



El maíz transgénico, posible amenaza de la biodiversidad del maíz nativo mexicano

Dr. Antonio Turrent Fernández - Investigador Nacional, CEVAMEX, INIFAP, aturrent@inifap.gob.mx

En la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) —en vigor desde 2005— el Estado Mexicano valora que nuestro territorio, como parte de Mesoamérica, es el centro de origen del maíz¹ y también el centro más importante de su biodiversidad en el mundo. Más de 2 millones de familias campesinas mexicanas cultivan más de 50 razas nativas de maíz (RNM) en cerca de 6 millones de hectáreas (66% del total nacional), persiguiendo su seguridad alimentaria. Los maíces nativos son sometidos desde tiempos inmemoriales a mejoramiento genético nativo, con el propósito de adaptarlos a diversas condiciones de producción (a veces extremas) y a diversos usos alimenticios. Además de esta función social crítica para la nación, la biodiversidad del maíz será particularmente relevante al desafío que el inminente cambio climático global plantea a la seguridad alimentaria de México y del mundo. El incremento de 1 a 2 grados centígrados en la temperatura máxima diaria en los próximos 25 años, reducirá la duración del ciclo de cultivo de maíz y también su potencial de rendimiento. Así, los maíces híbridos comerciales que, sembrados en el Altiplano Central bajo riego, completan su ciclo productivo en 180 días y rinden hasta 15 toneladas por hectárea, podrán reducir su ciclo a 150-160 días y su rendimiento potencial a 8-10 t/ha. Habrá una nueva dinámica poblacional de los enemigos naturales del maíz: algunas plagas y enfermedades típicas de regiones tropicales incidirán en las regiones templadas de México. La biodiversidad del maíz “en activo” complementada con la biodiversidad contenida en bancos

de germoplasma, serán aliados clave para desarrollar nuevas tecnologías que contrarresten las nuevas amenazas². Se entiende que por esta razón y por su status de alimento básico nacional (principalmente de los más desposeídos rurales) es que el Estado Mexicano ha de proteger este recurso de la humanidad.

La LBOGM y su Reglamento prevén la especificación e imposición de un Régimen de Protección Especial del Maíz Nativo que garantice la permanencia e integridad de las razas nativas de maíz (RNM) así como su espacio vital de cultivo, mientras se cultiva maíz transgénico a campo abierto. La misma Ley dicta la secuencia de etapas (a) experimental, (b) piloto y (c) comercial, como proceso —esperemos que reversible— para la introducción gradual de la tecnología

¹ La hipótesis sobre el origen del maíz que reúne el mayor consenso mundial fue propuesta por Ascherson en 1895, quien postuló que el maíz fue domesticado a partir del Teocintle (zacate nativo de Mesoamérica). Información más reciente de análisis filogenético y tipificación genotípica ubica a la Cuenca del Río Balsas como cuna de la domesticación. Las mazorcas más antiguas hasta ahora recolectadas tienen 6250 años (cueva de Guilá Naquitz de Oaxaca). En la actualidad, 62 grupos étnicos mexicanos basan su alimentación en más de 50 razas nativas de Maíz, que en conjunto dan respuesta vital a gran diversidad de condiciones ecológicas que varían desde 0 hasta 2800 msnm, en suelos desde hiperácidos hasta hipercalinos, delgados a profundos, en agroecosistemas expuestos a la sequía, heladas, altas temperaturas, vendavales, excesos de agua, etc., y también para gran diversidad de usos del maíz asociados a nuestra cultura nacional pluriétnica. Los grupos étnicos de México heredaron de sus antepasados no sólo el germoplasma biodiverso de maíz (y de otras 90 especies vegetales comestibles); en el caso del maíz, también heredaron los procedimientos de campo para su manejo, conservación y mejoramiento genético, que ahora reconocemos como “mejoramiento genético nativo”. La biodiversidad del maíz y los procedimientos de mejoramiento genético son compartidos con los pequeños productores mestizos, en predios típicamente menores a 5 hectáreas de tierras de labor.

² Las razas Tehua (tropical), Jala (subtropical) y algunas variantes de la raza Chalqueño (Altiplano Central), por ejemplo, tienen largos ciclos de cultivo, mientras la raza Jala también es conocida por su tamaño grande de mazorca. Estos materiales pueden aprovecharse como donantes de mayor longitud de ciclo de cultivo o tamaño de mazorca, para compensar el efecto depresivo de las temperaturas máximas diarias sobre la longitud del ciclo de cultivo y sobre el rendimiento en nuevos maíces híbridos comerciales.

la biodiversidad del maíz será particularmente relevante al desafío que el inminente cambio climático global plantea

de maíz transgénico (MT) al campo mexicano. La etapa experimental habrá de contestar las preguntas pertinentes sobre bioseguridad y su ejecución será en áreas pequeñas con estrictas normas que impidan el escape de material transgénico al campo mexicano. En contraste, la etapa de liberación comercial prescindirá, por razones obvias, de muchas de las medidas de bioseguridad de la etapa experimental.

Los planes corporativos transnacionales probablemente prevén como primer paso de la etapa comercial, la siembra de maíz transgénico en 3 millones de hectáreas de tierras conocidas por su alto potencial productivo. El Régimen de Protección Especial del Maíz Nativo habrá de garantizar la permanencia e integridad de las RNM en esta tercera etapa. ¿Es esto posible en tal escenario?

Es necesario prever que la liberación comercial del cultivo de MT en el campo mexicano pondría en juego al menos cinco fuerzas que, estimulando la interacción entre el MT y las RNM, conducirán a la acumulación progresiva e irreversible de ADN transgénico en las RNM. Estas fuerzas son: las prácticas de campo del Mejoramiento Genético Nativo (MGN); la biología reproductiva del maíz; el status actual inmaduro de la tecnología del ADN recombinante; las características de una nueva oleada de maíz transgénico; la obsolescencia del gen titular de la construcción transgénica.

LAS PRÁCTICAS DE CAMPO³ DEL MGN

Para mantener el vigor de sus semillas de maíz, los campesinos las intercambian con sus vecinos y con cierta frecuencia también las adquieren de lugares distantes (pudiendo también hurtar las mazorcas de los campos visitados: una o dos mazorcas por visita) y mezclan esa semilla con la propia para facilitar su cruzamiento. De esta manera, evitan la consanguinidad en sus razas nativas de maíz e introducen nuevos caracteres. La mujer se encarga de seleccionar la semilla para la siembra con base en los rasgos morfológicos de la semilla y la mazorca, según el uso de acuerdo al contexto cultural. La LBOGM dicta la separación por distancia o por fecha de siembra para impedir la interacción en las RNM y el MT. Esta medida puede ser efectiva para impedir que el polen del MT alcance los jilotes de las RNM y viceversa, pero no impedirá que los campesinos viajeros, que buscan maíces atractivos para introducir a sus parcelas, tomen mazorcas de maíz transgénico sembrado comercialmente y las incorporen como progenitor a su proceso de MGN.

LA BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL MAÍZ

El sistema reproductivo del maíz es típicamente promiscuo. En la polinización del jilote de cada planta intervienen de 10 a 20 machos vecinos; cada planta produce hasta 25 millones de granos de polen y unos 500 óvulos. En preparación de la fase reproductiva de una planta de maíz, una parte del ADN de cada cromosoma⁴ aportado por el progenitor macho es intercambiado con la fracción homóloga aportada por el progenitor femenino. Este proceso ocurre en 25 millones de eventos independientes y al azar en la formación de otros tantos granos de polen y de 500 o más óvulos en cada planta. Este mecanismo es proclive a la dispersión de nuevos alelos⁵ dentro de la población. En contraste, el frijol es una planta no-promiscua, porque se autofecunda en alto grado.

STATUS INMADURO DE LA TECNOLOGÍA DEL ADN RECOMBINANTE (T-ADN-R)

No obstante los impresionantes logros de la biotecnología moderna, los métodos empleados para la transformación comercial de plantas aún no logran controlar la ubicación del inserto transgénico, si bien esa ubicación es conocida *a posteriori* con gran precisión. En el mercado actual norteamericano y de Canadá de semillas de maíz transgénico hay 40 o más eventos transgénicos independientes aprovechados comercialmente. Con muy alta probabilidad, los insertos transgénicos se ubican en 40 o más posiciones diferentes (diferentes cromosomas y diferentes ubicaciones dentro del cromosoma). Esta dispersión incontrolable es factor potencial de acumulación de ADN transgénico en las RNM expuestas a interacción con MT por la vía de la reproducción sexual. Otro rasgo de esta etapa inmadura de la T-ADN-R, es que la construcción transgénica manejada comercialmente porta su propio promotor (con la función de impulsar la expresión del gen titular) el cual es un fragmento de ADN viral que actúa sin pausa en todas las células de la planta y que en el mejor de los casos no obedece la regulación del ADN residente de la misma y en el peor puede activar ilícitamente genes vecinos del ADN residente. También importante es el uso de un gen marcador, normalmente de resistencia a la penicilina, con implicaciones ecológicas potenciales.

³ Varios escritos de Hernández Xolocotzi de los años 1985, 1987, 1993; Louette, 1995.

⁴ Cada cromosoma de la planta está integrado por dos cromátidas alineadas longitudinalmente, una proviene del progenitor macho y una del progenitor femenino.

⁵ El maíz tiene más de 50 mil genes y cada gen puede tener más de un variante que se denomina alelo. La diversidad genética de una especie es expresada a través del número de alelos de sus genes. México como país es el centro de mayor biodiversidad del maíz.



LA NUEVA OLEADA DE MAÍZ TRANSGÉNICO

Los consorcios semilleros transnacionales operan en el mercado nacional de semillas mejoradas de maíz con híbridos no-transgénicos adaptados a las mejores condiciones de producción: las de riego y las de buen temporal. Las progenies de estos híbridos no-transgénicos y los maíces nativos —cuando son cruzados por los mismos campesinos— expresan vigor híbrido (mayor rendimiento), principalmente debido a la diversidad genética entre ambos progenitores. Seguramente que estos híbridos no-transgénicos ya han sido transformados por los mismos consorcios en previsión de su futura liberación comercial como transgénicos. Esta generación de híbridos transgénicos es diferente a los híbridos transgénicos importados como grano y acercados a los campesinos en programas oficiales de ayuda en áreas deprimidas y sembrados por los mismos campesinos en mezclas con su semilla. Aunque ambos tipos de híbridos transgénicos expresan vigor híbrido al cruzarse con los maíces nativos, el híbrido importado como grano es susceptible a las enfermedades prevalentes en México, a las altas temperaturas, sequías, competencia con malezas, días más cortos, etc. Este no será el caso con la nueva oleada de híbridos transgénicos y por lo tanto tendrán mayor oportunidad de infiltrarse en el genoma de las razas nativas.

VIDA ÚTIL DEL GEN TITULAR DE LA CONSTRUCCIÓN TRANSGÉNICA

Los pesticidas, el control biológico específico y la resistencia genética vertical son estrategias de defensa de los cultivos, mismas que tienen vigencia finita. Esto es, hay un período en el que ofrecen control efectivo de la plaga o de la enfermedad. La razón biológica de esta vigencia es la biodiversidad y la capacidad de mutación en las especies. Junto con el maíz, coevolucionaron en Mesoamérica sus enemigos naturales y también los enemigos naturales de sus enemigos naturales. Así que el gusano cogollero por ejemplo, tiene su biodiversidad en el país como también la tienen sus 40 especies parasitoides⁶ y sus entomopatógenos como el *Bacillus thuringiensis* y otros. Una cepa específica de Bt con capacidad para controlar el gusano cogollero lo es para una fracción de los genotipos de esta plaga, pero habrá otros genotipos que ya disponen de los alelos de resistencia específica en su ADN residente (porque ya mutaron durante su coevolución) y que sólo esperan que la presión de selección los beneficie para incrementar su frecuencia. Las poblaciones de gusano cogollero de Chiapas, Veracruz, Chihuahua, Oaxaca, etc., seguramente que son biodiversas como lo son las RNM. El uso de MT en México como estrategia específica de control, seguramente habrá de enfrentar este escenario de

diversidad. Es cierto que todavía no se reportan muchos casos de obsolescencia de los maíces transgénicos que se usan intensamente contra otras plagas del maíz en EU, Canadá, Argentina y Brasil, donde ya se despliegan estrategias para prolongar la vigencia de cada gen titular. Sin embargo, es inevitable que la vida útil termine más adelante. Cuando ese sea el caso, los consorcios semilleros ya dispondrán de otro(s) transgene(s) de Bt que permitan el retorno del control eficiente, de nuevo con una vigencia finita, tal y como ocurrió con la estrategia de los pesticidas. Es indispensable remarcar que cuando tal situación ocurra, el(los) evento(s) transgénicos específicos obsoletos, serán descartados y donde existan serán sólo contaminantes genéticos. Por esto es que la biodiversidad de los enemigos naturales del maíz y de los enemigos de estos es un motor potencial de incremento de construcciones transgénicas en el mercado de semillas mejoradas de maíz. Las RNM que hayan sido transformadas por cruzamiento con el evento transgénico obsoleto tendrán que convivir de ahí en adelante con esta fuente irreversible de contaminación genética, sin derivar ventaja, además de seguir acumulando nuevas construcciones transgénicas.

Los 40 eventos transgénicos existentes actualmente en el mercado internacional de semilla de maíz transgénico funcionan comercialmente como eventos independientes: sólo una o unas cuantas construcciones transgénicas por planta en cada híbrido comercial. Es teóricamente posible acumular esos 40 eventos transgénicos en las mismas plantas de maíz, a través de cruzamientos convergentes programados entre donantes individuales. Esto es posible dada la diferente ubicación de los 40 insertos en el genoma (diferentes cromosomas y loci). Sin embargo, no se ha explorado tal acumulación de ADN transgénico por varias razones. Una razón es que varios o muchos de esos eventos contienen el mismo gen titular (en ubicaciones diferentes) y no tendría sentido acumular réplicas. Otra razón podría ser que existiera un umbral de acumulación inferior a las 40 construcciones transgénicas en operación, más allá del cual hubiera interferencia con el ADN residente del maíz y se pusiera en riesgo funciones vitales genéticamente controladas por aquel: fotosíntesis, metabolismo, forma, proceso reproductivo, defensa contra enemigos naturales, adaptación a altas o bajas temperaturas, rendimiento, etc.

Es también teóricamente posible, en el caso hipotético de la liberación comercial de MT al campo mexicano, que la interacción de las cinco fuerzas antes citadas y otras más, condujeran —a través de varias o muchas generaciones de cruzamientos entre ambos materiales— a la acumulación irreversible e indeseable de los 40 eventos transgénicos en cada una de las más de 50 razas nativas

⁶ Fernando Bahena. Programa de combate ecológico de plagas del maíz. Campo Experimental de Uruapan. INIFAP-CIAPAC.

de maíz de México. La misma posibilidad de existencia de umbrales de acumulación para cada RNM reduciría sistemáticamente, en su caso, la biodiversidad del maíz.

Es atendible la hipótesis alterna, frecuentemente invocada por los proponentes de la liberación comercial del MT en México, que niega la existencia de tal umbral de acumulación, porque la presencia de ADN extraño es un fenómeno común en la evolución de las especies. A contrapelo se puede citar que si bien no se han observado individuos acumulantes de hasta 40 construcciones transgénicas por vía sexual, sí se los observa como producto del método biolístico con bajo, mediano y alto número de réplicas. Estos individuos (que seguramente muestran daño somático por los impactos múltiples) son típicamente desechados porque no son viables o bien porque se comportan como genéticamente inestables. En todo caso, ambas posturas contrapuestas en cuanto a la existencia de un "umbral vital" de acumulación de ADN transgénico en las razas nativas de maíz carecen de cotejo experimental.

La fase experimental prevista en la LBOGM tiene por objeto despejar a cabalidad dudas como esta, para definir el Régimen de Protección Especial del Maíz Nativo, con implicaciones profundas en su biodiversidad. Es necesario intentar producir los acumulantes de hasta 40 construcciones transgénicas en cada una de las más de 50 RNM mediante cruzamientos programados bajo condiciones de cuarentena. Las progenies habrán de ser observadas para cotejar la hipótesis del umbral de daño irreversible en cada RNM. Este camino es una vía rápida para generar los individuos acumulantes de hasta 40 construcciones transgénicas en unos cinco años, y permitiría el cotejo de la hipótesis en un microcosmos controlado y con riesgo razonable. Tal investigación es cara en términos económicos y de tiempo, pero lo que está en riesgo para el país

y para la humanidad es demasiado precioso para ignorarlo. Tal vez la respuesta tecnológica a los retos del futuro derivados del cambio climático, esté en esa biodiversidad "en activo" practicada por 2.28 millones de pequeñas unidades de producción de mexicanos que colectivamente la cultivan, manejan, mejoran y amplían, y que como país civilizado nos toca proteger.

CONCLUSIONES

1. La imposibilidad de controlar la ubicación del inserto transgénico de los métodos de transformación usados por los consorcios semilleros transnacionales no ha sido hasta ahora factor que limite la eficiencia de la tecnología del ADN recombinante. Como resultado, los 40 o más eventos transgénicos disponibles actualmente en el mercado de semillas de maíz transgénico están ubicados en otros tantos loci.
2. Teóricamente, es posible reunir en un solo genotipo los 40 o más loci mediante cruzamientos programados, a menos que exista un umbral inferior a 40 dosis de ADN transgénico, tal que interfiera con las funciones vitales genéticamente controladas por el ADN residente, que haga inviable al genotipo.
3. La liberación del cultivo comercial de maíz transgénico en México, cuna de la domesticación del maíz y principal centro mundial de su biodiversidad, puede potencialmente conducir a la acumulación de los 40 o más eventos transgénicos en cada una de las más de 50 razas nativas de maíz y puede ser causa catastrófica de pérdida de biodiversidad.
4. Debe cotejarse la hipótesis del "umbral de interferencia vital" del ADN transgénico acumulado en cada una de las razas nativas de maíz, en condiciones de cuarentena, como requisito para proceder a las siguientes etapas de liberación piloto y comercial.

