cosecha de un cultivo como vainilla o vetiver requieren sortear el clima, la altitud, el aislamiento e incluso, crisis políticas. La extracción artesanal de aceites, fragancias y medicamentos depende, a menudo, de bosques bien conservados.

La producción de especias es de enorme relevancia en Centroamérica, el Caribe y otras regiones tropicales. La recolección y/o producción y procesamiento se realiza principalmente en comunidades indígenas y campesinas, generalmente por mujeres, para quienes estas actividades constituyen a veces su única fuente de ingresos, lo que les permite permanecer en sus territorios y continuar realizando su importante papel histórico como cuidadoras de la biodiversidad. Algunos productos que pueden ser sustituidos por derivados de biología sintética son de gran

importancia económica. Es el caso de la manteca de cacao y sus equivalentes para los pueblos del Caribe y algunas zonas de Brasil, México y Ecuador; o el vetiver para la economía de Haití. Estos productos tienen un profundo significado e importancia cultural, ambiental y social para los campesinos e indígenas que los cultivan.

Todos los países de América Latina y el Caribe excepto Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay producen **manteca de cacao** y aceite de coco o sus equivalentes (conocidos como CBEs por sus siglas en inglés). Mesoamérica es centro de origen del cacao, y estudios recientes también lo atribuyen a algunas regiones amazónicas. Campesinos de seis países producen **stevia**: Paraguay, México, Colombia, Argentina y Uruguay. Paraguay es el centro de origen de la stevia. La **vainilla** tiene su centro de origen en México y se produce en México, Costa Rica, la isla Guadalupe, y otras islas del Caribe. El **vetiver** es clave en la economía de Haití y también se produce en otras islas del Caribe, Brasil y Paraguay. El **escualano**, derivado de las aceitunas o el amaranto, se produce en Argentina y Chile. Dos países de la región cosechan **sándalo**: Costa Rica y Haití. México tiene una significativa industria del **aceite de rosas** y Dominica, del **patchouli**.





## 1. Manteca de cacao y sus equivalentes (CBEs)

La manteca de cacao es parte de una clase de grasas vegetales que se usan en alimentos y cosméticos. Se obtiene de las semillas oleaginosas del cacao cultivado en los trópicos. Existen otras mantecas de esta clase como las derivadas de murumuru, mango, coco y palma. El cacao se usa principalmente en la producción de chocolate, mientras que otras mantecas tienen usos alimentarios y cosméticos. Todos los países de América Latina, excepto Chile, Uruguay, Paraguay y Argentina, cosechan y obtienen manteca de cacao o sus equivalentes (CBEs).

En América Latina, nueve países representan 80% de la producción global de alta calidad y sustentable de cacao y manteca de cacao. Este cacao de alta calidad es sustento principal de más de tres millones de campesinos latinoamericanos.<sup>9</sup> La producción mundial de cacao está creciendo a una tasa elevada (10 por ciento anual)<sup>10</sup> por el aumento en la demanda de Europa y Estados Unidos.

### La sustitución de la manteca de cacao y sus equivalentes con manteca derivada de algas

El 13 de abril de 2017, la empresa de biología sintética TerraVia (antes llamada Solazyme), anunció que su manteca de algas había obtenido el estatus de producto “Generalmente reconocido como seguro”, de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. De acuerdo con la información proporcionada, “la manteca de algas es una nueva y revolucionaria grasa estructurante para usarse en pastelería, alimentos untados y dulcería”,<sup>11</sup> y el objetivo de producirla es sustituir la manteca de cacao proveniente de América Latina y otras regiones del mundo.<sup>12</sup> El comunicado de prensa

del 13 de abril plantea: “La manteca de alga es un producto exclusivo de la alianza TerraVia y Bunge *SB Oils*, y su meta es reemplazar un mercado valuado en más de dos mil millones de dólares.<sup>13</sup> Aunque TerraVia cayó en bancarrota a fines de 2017, sus activos fueron adquiridos por Corbion, empresa productora de ingredientes, la cual, al parecer, pretende, junto con Bunge, continuar con el plan de colocar la manteca de algas biosintética como sustituto de la manteca de cacao.<sup>14</sup>



## 2. Babasú y aceite de coco

El babasú o babaçú es un árbol de palma cuyo origen se ubica en la Amazonía y crece silvestre en los estados brasileños de Tocantins, Maranhão y Piauí. Sus nueces son la fuente del aceite de babasú, similar en sus propiedades al aceite de coco. La mayor parte del aceite de babasú se emplea en la producción de jabones y cosméticos y también como aceite de cocina. La pasta remanente de la extracción del aceite de las nueces sirve como alimento para animales. La producción del babasú es crucial para la vida de los campesinos del noreste de Brasil. La recolección de las nueces de babasú es una actividad intensiva en fuerza de trabajo tradicionalmente realizada por mujeres. Más de 400 mil mujeres y sus familias procesan la palma para extraer aceites, harinas y alimento para animales.<sup>15</sup>

El aceite de coco se produce en varios países de América Latina y el Caribe, significativamente en Brasil, México, República Dominicana y Venezuela.



## La sustitución del babasú y el aceite de coco con manteca de algas

TerraVia (antes Solazyme) diseñó genéticamente algas para producir aceites que “están genéticamente predisuestos” a expresar ácidos grasos como los ácidos láurico y mirístico, que podrían sustituir a los aceites de coco y babasú. TerraVia se asoció, entre otras, con Unilever, ADM y Bunge y, como se mencionó arriba, creó la alianza estratégica SB Oils con Bunge. Algunas de las marcas más conocidas de jabones producidos por Unilever se fabrican hoy usando los aceites de algas biosintéticas de TerraVia, en vez de con las materias primas naturales que anteriormente empleaban.

### 3. Stevia

La stevia es un matorral con hojas de sabor dulce. Su centro de origen es la región que hoy corresponde al este de Paraguay y el estado sudoccidental brasileño de Mato Grosso del Sur. El pueblo indígena de la zona, el guaraní, se refiere a la stevia como *Kaá he'é* y ha usado sus hojas como alimento y medicamento durante cientos de años. Actualmente, el uso de la stevia como endulzante no glicémico es muy popular y ha motivado su cultivo por pequeños agricultores, a menudo orgánicamente, en varios países de América Latina, incluyendo el mismo Paraguay. El remplazo de la stevia con extractos biosintéticos representaría una competencia con dichos cultivos, además de que constituye una forma de biopiratería contra los pueblos guaraníes.

Los químicos están interesados en los *glucósidos de esteviol* —los más de 40 compuestos responsables del dulzor de las hojas—, algunos de los cuales son hasta 300 veces más dulces que el azúcar de caña. El valor global del mercado de stevia, (que se vende principalmente pulverizada) superó los 400 millones de dólares en 2016.<sup>16</sup> La empresa suiza Evolva colabora con el gigante de los agronegocios, Cargill, en la producción de un endulzante producido mediante fermentación biosintética (con levaduras) combinando dos glucósidos de esteviol, Rebaudiósido D y M. En



2015 las empresas nombraron su endulzante de siguiente generación como “EverSweet” y prometieron lanzarlo al mercado en 2016, sin embargo, a inicios de 2017 Evolva informó de un retraso forzoso debido a una “compleja combinación de factores, entre ellos, las características de las cepas, los costos de fermentación y de procesamiento posterior, los costos de conversión de las instalaciones, la escala de la producción [y] los señalamientos de los consumidores sobre el precio”.<sup>17</sup> El lanzamiento se pospuso para 2018, aunque circulan rumores de que Cargill podría lanzar su propia stevia de biología sintética al mercado sin Evolva. La empresa gigante de los ingredientes, DSM, también habla de vender un extracto de stevia producido con fermentación de biología sintética.

### 4. Vainilla

La vainilla natural se obtiene de la vaina curada que contiene las semillas de la orquídea de la vainilla, que crece en climas tropicales. La producción de la vainilla es intensiva en fuerza de trabajo, porque requiere que los cultivadores polinicen a mano las viñas dispersas en extensas áreas forestales. Las vainas necesitan cinco meses para madurar antes de recolectarlas a mano y curarlas. Los bosques deben estar sanos para que florezcan las orquídeas de vainilla, de modo que el cuidado del bosque es parte del trabajo de los campesinos vainilleros. Se estima que cerca de 200 mil personas están involucradas anualmente en la producción de vainas curadas de vainilla. En todo el mundo, Madagascar es el principal país productor, pero México es su centro de origen y mantiene su producción de vainilla natural, la cual tiene una enorme importancia cultural y valor económico para las comunidades campesinas e indígenas.



En México, la vainilla se poliniza manualmente en los meses de marzo y abril, cuando el desempleo aumenta en las comunidades, por lo

cual la emigración puede reducirse y evitar mayor desintegración de las familias. La polinización manual de la vainilla es un momento de asamblea y celebración comunitaria. El sostenimiento de los modos tradicionales de cultivo de esta orquídea mantiene la cohesión entre comunidades y familias. Durante el periodo de polinización, los niños aprenden su cultura, los mayores se sienten incluidos y útiles, y los jóvenes permanecen en la comunidad. Los problemas importantes de las comunidades son abordados colectivamente durante ese tiempo.

En el extremo del consumo, la vainilla natural se vende por miles de dólares por kilogramo, mientras que su sustituto sintético, la “vainillina”, se vende a un precio diez veces menor. En 2014, Evolva, la empresa suiza de biología sintética y la gigante estadounidense International Flavors and Fragrances (IFF), comercializaron un sabor de vainillina biosintética que se vende como parte de la línea de productos de IFF “Always Vanilla” [*Siempre Vainilla*]. Evolva promociona su vainillina de biología sintética como “natural”, así que directamente compete con la producción campesina.



## 5. Vetiver

El vetiver es un pasto perenne y tupido. Se le planta en muchos lugares porque su eficiente sistema de raíces previene la erosión y filtra el agua. El aceite de vetiver, derivado de sus raíces, es un ingrediente de alto valor que se utiliza en 90% de todos los perfumes occidentales, así como en lociones, productos de limpieza del hogar y conservadores alimentarios, entre otros usos. En Haití el aceite de vetiver es el producto agrícola de exportación más valioso del que a más de 60 mil personas. En el suroeste de Haití, el cultivo de

vetiver proporciona empleo a más de 27 mil familias campesinas. Además del tan necesitado ingreso en efectivo para las familias, el cultivo del vetiver proporciona muchos beneficios adicionales: el pasto crece abundante en ambientes difíciles, puede plantarse en pendientes pronunciadas y así servir para controlar derrumbes y deslaves. En las zonas costeras, se siembra para controlar de inundaciones provocadas por la marea alta y en las ciénagas ayuda a la producción de peces.

La empresa suiza de biología sintética, Evolva, posee patentes sobre el vetiver y pretende producir compuestos que están estructuralmente relacionados con él, pero recientemente reportó que no tiene por el momento el objetivo de sustituir el ingrediente natural.<sup>18</sup>

El cultivo y la producción de aceites esenciales en Haití es una actividad económica importante, medio de supervivencia para miles de familias campesinas. El vetiver es sólo uno de los aceites esenciales que la industria de la biología sintética busca reemplazar y es un claro ejemplo de cómo los productos biosintéticos podrían ocasionar impactos devastadores en la subsistencia de los campesinos más pobres.

## 6. Escualano

El escualano es un ingrediente humectante “libre de grasas” que se encuentra en la naturaleza y se usa en muchos cosméticos. Hace poco se extraía de los hígados de los tiburones de aguas profundas, pero el escualano que se emplea hoy se deriva principalmente de fuentes botánicas como el aceite de oliva y el amaranto. Argentina y Chile han desarrollado con éxito la producción botánica de escualano.

Desde 2010, la empresa líder en biología sintética, Amyris Biotechnologies, promueve su escualano “derivado del azúcar”, Neossance™.<sup>19</sup> El escualano de Amyris se produce mediante una levadura de diseño genético alimentada con caña de azúcar brasileña, y ha adquirido un lugar preponderante como ingrediente principal de una amplia gama de marcas de cosméticos, además de que también se vende bajo una marca propia de Amyris, denominada Biossance™.

## La caña de azúcar brasileña como alimento para los microbios de biología sintética

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar y principal exportador de azúcar en el mundo. Es también sede de numerosas instalaciones de biología sintética, cuya demanda de azúcar tiene impactos significativos en el medio ambiente y los derechos humanos. En 2016 un informe de la ONU que analizó las violaciones a los derechos humanos en los países que cultivan caña de azúcar, encontró en las plantaciones condiciones de trabajo cuasi-esclavo, conflictos violentos por la tierra, adquisiciones fraudulentas de tierras que derivaron en expulsiones masivas de comunidades y pérdida de tierras de pastoreo y caza, además de la deforestación que incrementa la inseguridad alimentaria y la malnutrición.<sup>20</sup>



## Edición genética

Hoy en día, un puñado de técnicas de genética molecular permite a los especialistas en biología sintética alterar rápidamente el ADN de plantas y animales, y se argumenta que dichas técnicas tendrán muchas aplicaciones en conservación ambiental y agricultura. La técnica más famosa es *CRISPR* (Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente), y ya se ha usado para producir ganado sin cuernos, hongos que no se oxidan y nuevas variedades de maíz con “cera”. Otros tipos similares de edición genética se están usando en la producción de canola resistente a herbicidas y en la edición genética de insectos y ratones. Los cultivos editados genéticamente implican la alteración de la estructura genética de los organismos, como ocurre con cualquier otra forma de ingeniería genética, aunque algunas empresas de biotecnología argumentan que sus

productos no deben ser llamados *transgénicos*, puesto que sólo contemplan cambios pequeños. Sin embargo, aún los cambios pequeños en la secuencia de los genes pueden tener grandes impactos en los organismos y los ecosistemas. Además, la edición genética está aumentando las posibilidades de cambios imprevistos no buscados [*off-target*], alteraciones no planificadas en otros lugares del código genético, que podrían tener importancia para el desarrollo o comportamiento del organismo.

## Historia de la edición genética y los “nuevos OGMs” en América Latina y el Caribe

No existen leyes ni reglamentos adecuados para la bioseguridad en América Latina y el Caribe para las nuevas técnicas producción de organismos genéticamente modificados (OGMs), ni para la liberación experimental o comercial de organismos modificados con CRISPR-Cas9 y otras tecnologías de edición genética. En Argentina, la secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca, del Ministerio de Agroindustria, emitió una resolución en 2015 (173/2015) que podría permitir que algunas nuevas biotecnologías, incluyendo la edición genética, evitaran la evaluación y los requisitos de bioseguridad, según considere, *caso por caso*, la comisión de bioseguridad correspondiente.

Por su parte, Brasil planteó que todas las nuevas técnicas de ingeniería genética estarían cubiertas por la ley de bioseguridad vigente hasta 2018. Con esta premisa, Brasil ya aprobó la liberación experimental de mosquitos transgénicos y el uso de levadura genéticamente modificada para la producción de farneseno. En enero de 2018, la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CNTBio) de Brasil, adoptó una resolución que sugiere que las nuevas técnicas de mejoramiento vegetal y mejoramiento de precisión seguirán un procedimiento similar al de la resolución argentina de 2015, lo cual genera serias preocupaciones, porque permitiría evitar las evaluaciones de riesgos de organismos que contienen impulsores genéticos no naturales, que deberían supervisarse mediante regulación básicas antes de ser liberados al ambiente.

Estos precedentes, junto con la reciente aprobación de Estados Unidos a algunos cultivos editados genéticamente sin pasar los requisitos de bioseguridad establecidos para los transgénicos, podrían influir en otros gobiernos en cuyos países existe una fuerte presencia de empresas transnacionales de agronegocios.

Otra preocupación son los acuerdos entre el CIMMYT (Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo) con DuPont y Monsanto para desarrollar aplicaciones de CRISPR-Cas9 para maíz, especialmente dado que el CIMMYT está ubicado en México, centro de origen de ese cultivo. Estos acuerdos han sido fuertemente cuestionados por la sociedad civil.<sup>21</sup>

Todos los países de América Latina y el Caribe en los que existen grandes plantaciones de OGMs también tienen algún grado de investigación científica que pretende aplicar las nuevas técnicas de edición genética y de biología sintética, aunque ninguno de esos países ha buscado actualizar sus leyes de bioseguridad para enfrentar los nuevos riesgos que plantean dichas técnicas. Por el contrario, algunos tienen incluso menos requerimientos que la generación previa de Organismos Genéticamente Modificados.

### Efectos fuera del objetivo (Off-target)

La edición genética con CRISPR no se entiende tan bien ni es tan precisa como se afirma. Se ha observado que el proceso de “edición” ocasiona de manera rutinaria cambios no intencionales en otras partes de los genomas de los organismos (los llamados “efectos fuera del objetivo”). La frecuencia de estos efectos fuera de lugar socava la presunción de que las nuevas técnicas de edición genética como CRISPR son precisas y predecibles. Tales cambios inesperados en el genoma podrían conducir a sorprendentes efectos no previstos respecto al funcionamiento de los organismos con genoma editado. En cultivos alimentarios, por ejemplo, “los efectos fuera del objetivo podrían derivar en la expresión de toxinas o alérgenos inesperados, o bien, alterar valores nutricionales o ponerlos en riesgo”.<sup>22</sup>



### Estudio de caso: plátanos CRISPR

La región de América Latina y el Caribe es la mayor productora global de plátano. Ecuador, Guatemala, Costa Rica, Colombia, República Dominicana, Honduras y México lideran la producción regional con el 58% de la oferta global. En otros países, como Panamá, Santa Lucía, Granada, San Vicente, San Cristóbal y Nieves y Jamaica, la producción de plátano es crucial en su economía. La principal enfermedad de las plantaciones de plátano en América Latina es la Sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, el cual se ha combatido con una amplia gama de agroquímicos y recientemente con mejoras en el uso de los suelos (lo que tiene menores impactos ambientales y de salud). También se han realizado varios intentos por producir plátanos transgénicos resistentes a infecciones de Sigatoka negra, los cuales no han tenido éxito.

A escala global, la mayor amenaza para las plantaciones de plátanos es una nueva cepa del hongo virulento del suelo TR4, también conocido como la enfermedad de Panamá. A pesar de su nombre, el TR4 no se ha esparcido en América Latina, aunque ha generado alarma en la región, puesto que ha afectado severamente a decenas de miles de hectáreas de plantaciones de plátanos de la variedad Cavendish (la variedad comercial más común en el mundo), en el centro y sureste de Asia, Oceanía, el Medio Oriente y África.

Especialistas en biología sintética intentan hoy en día usar CRISPR para desarrollar variedades resistentes al TR4. Científicos que estudian el plátano australiano han estado rediseñando

genéticamente los plátanos de las variedades Cavendish y Gros Michel para resistir diferentes cepas de TR4,<sup>23</sup> mientras que científicos taiwaneses comenzaron a hacer pruebas de diseño genético de plátanos resistentes al TR4 utilizando CRISPR.<sup>24</sup>

Existen otros enfoques que no se basan en la poco comprendida edición genética para afrontar los problemas del TR4 y Sigatoka negra: introducir diversidad en las plantaciones de plátanos Cavendish y Gros Michel y mejorar el manejo de suelos. En lado de la demanda, al parecer los consumidores no están listos para aceptar que sus plátanos sean de diseño genético. Como afirmó un vocero de Chiquita al *New Yorker*, “en nuestros mercados principales, Estados Unidos y Europa, sería imposible comercializar un plátano transgénico. Y lo que nos interesa es seguir vendiendo plátanos”.<sup>25</sup>

## Impulsores genéticos

Una de las aplicaciones más novedosas de la biología sintética y la edición genética se conoce como “impulsor genético”: el genoma de un organismo se edita mediante una serie de instrucciones que lo fuerzan a transmitir el cambio diseñado en su genoma a todos los integrantes de su progenie, sobreponiéndose a los procesos normales de selección natural. De este modo, un mismo rasgo genético (como el sexo masculino o la esterilidad), podría difundirse a toda la población y conducir, eventualmente, a que la especie entera cambie o se extinga (por ejemplo, si todos los ratones de las siguientes generaciones son machos o estériles). Algunas organizaciones conservacionistas han defendido el uso de impulsores genéticos para erradicar especies invasoras —como se consideran algunos roedores o serpientes en algunas islas—, o bien, erradicar mosquitos que podrían ser transmisores de vectores infecciosos. Puesto que los impulsores genéticos trabajan cambiando (o eliminando) la estructura de una población a través de una cascada genética imparable de generación a generación, un impulsor genético constituye una muy significativa intervención en la evolución y en los ecosistemas. Los impulsores genéticos inician reacciones

genéticas en cadena que no pueden ser detenidas una vez que han comenzado.

La biología sintética posibilita a investigadores y empresas la creación de organismos que diferirán fundamentalmente de los existentes en la naturaleza. Actualmente se están produciendo cultivos y animales de genoma editado con impulsores genéticos con la intención explícita de liberarlos en el ambiente. Ya sea que se liberen intencional o accidentalmente, las consecuencias potenciales sobre la biodiversidad y los ecosistemas son impredecibles. (Véase “Impulsores genéticos: la ingeniería genética enloqueció”).

## Impulsores genéticos y agricultura: el caso del amaranto en América Latina

El informe de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos sobre los impulsores genéticos “Gene Drives on the Horizon” presenta un estudio caso de agricultura: el amaranto que desarrolló resistencia al glifosato.<sup>26</sup> El informe explica que al resistir al glifosato, el amaranto se convirtió en “súper maleza” y por lo tanto califica como una especie que podría extinguirse deliberadamente mediante impulsores genéticos. Sin embargo, prosigue el estudio, la extinción de esta variedad en América del Norte podría afectar la cosecha del amaranto comestible en América Latina. El informe no lo consideró, pero este es un caso claro en el que los impulsores genéticos transformarían la agricultura y los sistemas alimentarios, favorecerían la formación de monopolios de semillas y agroquímicos aún más con enormes impactos sobre los derechos de los agricultores y la soberanía alimentaria. Algunas especies de amaranto tienen muchas propiedades nutricionales, y la planta tiene múltiples usos alimentarios en varios países de América Latina y el Caribe. Todo esto se perdería si se aplicaran impulsores genéticos para suprimirla en Estados Unidos.

## Impulsores genéticos como herramienta de conservación en islas

Diversos equipos están trabajando en el diseño de sistemas para introducir impulsores genéticos entre las poblaciones silvestres de especies invasivas

con el fin de erradicarlas. Los responsables presentan esta idea como una herramienta para la conservación. Con certeza algunas de estas aplicaciones se presentarán a gobiernos de América Latina y el Caribe como proverbiales *balas de plata* —especialmente para países isleños. Aunque cada una de estas aplicaciones se propone para locaciones específicas, existe el riesgo de que los insectos, peces y animales equipados con impulsores genéticos se trasladen más allá del lugar en el que se liberen (por depredadores, por el clima, en las corrientes o por seres humanos), de tal forma que el impulsor genético podría “globalizarse” causando la extinción de otras especies. En algunos casos, esto provocaría impactos en la polinización por insectos, dañaría cadenas tróficas y la seguridad alimentaria humana.



### Mosquitos de Oxitec

La empresa británica Oxitec ha logrado la modificación genética de mosquitos introduciéndoles un gen letal condicional y liberándolos por millones en pruebas de campo en Brasil, Panamá, las Islas Caimán y Malasia. Se está considerando la posibilidad de liberarlos también en los cayos de Florida, en Estados Unidos. La tecnología asociada a su creación está patentada por Intrexon, que se autopromueve como “líder en el campo de la biología sintética”. El blanco de este experimento de ingeniería genética es el mosquito *Aedes aegypti*, comúnmente conocido como el mosquito de la fiebre amarilla, vector del dengue y otras enfermedades. La técnica consiste en producir *Aedes aegypti* manipulados con un gen letal que no se expresa si se aplica el antibiótico tetraciclina, lo cual hacen durante la cría. Luego los liberan para cruzarse con mosquitos silvestres, que si no encuentran el antibiótico, producirían descendencia estéril.

La liberación de los mosquitos, principalmente machos, transmisores de este gen letal, tiene el objetivo de suprimir la población de mosquitos para reducir la incidencia del dengue y otras enfermedades transmitidas por el *Aedes aegypti*.

Sin embargo, la liberación de estos mosquitos transgénicos en el ambiente genera muchas preocupaciones científicas, sociales, éticas y regulatorias. Por ejemplo en las Islas Caimán este plan ha sido relativamente eficaz durante la sequía cuando la población de mosquitos es baja y si además se combina con fumigaciones. Entre tanto, grandes números de mosquitos hembras, que son las que pican y pueden transmitir enfermedades, se han liberado a pesar de afirmaciones en contrario. No existe evidencia de que la liberación de mosquitos transgénicos haya reducido el riesgo de transmisión de dengue u otras enfermedades como el Zika o Chikungunya. La situación se complejiza porque las estructuras regulatorias y de evaluación de riesgos nacionales e internacionales que podrían gobernar la existencia de mosquitos transgénicos no están suficientemente desarrolladas. En Estados Unidos, por ejemplo, hubo una discusión con respecto a la cuestión de a qué agencia le correspondería regular la liberación de los mosquitos en virtud de que se trata de un área completamente nueva para las entidades. De hecho, la primera liberación de estos mosquitos de diseño genético en las Islas Caimán ocurrió en ausencia de una ley de bioseguridad, así que riesgos y otras cuestiones específicas carecieron de consideración adecuada. Tampoco hubo consulta ni participación social en el proceso. Mientras las empresas y funcionarios afirmaban que se divulgó amplia información antes de la liberación de los mosquitos, el video producido para describir el proceso a la ciudadanía en ningún momento menciona que los mosquitos fueron genéticamente modificados.

### Secuencias digitales

Segmentos genéticos, genes, e incluso organismos enteros de alto valor económico (por ejemplo, virus para producir vacunas), se están digitalizando a partir de la información de sus secuencias genéticas

para poderlas intercambiar electrónicamente. Esto significa que los organismos y sus variantes genéticas pueden atravesar fronteras sin que el material biológico cambie físicamente de manos. Ya no es necesario sintetizar un genoma entero para lograr que la información secuenciada genere beneficios. Los genes individuales sintetizados a partir de información secuenciada e insertados en organismos vivos pueden ser de enorme valor industrial, agrícola y médico. Por ejemplo, la información genética de una enzima de alto valor industrial o del compuesto terapéutico de una planta medicinal puede sintetizarse en microbios, con la información de la secuenciación digital, para que produzcan esos ingredientes en tanques de fermentación. (Consultar la sección sobre biosíntesis). A diferencia del pasado, la información secuenciada logra usarse cada vez con mayor frecuencia sin necesidad de tener acceso al ser vivo de donde proviene (microbio, planta o animal). Lo cual también obvia la necesidad de obtener el consentimiento previo e informado de las comunidades o acordar términos con ellas y con los custodios de los saberes.

En la medida en que muchos acuerdos, leyes y políticas sobre acceso y reparto de beneficios están basados en la transferencia física del material genético, tales instrumentos pueden no ser aplicables a las secuencias de información en su formato actual digital. Esto plantea nuevos problemas relacionados con la seguridad, la justicia y la equidad en el uso de los recursos genéticos. Problemas que aumentan a medida que el costo de la secuenciación de la información genética disminuye y se desarrollan más las herramientas para almacenamiento y manipulación de dicha información genética.

## **Historia de la biopiratería en América Latina y el Caribe**

América Latina y el Caribe cuentan con áreas muy ricas en biodiversidad y países megadiversos como Brasil, Bolivia, Costa Rica, Colombia, Ecuador, México y Venezuela, lo cual hace de la región un espacio vulnerable a la biopiratería. Adicionalmente, es importante considerar que muchas especies

fueron llevadas de América Latina y el Caribe a bancos genéticos y jardines botánicos antes de que entrara en vigor el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). En las últimas dos décadas, algunos gobiernos han firmado acuerdos con empresas transnacionales para realizar actividades de bioprospección, en la mayoría de los casos sin ningún tipo de consentimiento libre, previo e informado de los pueblos indígenas que han nutrido y creado dichos recursos y que son, además, los principales custodios de la biodiversidad. Un ejemplo temprano que, desafortunadamente, sentó las bases para otros países, fue el contrato firmado en 1991 entre el Instituto Nacional de Biodiversidad, de Costa Rica (INBio) y la empresa farmacéutica Merck. Esta última pagó una modesta suma al INBio que le permitió tener acceso a decenas de miles de plantas en Costa Rica, que también existen en muchos otros países de América Latina.<sup>27</sup> Otros gobiernos como los de México, Colombia y Ecuador también han firmado contratos de bioprospección similares, aunque diferentes en su formulación y amplitud. El resultado es que miles de especies de la biodiversidad latinoamericana se han trasladado a colecciones públicas o privadas en universidades y empresas del Norte global, muchas de ellas en Estados Unidos que no es parte del CBD. En muchos casos, las empresas privadas pueden acceder a las especies o patentarlas. Incluso las muestras de semillas recolectadas y almacenadas en los bancos genéticos del CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional) han sido, en ocasiones, transferidas a empresas privadas sin la firma previa de un acuerdo de transferencia de material. Igualmente ha pasado con el CIMMYT (Centro de Mejoramiento del Maíz y el Trigo) y el ICARDA (Centro Internacional para la Investigación Agrícola en las Áreas Secas) casos descritos por el grupo ETC en 2012.<sup>28</sup>

## **Conclusiones y siguientes pasos**

Es claro que los posibles efectos adversos de la biología sintética en América Latina y el Caribe pueden tener un rango muy amplio. Incluyen riesgos para el ambiente, la salud humana y animal, e impactos negativos en los sustentos de los pueblos. Es especialmente importante

que la investigación de organismos equipados con impulsores genéticos se trate con extrema precaución, que se evite cualquier liberación en campo de cualquier tipo, particularmente en las regiones de mayor biodiversidad, dada la naturaleza irreversible de la tecnología. El campo regulatorio, incluyendo los usos restringidos de las técnicas de biología sintética, debe revisarse y fortalecerse para que los organismos, componentes y productos de la biología sintética se normen eficazmente y se consideren de forma adecuada los riesgos socio-económicos. También es necesario que quienes desarrollan las técnicas de biología sintética ofrezcan medidas de identificación, detección, manejo de riesgos y supervisión que permitan a las entidades regulatorias su vigilancia estricta.

## Más información

Una base de datos de los ingredientes producidos por medio de técnicas de biosíntesis de biología sintética puede encontrarse en: <http://database.synbiowatch.org>.

Un mapa que muestra las regiones productoras de cultivos naturales amenazados por sustitutos de biología sintética puede encontrarse en: <http://www.synbiowatch.org/commodities/natural-products-map/>.

El informe del Grupo ETC, “Biología sintética, biodiversidad y agricultores” (*Synthetic biology, biodiversity and farmers*) puede encontrarse en:

- **Español:** <http://www.etcgroup.org/es/content/biologia-sintetica-biodiversidad-y-agricultores>.
- **Inglés:** <http://www.etcgroup.org/content/synthetic-biology-biodiversity-farmers>.

La página electrónica sobre tecnologías emergentes de Amigos de la Tierra Australia, incluye un informe sobre biología sintética: <http://emergingtech.foe.org.au/synthetic-biology/>.

Centro de Información sobre bioseguridad de la Red del Tercer Mundo, página electrónica sobre tendencias y técnicas emergentes: <https://www.biosafety-info.net/subsection.php?ssid=5>.

## Notas y referencias

- 1 América Latina: La Transgénesis de un continente. RALLT, RAPAL-Uruguay, Fundación Sociedades Sustentables, Fundación Heinrich Boell, 2014. Disponible en: <http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/Transgenesis%20de%20un%20ContinenteWEB-2.pdf>.
- 2 GRAIN, “The United Republic of Soybeans: take two,” 2 July 2013, <https://www.grain.org/article/entries/4749-the-united-republic-of-soybeans-take-two>.
- 3 GRAIN, “20 años de soja transgénica en el Cono Sur: 20 razones para su prohibición definitiva”, 2017. Disponible en: <https://www.grain.org/article/entries/5720-20-anos-de-soja-transgenica-en-el-cono-sur-de-america-latina-20-razones-para-su-prohibicion-definitiva>.
- 4 Pignati, W.; Dores E. F.; Moreira J. C. et al. (2013). “Impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente nos municípios do interior de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil”. Disponible en: <http://www.renastonline.org/recursos/impactos-agrotóxicos-saúde-ambiente-municípios-interior-mato-gr-osso-brasil>. Ronco, A.E, Marino, D. et al (2016). “Water quality of the main tributaries of the Paraná Basin: glyphosate and AMPA in surface water and bottom sediments”, Environmental Monitoring and Assessment, 2016. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5467-0>.
- 5 Carrasco, Andrés, “Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling”, Chemical Research in Toxicology, 2010. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/tx1001749>. Véanse también los documentos analizados en “Agrotóxicos vs Salud. Lectura del Dr. Damián Verzeñassi”, 2015 <http://www.lavaca.org/notas/agrotóxicos-vs-salud-la-lectura-del-doctor-verzenassi-el-dano-esta-probado/>.
- 6 GRAIN, “20 años de soja transgénica en el Cono Sur...”, op. Cit.
- 7 Ibid.
- 8 Véase <http://database.synbiowatch.org/>.
- 9 Development Bank of Latin America. Último acceso: 21 de diciembre de 2017. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/04/cacao-fino-la-joya-de-america-latina/>.
- 10 Reuters, “Producción de cacao aumenta en América Latina ante declive en Asia”, 27 de septiembre de 2016. Disponible en: <https://lta.reuters.com/article/businessNews/idLTAKCN11X1W0>.
- 11 Página electrónica de Terravia. Último acceso: 20 de diciembre de 2017.
- 12 Elaine Watson, “Algal butter could replace shea stearin, cocoa butter, palm oil, PHOs”, Foodnavigator USA, 03 de mayo de 2017. Disponible en: [https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2017/05/04/TerraVia-algae-butter-to-launch-in-early-2018?utm\\_source=copyright&utm\\_medium=OnSite&utm\\_campaign=copyright](https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2017/05/04/TerraVia-algae-butter-to-launch-in-early-2018?utm_source=copyright&utm_medium=OnSite&utm_campaign=copyright).
- 13 Ibid.
- 14 Véase <http://algawise.com/wp-content/uploads/2017/09/Algawise-Algae-Butter.pdf>.
- 15 Biofuels Digest, “Babassu palm gets blame for Amazonian deforestation”, artículo en línea, 25 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2011/08/25/babassu-palm-gets-blame-for-amazonian-deforestation/>.



- 16 IMARC, "Stevia Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2017-2022". Véase el comunicado de prensa de IMARC sobre el informe en: <http://www.digitaljournal.com/pr/3408559>.
- 17 Presentación de Evolva para inversionistas, 30 de marzo de 2016, diapositiva 5: <http://www.evolva.com/wp-content/uploads/2016/03/EVE-FY15-PPT.pdf>.
- 18 ETC Group, "Haiti, essential oils and synthetic biology," 2016. Disponible en: <http://www.etcgroup.org/content/haiti-essential-oils-synthetic-biology>.
- 19 Soliance también distribuye productos de biología sintética ("tecnología blanca"), como el ácido hialurónico (HA), dihidroxiacetona (DHA), soforolípidos y polisacáridos. Véase <http://www.soliance.com/page.php?id=7>.
- 20 Asamblea General de Naciones Unidas, "Human rights and transnational corporations and other business enterprises," A/71/291, <http://undocs.org/A/71/150>.
- 21 Silvia Ribeiro, "Monsanto, DuPont, Crispr, ¿qué puede salir mal?", La Jornada, México, 2016. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2016/10/01/opinion/019a1eco>.
- 22 Red Europea de Científicos por la Responsabilidad Social y Ambiental, "ENSSER Statement on New Genetic Modification Techniques: products of new genetic modification techniques should be strictly regulated as GMOs," 27 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://ensser.org/topics/increasing-public-information/ngmt-statement/>.
- 23 Erik Stokstad, "GM banana shows promise against deadly fungus strain", Science, 17 de noviembre de 2017. Último acceso: noviembre de 2017. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/news/2017/11/gm-banana-shows-promise-against-deadly-fungus-strain>.
- 24 David Cyranoski, "CRISPR tweak may help gene-edited crops bypass biosafety regulation", Nature News. 1 de octubre de 2015. Último acceso: noviembre de 2017. Disponible en: <http://www.nature.com/news/crispr-tweak-may-help-gene-edited-crops-bypass-biosafety-regulation-1.18590>.
- 25 Mike Peed, "We Have No Bananas", The New Yorker (edición en línea), 10 de enero de 2011. Último acceso: agosto de 2017. Disponible en: <https://www.newyorker.com/magazine/2011/01/10/we-have-no-bananas>.
- 26 Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina de Estados Unidos, "Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values", 2016, <http://nas-sites.org/gene-drives/>.
- 27 Silvia Rodríguez Cervantes, El despojo de la riqueza biológica, México, Editorial Itaca, 2013.
- 28 Grupo ETC, "La revolución verde dólar", 2012. Disponible en: [http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/ETCComm108\\_GreedRev\\_Spanish6Feb2012.pdf](http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/ETCComm108_GreedRev_Spanish6Feb2012.pdf).