

O que significa biologia sintética para a
AMÉRICA LATINA E O CARIBE





Construção Internacional de
Capacidades para a Avaliação e
Governança da Biologia Sintética



vigilar al poder
monitorear la tecnología
fortalecer la diversidad

TWN
Third World Network

O que significa biologia sintética para a América Latina e o Caribe

2018

Sobre o African Centre for Biodiversity: O ACB (Centro Africano para a Biodiversidade) <http://acbio.org.za/> en está comprometido com a luta contra as desigualdades nos sistemas alimentar e agrícola da África, com o direito dos povos a uma alimentação saudável e culturalmente apropriada, produzida com métodos ecologicamente seguros e sustentáveis, e no direito dos povos de definir seus próprios sistemas agrícolas e alimentares. Em 7 de abril de 2015 o *African Centre for Biosafety* (Centro Africano para a Biossegurança) mudou oficialmente seu nome para *African Centre for Biodiversity* (ACB). Esta mudança de nome foi decidida em consulta interna para refletir a expansão do âmbito do nosso trabalho ao longo dos últimos anos. Todas as publicações do ACB anteriores a esta data manterão nosso antigo nome e deverão continuar sendo citadas assim.

Sobre o Grupo ETC: O Grupo ETC www.etcgroup.org trabalha com questões socioeconômicas e ecológicas relacionadas a novas tecnologias que podem ter impactos sobre populações marginalizadas no mundo. Opera em escala política global e trabalha em estreita parceria com organizações da sociedade civil (OSCs) e movimentos sociais, principalmente na África, na Ásia e na América Latina. O Grupo ETC está sediado em Val David, Canadá, e em Davao, Filipinas, com escritórios na Cidade do México e em Guelph, Canadá.

Sobre a Rede do Terceiro Mundo: A Rede do Terceiro Mundo, TWN, (www.twn.my) é uma rede internacional, independente e sem fins lucrativos, de organizações e indivíduos envolvidos em questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável, ao Sul Global e às relações Sul-Norte. O objetivo da TWN é aprofundar o entendimento dos dilemas do desenvolvimento e os desafios que enfrentam os países em desenvolvimento, bem como contribuir para mudanças das políticas para alcançar um desenvolvimento justo, equitativo e ecologicamente sustentável. O Secretariado Internacional da TWN situa-se em Penang (Malásia), com escritórios em Kuala Lumpur (Malásia) e Genebra (Suíça). Há pesquisadores da Rede baseados em Beijing, Deli, Jacarta, Manila e Nova Iorque. O Secretariado Regional Latino-americano é em Montevidéu (Uruguai) e o Secretariado Regional Africano está em Acra (Gana).

Contribuição para o Projeto Capacitação Internacional em Avaliação e Governança sobre a Biologia Sintética, BICSBAG, por sua sigla em inglês. Os parceiros do projeto reconhecem agradecidos o apoio financeiro de SwedBio, do Stockholm Resilience Centre, da Frontier Coop Foundation e do CS Fund na produção desses materiais.

Visite www.synbiogovernance.org para mais informações e traduções.

Diagramação: Cheri Johnson

Tradução para português: Maria José Guazzelli, todos os textos e David Hathaway, texto Biologia Sintética e Biossíntese facilitada pela Inteligência Artificial.



Construção Internacional de Capacidades para a Avaliação e Governança da Biologia Sintética

O que significa biologia sintética para a América Latina e o Caribe

Introdução

Após 20 anos de experiência no mundo real com organismos transgênicos geneticamente modificados (OGMs), a indústria biotecnológica global está impulsionando uma plataforma de técnicas inovadoras de engenharia genética. Essas são abordadas pela Convenção sobre Diversidade Biológica da ONU (CDB) sob o termo biologia sintética.

Estas novas técnicas de biologia sintética incluem síntese de genes, edição de genomas e condutores genéticos (*gene drives*). Algumas resultam em organismos e produtos que já estão entrando para uso comercial – primeiro para a produção artificial de sabores, fragrâncias e ingredientes em tanques fechados e, em breve, para o lançamento de organismos inovadores geneticamente engenheirados (ou geneticamente editados) para mudar a agricultura ou ecossistemas silvestres.

Promovida pelos governos da OECD como ‘inovação revolucionária’ esta onda “OGM 2.0” (assim como com a primeira onda de OGMs) terá impactos ambientais, sociais e culturais reais nos povos e na biodiversidade da América Latina e do Caribe. Os governos e a sociedade civil estão atualmente tentando, com urgência, identificar e avaliar o potencial de impacto desta nova onda de biologia sintética antes que ela estoure nas terras da América Latina e do Caribe.

A indústria de biologia sintética ameaça as economias tradicionais e os modos de vida que dependem de produtos naturais, desafia os regimes frágeis de biossegurança e abre novas vias para a biopirataria digital. Este resumo traz reflexões sobre lições que os países latino-americanos e do Caribe aprenderam com a primeira onda de OGMs e identifica alguns temas emergentes para o continente, à medida que a onda da biologia sintética emerge.

De OGM 1.0 a OGM 2.0: História da primeira geração de engenharia genética na região

No momento em que a sociedade latino-americana e caribenha e os responsáveis pela elaboração de políticas começam a compreender e avaliar a biologia sintética, já existe uma experiência significativa com a primeira geração de engenharia genética para ser aproveitada, e importantes lições de precaução a serem aprendidas. Atualmente, o continente é o segundo maior produtor global de

Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) na agricultura (depois da América do Norte), concentrado na Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai e Bolívia. Outros países, como México, Colômbia, Honduras e Panamá também aprovaram alguns plantios comerciais de cultivos GM, e Chile e Costa Rica permitem a produção de sementes GM para exportação, mas não para plantio interno.



Significativamente, no entanto, 27 países da América Latina e do Caribe escolheram não permitir o plantio comercial de OGMs.

Esta cautela por parte da maioria dos países da região provavelmente está baseada na experiência de observar seus vizinhos. Da primeira geração de OGMs, soja tolerante a herbicidas e milho com traços piramidados (tolerância a herbicidas + Bt) são de longe os cultivos dominantes, seguidos por algodão e canola GM. Houve algumas tentativas menores de outros cultivos, como alfafa, trigo e abacaxi. O Brasil também aprovou árvores GM e, junto com o Panamá e as Ilhas Cayman, fez experimentos com mosquitos GM.¹ O plantio de soja tolerante ao glifosato é dominante: este primeiro e maior cultivo transgênico em nível global emergiu durante os anos 1990 e rapidamente teve um forte impacto no Cone Sul da América Latina, com 54 milhões de hectares plantados em cinco países. Na maioria dos casos, o OGM foi introduzido ilegalmente no início, sem considerações de biossegurança – empresas e grandes fazendeiros contrabandeando sementes GM para forçar situações *de facto*, no que a Syngenta apelidou de “a República Unida da Soja”.² Como previsto na época por críticos, o uso de agrotóxicos nessa região aumentou de 10 a 20 vezes após o primeiro plantio de OGMs em 1996. Hoje, o Brasil e a Argentina estão entre os cinco maiores usuários de

agrotóxicos no mundo, um crescimento associado ao cultivo de OGMs tolerantes a herbicidas. Atualmente, 550 milhões de litros de glifosato (hoje classificado pela Organização Mundial da Saúde como “provavelmente cancerígeno para os humanos”) são aplicados anualmente na soja transgênica.³ Praticamente toda essa soja e milho transgênicos são voltados para a alimentação animal, e a grande maioria é para exportação.

Os efeitos prejudiciais também se tornaram claros. Tanto na Argentina como no Brasil, estudos encontraram resíduos de glifosato na água potável, no leite materno e na urina e sangue da população, especialmente em áreas rurais e cidades próximas às plantações.⁴ Na Argentina, avaliações plurianuais de saúde pública, nas áreas de maior produção intensiva de transgênicos, mostraram um aumento de deformidades neonatal, abortos e casos de câncer.⁵ Em todos os cinco países têm havido um aumento significativo de concentração da terra em poucas mãos, relacionado ao cultivo de OGMs, junto com o desaparecimento de dezenas de milhares de pequenos agricultores e milhares de camponeses desalojados. O cultivo de OGMs é o maior responsável pelo desmatamento na região.⁶



Apesar de vinte anos de promessas de ‘benefícios públicos’, feitas por essa indústria, todos os cultivos comerciais GM da região usam sementes pertencentes a poucas empresas transnacionais (Monsanto-Bayer, Syngenta, DuPont-Dow). Isso acarretou mudanças em leis de sementes e de direitos internacionais de propriedade em cada país, para proteger os interesses comerciais desses atores. Essas empresas também alcançaram, através da dependência criada pelos OGMs em setores-chave da agricultura, uma grande influência nas políticas públicas para a agricultura e nas regulamentações de biossegurança: “ligações perigosas” que foram documentadas em vários casos.⁷ No Brasil, houve repetidas tentativas de legalizar as sementes suicidas (também chamadas de tecnologia “Terminator”) que deixariam os agricultores completamente dependentes das empresas.

No caso do milho GM, uma preocupação adicional tem sido a contaminação transgênica das variedades camponesas e tradicionais de milho no seu centro de origem na Mesoamérica. Uma vez mais, essa contaminação foi prevista, mas desconsiderada. No México tem havido uma ampla e continuada oposição pública de muitos setores (cientistas, comunidades indígenas e camponesas, artistas, ambientalistas, consumidores) ao milho

transgênico. Em decorrência de uma ação coletiva contrária, o cultivo de milho GM foi legalmente suspenso por quatro anos por uma ordem judicial que ainda está pendente.

Lições aprendidas e implicações da primeira onda de OGMs

Apesar das promessas de melhorar a alimentação e acabar com a fome, a primeira geração de produção OGM na América Latina e no Caribe não foi desenvolvida para comida, mas principalmente para ração e, esmagadoramente, para exportação. Os benefícios, muito claramente, foram para as empresas transnacionais e os grandes proprietários de terra, mas tiveram impactos negativos significativos na saúde pública, no meio ambiente, nos agricultores em pequena escala e nos consumidores. Nos cinco países com grande presença biotecnológica, a pressão desses interesses econômicos arrastou o foco das regulamentações de biossegurança para longe da precaução na proteção aos consumidores, meio ambiente ou biodiversidade. Isso estabeleceu um precedente pobre, e uma base fraca para regulamentar o próximo conjunto de biotecnologias emergentes. Os países na região deveriam refletir criticamente sobre as promessas que agora acompanham a segunda onda.



Biologia sintética e biossíntese

Com a chegada da próxima onda de biotecnologia, os primeiros frutos comerciais da biologia sintética não são em absoluto frutos – são ingredientes unimoleculares engenheirados, produzidos em grandes tanques de micróbios. Esses, por sua vez, trazem grandes riscos para as economias regionais e para o uso sustentável da biodiversidade a milhares de quilômetros de distância. Um número crescente de corporações e pesquisadores estão usando as ferramentas da biologia sintética para produzir substitutos artificiais de ingredientes anteriormente derivados de produtos naturais. Seu objetivo é produzir sabores, fragrâncias, óleos e adoçantes de alto valor, usando micróbios bioengenheirados ao invés de custosas importações botânicas ou sínteses químicas convencionais. Para fabricar o composto desejado, as empresas manipulam

novas rotas genéticas em microorganismos como leveduras ou algas. O DNA é alterado de modo que quando o microorganismo é alimentado com açúcar ou gás natural, ele excreta os compostos que eram antes extraídos de plantas. Em termos básicos, ao produzir um composto num tanque de fermentação industrial, reduz-se a necessidade da planta botânica ou substância natural para produzir o ingrediente desejado. Isso impacta o uso sustentável da biodiversidade.

Atualmente, os organismos usados para produzir substitutos de biologia sintética são alimentados com açúcar ou outra biomassa. A mudança na escala dos ingredientes derivados da agricultura para a produção através da biologia sintética exigirá matéria-prima cultivada em monoculturas de grande escala ou metano barato, obtido através da expansão de *fracking* de metano ou mineração de jazidas de carvão, com implicações negativas para a terra, os ecossistemas e a biodiversidade.

A produção desses ingredientes via biologia sintética também apresenta riscos econômicos e sociais que podem afetar significativamente os países e as economias da América Latina e do Caribe, substituindo modos de vida dependentes de commodities de alto valor, pela redução da demanda do mercado exportador por produtos naturais derivados, e transferindo para países industrializados a produção de produtos naturais de alto valor das economias dependentes da agricultura.

Já existem dúzias de compostos produzidos através da biologia sintética em produtos que estão no mercado ou em vias de estar, incluindo versões de sabores, aromas, combustíveis, fármacos, têxteis, adoçantes, químicos industriais, ingredientes cosméticos e alimentares que têm o sabor, o cheiro e agem como compostos derivados da natureza. Um banco de dados de ingredientes que estão sendo desenvolvidos ou estão no mercado encontrou mais de 350 projetos diferentes para produzir compostos biossintetizados, muitos deles já em alimentos, cosméticos e suplementos dietéticos.⁸ Ver *Synthetic Biosynthesis Primer* para mais informação de base sobre essa indústria.

A América Latina como fonte de produtos naturais

A América Latina e o Caribe são ricos em biodiversidade. A região tem sido, historicamente, a fonte de muitos produtos naturais botânicos valorizados, incluindo especiarias, sabores, ingredientes cosméticos e óleos essenciais. Especiarias em particular necessitam processos e conhecimentos bem especializados tanto para o crescimento como para o processamento. Para conseguir colher uma planta como a baunilha ou o vetiver é necessário administrar as condições climáticas, altitude, isolamento, e até altos e baixos da política. A extração artesanal de óleos, fragrâncias e remédios depende, com frequência, de florestas bem conservadas.

A produção de especiarias é, no momento, particularmente relevante na América Central, no Caribe e em outras regiões tropicais. A coleta e/ou produção e processamento é feita principalmente por comunidades camponesas e indígenas, geralmente por mulheres, para quem essas atividades são frequentemente sua única renda em dinheiro, permitindo que permaneçam em seus territórios e continuem seu importante papel histórico de mantenedoras da biodiversidade. Alguns produtos que podem ser substituídos pela biologia sintética, como a manteiga de cacau e equivalentes da manteiga de

cacau (incluindo o óleo de côco), têm importância econômica para o Caribe e algumas áreas do Brasil, México e Equador, e o vetiver no Haiti. Todos têm considerável importância cultural, ambiental e social para os produtores indígenas e camponeses.

Todos os países na América Latina e no Caribe, com exceção da Argentina, Chile, Paraguai e Uruguai, produzem manteiga de cacau e/ou equivalentes de manteiga de cacau (CBE) ou substitutos (CBS), incluindo óleo de coco. Para muitos países, essas são produções com alto significado econômico. A Mesoamérica é o centro de origem do cacau, mas estudos recentes também o consideram originário de algumas regiões da Amazônia. Agricultores em pequena escala produzem **estévia** em seis países: Paraguai, México, Colômbia, Argentina e Uruguai. O Paraguai é o centro de origem da **estévia**. A **baunilha** é originária do México e é produzida no México, Costa Rica, Guadalupe e também em outras ilhas do Caribe. O **vetiver** é um produto-chave na economia do Haiti, tem sido plantado em outros lugares do Caribe e também é produzido no Brasil e no Paraguai. O **esqualeno**, derivado de azeitonas ou amaranto é produzido na Argentina e no Chile. Dois países na região cultivam **sândalo**: Costa Rica e Haiti. O México tem uma indústria significativa de **óleo de rosas** e Dominica, de **patchouli**.





1. Manteiga de cacau e Equivalentes de Manteiga de Cacau (CBE)

A manteiga de cacau pertence a uma classe de gorduras vegetais usadas tanto para comida como para cosméticos. É feita principalmente do óleo das sementes do cacau que cresce nos trópicos; outras manteigas menos comuns dessa classe incluem murumuru, manga, coco e outras palmeiras. O uso do cacau é dirigido principalmente para o chocolate, enquanto as outras manteigas têm uso alimentar, mas também são comumente usadas em cosméticos como hidratantes. Todos os países latino-americanos – exceto Chile, Uruguai, Paraguai e Argentina – colhem e coletam manteiga de cacau e/ou CBEs.

Na América Latina, nove países representam 80% da produção global “prime” (cacau e manteiga de cacau da melhor qualidade, produzidos de forma sustentável). Para mais de 3 milhões de camponeses na América Latina e no Caribe, este cacau de alta qualidade é o centro de seus modos de vida.⁹ A produção mundial de cacau está crescendo rapidamente (10% por ano)¹⁰ devido ao aumento da demanda da Europa e Estados Unidos.

Substituindo a Manteiga de Cacau e CBEs com Manteiga de Alga

Em 13 de abril de 2017 a empresa de biologia sintética TerraVia (anteriormente Solazyme) anunciou que sua Manteiga de Alga recebeu o status de GRAS (“Geralmente Reconhecido como Seguro”), concedido pela Administração de Alimentos e Drogas (FDA). De acordo com a informação deles, “a Manteiga de Alga é uma nova gordura estruturante para uso em panificação, pastas para espalhar no pão e produtos de confeitaria”¹¹, visando diretamente substituir o uso da manteiga de cacau da América Latina e de outras regiões do mundo.¹² Seu comunicado de

imprensa de abril de 2017 informa: “A Manteiga de Alga é exclusiva da TerraVia e Bunge”. A produção seria feita pela Bunge-TerraVia joint venture, SB Oils, visando substituir um mercado avaliado em mais de dois bilhões de dólares.¹³ Embora a TerraVia tenha falido no final de 2017, seus bens foram comprados pela produtora de ingredientes Corbion, e parece que a Corbion e Bunge têm a intenção de continuar com seu plano de colocar manteiga de alga de biologia sintética no mercado como um substituto para a manteiga de cacau.¹⁴



2. Óleo de babaçu e de coco

O babaçu é uma palmeira originária da Amazônia e cresce amplamente nos estados brasileiros de Tocantins, Maranhão e Piauí. Suas amêndoas são a fonte do óleo de babaçu, semelhante em propriedades e usos ao óleo de coco. A maior parte do óleo de babaçu é usado pelas indústrias de sabonetes e cosméticos, embora possa ser usado para cozinhar. A torta prensada que permanece após a extração do óleo das amêndoas é usada como alimento para animais. A produção relacionada ao babaçu é fundamental para os modos de vida de camponeses do Nordeste do Brasil, especialmente para as mulheres. A remoção das amêndoas do babaçu é um trabalho intensivo, e é tradicionalmente feito pelas mulheres. Mais de 400.000 mulheres e suas famílias processam a palmeira para óleo, sabões, farinha e rações.¹⁵

O óleo de coco é produzido em vários países da América Latina e do Caribe e tem uma produção significativa no Brasil, México, República Dominicana e Venezuela.

Substituindo Óleo de Coco e de Babaçu por Manteiga de Alga: TerraVia (antiga Solazyme) engenheirou algas para criar óleos que são “geneticamente desenhados” para expressar

ácidos graxos como os ácidos láurico e mirístico que podem substituir os óleos de coco e babaçu. A Solazyme/TerraVia se associou, entre outras, com Unilever, ADM e Bunge, e, como anteriormente mencionado, criou a joint venture SB Oils com a Bunge. Algumas marcas bem conhecidas de sabonete da Unilever são hoje produzidas com óleos de algas engenheiradas em vez das fontes naturais previamente utilizadas.

3. Estévia

A estévia é um arbusto com folhas adocicadas. Seu centro de origem localiza-se onde são atualmente a região leste do Paraguai e o estado do Mato



Grosso do Sul, no sudoeste do Brasil. O povo indígena da região, os Guaranis, que chamam a estévia de *Kaá he'é*, tem usado suas folhas em comidas e remédios há séculos. Hoje em dia, o uso da estévia como um adoçante não glicêmico é muito popular e tem motivado seu cultivo por pequenos agricultores, com frequência de maneira orgânica, em vários países na América Latina, incluindo o Paraguai. A substituição da estévia por extratos de biologia sintética competiria com esses cultivos. Isso também consiste numa forma de biopirataria contra os povos Guaranis.

Os químicos estão interessados nos *glicosídeos de esteviol* da planta – um dos mais de 40 compostos que são responsáveis pela doçura das folhas – alguns dos quais são 300 vezes mais doce do que a cana de açúcar. O valor global do mercado de estévia, na maior parte em forma de extrato em pó, ultrapassou US\$ 400 milhões em 2016.¹⁶ A empresa suíça Evolva colabora com a gigante do agronegócio Cargill em um adoçante produzido via fermentação de biologia sintética, uma combinação de dois glicosídeos de esteviol - Rebaudiosídeo D e M. Em 2015 as empresas denominaram de “Ever Sweet” seu adoçante de nova geração, e o lançamento do produto foi marcado para 2016. No início de 2017, entretanto, a Evolva comunicou um atraso forçado devido a

uma “complexa combinação de fatores, incluindo características da cepa; fermentação e custos na linha de processamento; custos de conversão de instalações, escala de produção (e) indicações dos clientes sobre preço”.¹⁷ O lançamento agora está agendado para 2018, mas há rumores que a Cargill pode lançar seu próprio extrato de estévia de biologia sintética sem a Evolva. A gigante de ingredientes DSM também planeja vender um extrato de estévia fermentado de biologia sintética.

4. Baunilha

A baunilha natural é derivada das sementes curadas da vagem da orquídea baunilha, uma trepadeira que cresce em climas tropicais. A produção de baunilha requer trabalho intensivo, os cultivadores têm que polinizar a mão



as vagens dispersas em áreas florestadas. As vagens levam cerca de cinco meses para amadurecer, então são coletadas a mão e curadas. As florestas devem estar saudáveis para que as orquídeas de baunilha se desenvolvam bem, portanto cuidar da floresta é também parte do trabalho dos produtores de baunilha. Estima-se que 200.000 pessoas estão envolvidas na produção anual de grãos de baunilha curados. Em nível global, Madagascar é o maior produtor, mas o México, seu centro de origem, também mantém uma produção de baunilha natural que tem um importante valor cultural e econômico para as comunidades indígenas e camponesas.

No México, a baunilha é polinizada manualmente em março e abril, quando o desemprego nas comunidades está em alta. Devido a isso, cultivar a baunilha representa a possibilidade de evitar um número maior de emigrantes das comunidades e, assim, prevenir uma maior desintegração familiar. A polinização manual da baunilha é um momento de assembleia e celebração. Manter as formas tradicionais de cultivar esta orquídea mantém a coesão entre as comunidades e as famílias.

Durante a polinização, as crianças aprendem sua cultura, os mais velhos se sentem incluídos e valorizados, e os homens jovens permanecem na comunidade. Assuntos importantes para a comunidade são abordados em conjunto durante aquele período.

Do ponto de vista do consumo, a baunilha natural é vendida por milhares de dólares o quilo, enquanto a sintética “vanilina” é vendida por dez vezes menos. Em 2014, a Evolva, uma empresa de biologia sintética suíça, e a gigantesca indústria americana International Flavors and fragrances (IFF) comercializaram o sabor vanilina biosintetizada, que agora é vendido como parte da linha “Always Vanilla” da IFF. A Evolva denomina sua vanilina de biologia sintética como “natural”, portanto competindo diretamente com a produção camponesa.



5. Vetiver

O vetiver é uma gramínea perene de moita densa. É cultivada em muitos lugares porque seu sistema radicular muito eficiente previne a erosão e filtra a água. O óleo de vetiver, obtido de suas raízes, é um ingrediente cosmético de alto valor. Talvez seja usado em 90% de todos os perfumes ocidentais e também em loções, aromatizantes de ambiente, produtos para casa, para preservação de alimentos, além de outros usos. Somente no Haiti, o óleo de vetiver é o item de exportação agrícola mais valioso e sus-

tenta em torno de 60.000 pessoas. No Sudoeste do Haiti, proporciona trabalho para 27.000 famílias camponesas. Além da renda em dinheiro tão necessária para os agricultores, o cultivo de vetiver traz muitos benefícios colaterais: esta gramínea se desenvolve em ambientes pobres e pode ser plantada em encostas íngremes, e ser usado para controlar deslizamentos de terra. Em áreas costeiras é plantada para controlar a inundação das marés, e nos pântanos auxilia na produção de peixe.

A empresa de biologia sintética Evolva tem patentes sobre o vetiver e visa produzir compostos que são estruturalmente relacionados ao vetiver e poderiam ser usados pela indústria cosmética, entre outras. Entretanto, a Evolva declarou que no momento não pretende implementar isso.¹⁸

Entretanto, o cultivo e produção de óleos essenciais no Haiti é uma atividade econômica importante, e é o meio de sobrevivência para dezenas de milhares de famílias agricultoras pobres. O vetiver é apenas um dos óleos essenciais que a indústria de biologia sintética visa substituir, e é um exemplo muito claro de como produtos biosintetizados podem ter impactos devastadores na subsistência de agricultores pobres.

6. Esqualeno

O esqualeno é um ingrediente hidratante de ponta, “sem óleo”, encontrado na natureza e usado em muitos cosméticos. Até recentemente era extraído do fígado de tubarões de mar profundo, mas o esqualeno usado hoje em dia é derivado, em grande medida, de fontes botânicas, principalmente azeite de oliva e amaranto. A Argentina e o Chile desenvolveram com sucesso uma produção botânica de esqualeno.

Desde 2010, a empresa líder de biologia sintética Amyris Biotechnologies vem colocando no mercado o seu assim chamado Esqualeno “derivado do açúcar” com o nome de Neossance™.¹⁹ O esqualeno da Amyris é produzido por uma levedura bioengenheirada alimentada com cana-de-açúcar brasileira, e ganhou um lugar significativo no mercado de cosméticos, usado atualmente por uma ampla gama de marcas. Também é vendido pela marca própria de cosméticos da Amyris, a Biossance.

Quadro: Cana-de-açúcar brasileira como matéria-prima para micróbios de biologia sintética

O Brasil é de longe o maior produtor de cana-de-açúcar e o maior exportador de açúcar no mundo. Também é o lugar de várias instalações de produção de biologia sintética, o que significa que a produção de açúcar associada implica em impactos significativos em nível ambiental e dos direitos humanos. Em 2016, um relatório da ONU que analisou abusos de direitos humanos em países produtores de cana de açúcar constatou que, em muitos casos, as plantações estão repletas de violações, incluindo condições similares ao trabalho escravo; conflitos mortais sobre a terra; aquisições fraudulentas de terras que levam a expulsões forçadas de comunidades e perda de territórios de caça e pastoreio; e desmatamento, que aumentou a insegurança alimentar e a desnutrição.²⁰



Edição de genes

Algumas técnicas de genética molecular permitem aos biólogos sintéticos alterar rapidamente o DNA de cultivos e animais. Isso está sendo aplicado atualmente tanto para propósitos agrícolas quanto de conservação. A mais famosa dessas técnicas é conhecida como CRISPR (Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Espaçadas) e tem sido usada para fazer gado sem chifres, cogumelos que não escurecem e novas variedades de milho ‘ceroso’. Técnicas similares de edição de genes têm sido usadas para fazer canola resistente a herbicidas, e insetos e ratos engenheirados. Os cultivos com edição de genes implicam em alteração da constituição genética dos organismos como qualquer outra

forma de engenharia genética faz, embora algumas empresas de biotecnologia estejam tentando argumentar que não deveriam ser tratados como OGMs porque poderiam envolver apenas pequenas mudanças. Entretanto, mesmo pequenas mudanças na sequência genética podem ter grandes impactos sobre o organismo e o ecossistema, e a edição de genes parece também dar origem a mudanças não intencionais “fora do alvo”. Isso acontece quando ocorrem mudanças adicionais inesperadas em outro lugar do código genético em vez das pretendidas, que podem ou não ser significativas para a forma como o organismo se desenvolve e se comporta.

A história da edição de genes e os “novos transgênicos” na América Latina e no Caribe

Não há regulamentação adequada de biossegurança na América Latina e no Caribe para as novas técnicas OGMs, ou para a liberação experimental ou comercial de organismos modificados com CRISPR-Cas9 e outras tecnologias de edição de genes. Na Argentina, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Pesca emitiu uma resolução em 2015 (173/2015) que permitiria que algumas novas biotecnologias, incluindo a edição de genes, evitassem avaliação e exigências de biossegurança, caso a comissão de biossegurança considere que eles não são OGMs, deliberando caso a caso. Até 2018, o Brasil alegava que as novas técnicas de engenharia genética estariam cobertas pelas suas atuais leis de biossegurança. Com base nessa suposição, o Brasil aprovou, por exemplo, a liberação experimental de mosquitos GM e o uso de levedura modificada de biologia sintética para a produção de farneseno. Em janeiro de 2018, a CTNBio brasileira emitiu uma resolução que implica que Novas Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão seguiriam um procedimento similar ao da resolução argentina de 2015. A resolução brasileira levanta preocupações importantes. Não somente permite uma isenção de avaliação de risco sobre biossegurança para alguns organismos e produtos de novas biotecnologias, mas também, pela primeira vez em nível global, inclui organismos contendo condutores genéticos não naturais sendo considerados para liberação no

ambiente sob regulamentações de biossegurança mínimas ou inexistentes.

Estes precedentes, juntamente com a aprovação recente pelos Estados Unidos de alguns cultivos com genomas editados sem exigir que passem pelas medidas de biossegurança para transgênicos, podem influenciar alguns dos outros governos que têm uma presença maciça de corporações internacionais do agronegócio em seus países.

Outra preocupação são os acordos entre o CIMMYT (Centro Internacional para o Melhoramento de Milho e Trigo) com a DuPont e Monsanto para desenvolver aplicações de CRISPR-Cas9 em milho, especialmente porque CIMMYT fica no México, o centro de origem do cultivo. Estes acordos têm sido questionados fortemente pela sociedade civil.²¹

Todos os países da América Latina e do Caribe que têm extensas plantações GM têm também algum grau de pesquisa aplicada a técnicas de edição de genes e de biologia sintética, mas nenhum deles já procurou atualizar suas leis de biossegurança para abordar os riscos diferentes apresentados pelas novas técnicas. Pelo contrário, alguns deles têm até menos exigências do que para a geração anterior de organismos geneticamente modificados.

Quadro: efeitos não intencionais

A edição de genes com CRISPR não é tão bem compreendida nem tão precisa quanto se reivindica. Parece que o processo de “edição” rotineiramente cria mudanças adicionais não intencionais em outras partes dos genomas dos organismos (os chamados “efeitos fora do alvo”). A frequência desses efeitos fora do alvo compromete a suposição de que as novas técnicas de edição de genes, como CRISPR, são previsíveis e precisas. Tais mudanças não esperadas no genoma podem acarretar efeitos involuntários surpreendentes no funcionamento ou não funcionamento do organismo editado geneticamente. Em plantas alimentícias, por exemplo, “efeitos fora do alvo podem levar a toxinas ou alérgenos não esperados, ou o valor nutricional alterado ou prejudicado.”²²



Estudo de caso: Bananas CRISPR

A região da América Latina e do Caribe é a maior produtora global de banana, com Equador, Guatemala, Costa Rica, Colômbia, República Dominicana, Honduras e México liderando a produção da região dessa fruta popular. Juntos, estes países produzem 58% do suprimento global. Nos outros países, como o Panamá, Santa Lúcia, Granada, São Vicente, São Cristóvão e Névis, e Jamaica, a produção de bananas é um componente importante da economia. A principal doença na América Latina para as plantações uniformes de banana em grande escala é a Sigatoka Negra, causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis*, que tem sido combatido com uma gama de agrotóxicos e ultimamente, com melhores resultados e menores impactos na saúde e no meio ambiente, pelo melhoramento no manejo do solo. Também houveram várias tentativas para fazer bananas transgênicas tolerantes a infecções por Sigatoka Negra, mas sem êxito. Em nível global, atualmente, a maior ameaça para a produção uniforme de banana em grande escala é uma nova cepa do virulento fungo de solo TR4, conhecida como mal-do-Panamá. Apesar de seu nome, o TR4 não se espalhou na América Latina, mas de todo o modo gerou alarme na região, pois afetou severamente dezenas de milhares de hectares da variedade de banana Cavendish (a variedade comercialmente mais comum no globo), no Sudeste da Ásia e na Ásia Central, na Oceania, no Oriente Médio e na África.

Os biólogos sintéticos estão tentando usar a edição de genes CRISPR para desenvolver variedades resistentes a TR4. Cientistas bananeiros australianos têm re-engenheirado tanto bananas Cavendish como Gros Michel para resistirem a diferentes cepas de TR4,²³ enquanto cientistas de Taiwan começaram a tentar engenheirar bananas resistentes a TR4 usando CRISPR.²⁴

Como uma alternativa a correções arriscadas e pouco compreendidas de edição de genes, outras abordagens não engenheiradas para problemas de TR4 e Sigatoka Negra incluem simplesmente diversificar, deixando de cultivar as variedades Cavendish e Gros Michel em monocultura, e melhorar o manejo do solo. Do ponto de vista da demanda, não parece que os consumidores estejam prontos para que suas bananas sejam bioengenheiradas. Como um porta voz da Chiquita declarou ao *The New Yorker*, "Em nossos mercados centrais, na América e na Europa, uma banana geneticamente modificada jamais seria comercializável. E, no final das contas, estamos interessados em continuar vendendo bananas".²⁵

Condutores genéticos

Uma das aplicações mais inovadoras da biologia sintética e da edição de genes é conhecida como "condutor genético" (*gene drives*). Esse é o local onde um organismo é geneticamente editado com um conjunto de instruções cuidadosamente engenheirado que o força necessariamente a passar a mudança engenheirada para cada um de seus descendentes, dominando processos normais de seleção natural. Dessa maneira, uma única característica (por exemplo, determinar que um camundongo seja um macho) será difundida por toda a população ou espécie e poderia, no final, conduzir a mudanças ou extinção de toda uma espécie (por exemplo, se todos os camundongos nascerem machos ou estéreis). Algumas ONG conservacionistas têm defendido o uso de condutores genéticos para acabar com espécies invasoras como camundongos ou cobras em ilhas, ou para erradicar mosquitos que poderiam transportar doenças transmitidas por vetores. Como os condutores genéticos funcionam pela mudança (ou eliminação) da

estrutura de uma população através de uma cascata genética impossível de ser parada de geração para geração, um condutor genético constitui uma intervenção muito significativa na evolução e em um ecossistema. Ele inicia uma reação genética em cadeia que, no momento presente, não tem volta depois de iniciada.

A biologia sintética possibilita aos pesquisadores e às empresas criar organismos que serão fundamentalmente diferentes dos que ocorrem na natureza. No caso de cultivos e animais geneticamente editados, especialmente os condutores genéticos, tais organismos estão destinados para liberação no meio ambiente. São desconhecidas as possíveis consequências sobre a biodiversidade dos organismos biossintéticos inovadores que podem escapar de instalações de confinamento ou ser intencionalmente liberados. (Para maiores informações ver relatório sobre Condutores Genéticos neste dossiê).

Condutores genéticos e agricultura: o caso do Amarantho na América Latina

O relatório da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos sobre condutores genéticos considerou um estudo de caso agrícola: amarantho [*pigweed* no original] engenheirado (*Amaranthus*).²⁶ Uma espécie de amarantho tornou-se resistente ao glifosato e, portanto, é uma "super erva-daninha". O relatório indicou que se o caruru na América do Norte fosse suprimido por um condutor genético, ele poderia involuntariamente acabar reduzindo colheitas de amarantho, uma importante fonte alimentar tradicional na América Latina. O relatório não levou isso em consideração, mas é um caso claro em que condutores genéticos transformariam sistemas de agricultura e alimentos, favorecendo o aumento de monopólios de sementes e químicos, e impactando os Direitos dos Agricultores e a Soberania Alimentar. Algumas espécies de Amarantho têm muitas propriedades nutricionais e a planta tem múltiplos usos na alimentação tradicional em muitos países da América Latina e do Caribe, que seriam perdidos se os condutores genéticos para suprimir o amarantho fossem utilizados.

Os promotores dos condutores genéticos focam em ilhas

Muitas equipes estão agora trabalhando em sistemas para introduzir condutores genéticos em populações silvestres de espécies invasoras com o objetivo de erradicar essas espécies. Isso é apresentado como uma ferramenta potencial de conservação. É provável que algumas dessas aplicações serão apresentadas aos governos latino-americanos e caribenhos por esses pesquisadores, como potenciais balas de prata - especialmente para países com ilhas. Enquanto cada uma dessas aplicações é proposta para situações específicas, existe o risco de que insetos, peixes e animais equipados com condutores genéticos poderiam acidentalmente deslocar-se para além do lugar da liberação (por exemplo, transportados por predadores, condições climáticas, correntes ou transporte humano) e, como resultado, o condutor genético poderia se espalhar pelo globo, provocando amplas extinções de espécies. Em alguns casos, isso causaria impacto na polinização (por exemplo, insetos), prejudicaria as redes alimentares e, potencialmente, até a segurança alimentar humana.



Mosquitos Oxitec

Usando técnicas de engenharia genética baseadas em biologia sintética, os mosquitos foram engenheirados com um gene dominante letal e liberados em grandes números (de milhões em alguns casos) em ensaios de campo no Brasil, Panamá, Ilhas Cayman e Malásia. A liberação desses mosquitos está sendo cogitada para as Keys, na Florida, Estados Unidos. Os mosquitos engenheirados foram desenvolvidos, e a tecnologia associada foi patenteada, pela empresa Oxitec, com sede no Reino Unido, pertencente agora à Intrexon Corporation, que

se apresenta como a “líder em biologia sintética”. A engenharia genética tem como alvo o *Aedes aegypti*, comumente conhecido como o mosquito da febre amarela, que é um vetor da dengue e de outras doenças. Isso envolve uma regulação genética que, na ausência do antibiótico tetraciclina, provoca morte no estágio de larva da prole. O lançamento de mosquitos, principalmente machos, contendo esse gene letal visa resultar na supressão da população de mosquitos, com o objetivo de reduzir a incidência da dengue e de outras doenças transmitidas pelo *Aedes aegypti*.

Entretanto, a liberação desses mosquitos engenheirados no meio ambiente levanta muitas preocupações científicas, sociais, éticas e reguladoras. Por exemplo, os lançamentos nas Ilhas Cayman resultaram ser relativamente eficazes na estação seca, quando os números de mosquitos são baixos e quando é combinado com pulverização. Ao mesmo tempo, grandes números de fêmeas que picam e podem transmitir a doença foram liberadas, apesar das garantias em contrário. Não há evidências que a liberação de mosquitos engenheirados reduza o risco de transmissão da dengue ou de outras doenças como a zika ou chikungunya. A situação é agravada pelo fato de que as estruturas nacionais e internacionais de regulamentação e avaliação de risco são ainda imaturas. Nos Estados Unidos, por exemplo, há discussões sobre qual agência deveria regulamentar a liberação proposta dos mosquitos, já que é uma área completamente nova, não familiar para o mundo regulador. De fato, a primeira liberação desses mosquitos engenheirados nas Ilhas Cayman foi conduzida na ausência de uma lei de biossegurança. Isso significou que questões específicas de biossegurança podem não ter sido plenamente consideradas ou avaliadas. Informação pública, consulta e participação também estiveram ausentes. No caso das Ilhas Cayman, enquanto se afirmava que informação adequada tinha sido oferecida ao público antes da liberação dos mosquitos, o vídeo de divulgação para o público não menciona nem uma vez que os mosquitos são geneticamente engenheirados.

Sequências digitais

Segmentos de genes, genes e, na realidade, organismos inteiros de alto valor econômico (como vírus de vacinas) são hoje sintetizados a partir de informação de sequência genética que pode ser intercambiada eletronicamente, o que significa que organismos e variantes genéticas podem efetivamente cruzar fronteiras sem que material biológico físico troque de mãos. Não é necessário sintetizar um genoma inteiro para que a informação de sequência genética gere benefícios. Genes individuais sintetizados a partir de informação de sequência genética e inseridos em organismos vivos podem ter um valor enorme, especialmente em aplicações industriais, agrícolas e médicas. Por exemplo, os genes que têm a codificação de uma enzima valiosa para a indústria ou um componente terapêutico de uma planta medicinal podem ser sintetizados a partir de informação de sequência genética e inseridos em micróbios para a produção em tanques de fermentação (ver a seção de biossíntese acima). Diferentemente do passado, tais usos de informação de sequência genética podem, cada vez mais, ser realizados sem acessar o próprio micróbio (ou planta, animal, etc.) ou sem obter consentimento prévio informado (CPI) e acordado mutuamente (MAT) dos originadores dos recursos genéticos e detentores do conhecimento.

Como muitas leis, políticas e acordos de repartição de benefícios (ABS) são baseados em transferências físicas de material, eles podem não ser aplicáveis para informação de sequência genética nas suas formas atuais. Este é um enorme problema para assegurar legitimidade e equidade no uso de recursos genéticos, que está pronto para aumentar na medida em que o custo de sequenciamento diminui, e as ferramentas para armazenamento e manipulação de informação de sequência genética se desenvolvam mais.

Histórico de biopirataria na América Latina e no Caribe

A América Latina e o Caribe são compostos por áreas de biodiversidade muito rica, incluindo países megabiodiversos, como Brasil, Bolívia,

Costa Rica, Colômbia, Equador, México e Venezuela, que tornaram a região atrativa para a biopirataria. Além disso, é importante considerar que muitas espécies foram retiradas da América Latina e do Caribe e colocadas em bancos genéticos e jardins botânicos antes da CDB existir. Nas duas últimas décadas, alguns governos entraram em acordo com empresas transnacionais para conduzir atividades de bioprospecção, na maioria dos casos sem nenhum Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) dos povos indígenas que cuidaram e criaram aqueles recursos. E que são os principais zeladores da biodiversidade. Um dos primeiros exemplos que, desafortunadamente, preparou o cenário para outros países é o contrato de 1991 assinado entre o Instituto Nacional INBio na Costa Rica e a companhia farmacêutica Merck. A Merck pagou uma modesta soma para o INBio que lhe permitiu ter acesso a até dez mil espécies de plantas na Costa Rica, que também estão presentes em muitos outros países latino-americanos.²⁷ Outros governos, incluindo México, Colômbia e Equador também permitiram contratos semelhantes de bioprospecção, diversos no enunciado e alcance. O resultado é que milhares de espécies da biodiversidade latino-americana terminaram em coleções públicas ou privadas em universidades e empresas do Norte, incluindo muitas nos Estados Unidos (que não faz parte da CDB) onde podem e têm sido acessadas e patenteadas por empresas. Mesmo as amostras de sementes coletadas nos bancos de genes do CGIAR foram algumas vezes transferidas para empresas privadas sem um Acordo de Transferência de Material. Exemplos do CIMMYT e ICARDA foram descritos pelo Grupo ETC em 2012.²⁸

Conclusões e Próximos Passos

Está claro que os efeitos adversos potenciais da biologia sintética na região da América Latina e Caribe são de uma ampla gama e incluem riscos para o meio ambiente, a saúde humana e animal, assim como impactos nos modos de vida. Em particular, qualquer consideração sobre pesquisa ou distribuição de organismos que contenham condutores genéticos (*gene drives*) deveria ser

tratada com extrema precaução, sem liberação a campo de nenhum tipo, e particularmente, não no ambiente biodiverso da região, dada a natureza irreversível da tecnologia. O ambiente regulatório, incluindo para uso confinado, precisa ser revisto e fortalecido, para que os organismos, componentes e produtos de biologia sintética sejam fortemente regulamentados, e a tecnologia seja adequadamente avaliada para riscos e considerações sócio-econômicas. A identificação, detecção, gerenciamento de riscos e medidas de monitoramento são necessários e deveriam ser fornecidos pelos que desenvolvem estas técnicas para permitir o rastreamento rigoroso.

Informações adicionais

Um banco de dados de ingredientes produzidos através de técnicas de biossíntese de biologia sintética: <http://database.synbiowatch.org>

Mapa online mostrando regiões geradoras de produtos naturais ameaçados pelos substitutos de biologia sintética: <http://www.synbiowatch.org/commodities/natural-products-map/>

Relatório do ETC Group, “Biología sintética, biodiversidad y agricultores” (Synthetic biology, biodiversity and farmers):

Espanhol: <http://www.etcgroup.org/es/content/biologia-sintetica-biodiversidad-y-agricultores>

Inglês: <http://www.etcgroup.org/content/synthetic-biology-biodiversity-farmers>

Página web de Amigos da Terra Austrália, de seu Projeto sobre Tecnologias Emergentes, inclusive biologia sintética: <http://emergingtech.foe.org.au/synthetic-biology/>

Centro de Informações sobre Biossegurança da Rede Terceiro Mundo, página web em tendências/técnicas emergentes: <https://www.biosafety-info.net/subsection.php?ssid=5>

Notas finais e referências

- 1 América Latina: La Transgénesis de un continente. RALLT, RAPAL-Uruguay, Fundación Sociedades Sustentables, Fundación Heinrich Boell, 2014 <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 <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.” Disponível em <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 <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, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/tx1001749> Ver também documentos revisados em “Agrotóxicos vs Salud. Lectura del Dr. Damián Verzeñassi”, 2015 <http://www.lavaca.org/notas/agrotoxicos-vs-salud-la-lectura-del-doctor-verzenassi-el-dano-esta-probado/>
- 6 Idem Nota de Rodapé 3
- 7 Idem Nota de Rodapé 3
- 8 Ver <http://database.synbiowatch.org/>
- 9 Banco para o Desenvolvimento da América Latina, acessado em 21 de dezembro de 2017 <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/04/cacao-fino-la-joya-de-america-latina/>
- 10 Reuters, “Producción de cacao aumenta en Latinoamérica ante declive en Asia ,” 27 de setembro de 2016, <https://lta.reuters.com/article/businessNews/idLTAKCN11X1W0>
- 11 Terravia website, acessado em 20 de dezembro de 2017.
- 12 Elaine Watson, “Algal butter could replace shea stearin, cocoa butter, palm oil, PHOs.” Foodnavigator USA, 3 de maio de 2017, 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 Ver <http://algawise.com/wp-content/uploads/2017/09/Algawise-Algae-Butter.pdf>
- 15 Biofuels Digest, “Babassu palm gets blame for Amazonian deforestation,” artigo Web article, 25 de abril de 2011, <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.” Ver aqui comunicado de imprensa da IMARC’ para o relatório: <http://www.digitaljournal.com/pr/3408559>.
- 17 Apresentação de investidor da Evolva, 30 de março de 2016, slide 5: <http://www.evolva.com/wp-content/uploads/2016/03/EVE-FY15-PPT.pdf>

- 18 ETC Group, "Haiti, essential oils and synthetic biology," 2016. <http://www.etcgroup.org/content/haiti-essential-oils-synthetic-biology>
- 19 A Soliance também distribui produtos de biologia sintética ("tecnologia branca") tal como Ácido Hialurônico (AH), dihidroxiacetona (DHA), lipídios e polissacarídeos soforose. www.soliance.com/page.php?id=7
- 20 Assembleia das Nações Unidas, "Human rights and transnational corporations and other business enterprises," A/71/291, <http://undocs.org/A/71/150>.
- 21 Sílvia Ribeiro, "Monsanto, DuPont, Crispr, ¿qué puede salir mal?" La Jornada, México, 2016 <http://www.jornada.unam.mx/2016/10/01/opinion/019a1eco>
- 22 Rede Europeia de Cientistas pela Responsabilidade Social e Ambiental, "ENSSER Statement on New Genetic Modification Techniques: products of new genetic modification techniques should be strictly regulated as GMOs", 27 de setembro de 2017, <https://ensser.org/topics/increasing-public-information/ngmt-statement/>
- 23 Erik Stokstad, "GM banana shows promise against deadly fungus strain." Science, 17 de novembro de 2017. Acessado em novembro de 2017. <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. 1º outubro de 2015. Acessado em novembro de 2017. <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 (edição online), 10 de janeiro de 2011. Acessado em agosto de 2017. <https://www.newyorker.com/magazine/2011/01/10/we-have-no-bananas>
- 26 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, "Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values," 2016, <http://nas-sites.org/gene-drives/>
- 27 Rodríguez Cervantes, Silvia. El despojo de la riqueza biológica, 2013, Editorial Itaca, Mexico.
- 28 ETC Group, "The Greed Revolution," 2012, http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/ETComm108_GreedRevolution_120117.pdf